



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ ДАТЧИКОВ  
ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ  
ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по курсу «Специальные измерения  
в промышленной электронике»  
для студентов специальности 1-36 04 02  
«Промышленная электроника»**

Гомель 2006

УДК 621.391.827+621.396.96(075.8)  
ББК 32.96-04я73  
ИЗ7

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 1 от 12.09.2005 г.)*

Авторы-составители: *В. А. Карпов, С. А. Мурашко*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ  
им. П. О. Сухого *В. В. Логвин*

**ИЗ7** **Измерительные** схемы датчиков физических величин. Помехоустойчивость входных цепей измерительных преобразователей : лаб. практикум по курсу «Специальные измерения в промышленной электронике» для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» / авт.-сост.: В. А. Карпов, С. А. Мурашко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 34 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Подготовлен в соответствии с программой курса.

Содержатся теоретические сведения об основных источниках помех и способах их уменьшения.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника».

**УДК 621.391.827+621.396.96(075.8)**  
**ББК 32.96-04я73**

© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2006



## Лабораторная работа №1

### Исследование влияния помех общего и нормального видов во входных цепях измерительных преобразователей.

**Цель работы:** исследование влияния помех нормального и общего видов на точность работы измерительных преобразователей.

#### Используемое оборудование.

Лабораторный стенд для исследования помехоустойчивости и измерительный преобразователь-интегрирующий вольтметр постоянного тока типа В7-37, шестидекадный магазин сопротивлений МС типа Р-33.

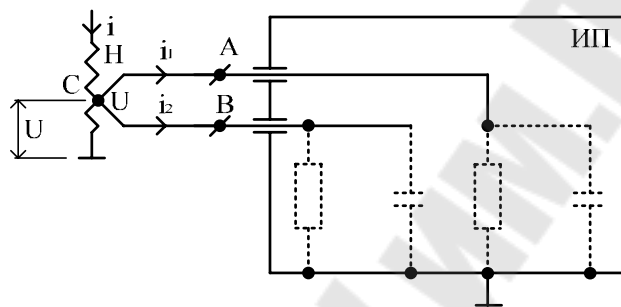


Рис.1. Пример источника помех общего вида.

### 1. Общие теоретические сведения

Источники помех в измерительных преобразователях и способы оценки помехозащищенности.

В общем виде под помехами понимают любые факторы, искажающие результаты измерения. Далее под помехами подразумеваются паразитные сигналы, действующие на входе измерительного преобразователя (ИП) наряду с полезным сигналом – напряжением постоянного тока.

Источниками помех могут быть электромагнитные наводки, термо-ЭДС, токи утечки, протекающие по распределенным сопротивлениям изоляции, и другие явления. Отмеченные источники возникают непосредственно во входном контуре ИП.

На рис.1 представлен источник помехи иного вида. ИП измеряет напряжение постоянного тока  $U$ , создаваемое термопарой ТП, приваренной к нагревателю Н, по которому протекает переменный ток  $i$ . Нижний конец Н и корпус ИП заземлены. ИП должен иметь симметричный вход (ни один из входов не соединён с корпусом). В данном случае точка соединения термопары с нагревателем находится под определенным потенциалом  $\varphi$  относительно земли. При этом распределённые сопротивления и ёмкости изоляции (показаны пунктиром) между корпусом ИП и входами. А, В не могут быть одинаковыми. Поэтому токи утечки  $I_1, I_2$ , создаваемые напряжением  $U$  не равны, что приводит к появлению разности напряжений

$U_{AB}$ . Эта разность потенциалов является паразитным сигналом, действующим во входном контуре ИП. т.е. напряжение  $U$ , хотя и не действует непосредственно во входной цепи ИП, но частично «проникает в него»

Для оценки влияния помех, используются эквивалентные схемы в которых элементы с распределенными параметрами заменяют сосредоточенными, а всю совокупность источников помех заменяют двумя (рис.2). Это ЭДС помехи нормального вида  $E_{н.в.}$  и ЭДС помехи общего вида  $E_{о.в.}$ . В дальнейшем будем рассматривать помехи постоянного тока и синусоидальные, имея в виду, что периодический сигнал может быть представлен в виде суммы гармоник. Среди синусоидальных помех наибольший интерес представляют помехи сетевой частоты.

Представим  $E_{н.в.}$  в виде суммы помех:  $\bar{E}_{н.в.}$  и  $\tilde{E}_{н.в.}$  - соответственно постоянного тока и синусоидальной ЭДС. Составляющая  $\bar{E}_{н.в.}$  неотличима от полезного напряжения  $U$ . Различные схемные способы направлены на защиту от  $\tilde{E}_{н.в.}$ , их называют способами защиты от помехи нормального вида. Однако какие бы не применялись способы, некоторое влияние  $\tilde{E}_{н.в.}$  остается.

Степень защищенности ИП от  $\tilde{E}_{н.в.}$  характеризуют коэффициентом подавления синусоидальной помехи нормального вида, выражаемого в дБ.

$$\tilde{K}_{н.в.} = 20 \lg \frac{E_{н.в.м}}{|\Delta U|},$$

где  $E_{н.в.м}$  – амплитуда синусоидальной ЭДС помехи нормального вида;  $\Delta U$  – изменение показаний ИП, вызванное этой помехой.

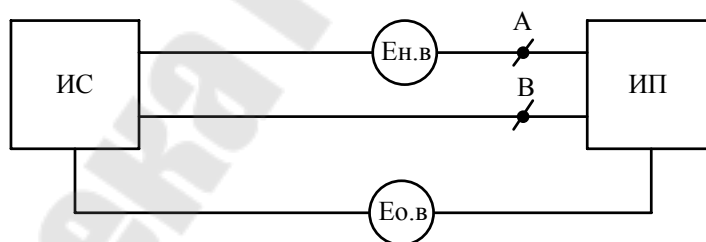


Рис.2. Эквивалентная схема, отражающая наличие помех нормального  $E_{н.в.}$  и общего  $E_{о.в.}$  видов, ИС – источник изменяемого сигнала.

При краткой характеристике защищенности ИП о  $E_{н.в.}$  дается значение  $\tilde{K}_{н.в.}$ , только на одной частоте, как правило сетевой. При более полной характеристике дается частная зависимость  $\tilde{K}_{н.в.}(f)$ .

ЭДС помехи общего вида влияет на показания ИП лишь постольку, поскольку некоторая ее доля  $E'_{о.в.}$  проникает во входную цепь ИП. Способы, направленные на уменьшение отношения  $E'_{о.в.}/E_{о.в.}$  называют способами защиты от помех общего вида.

Электродвижущие силы  $E_{o.v.}$  и  $E'_{o.v.}$  можно, как и раньше, представить в виде составляющих  $\bar{E}_{o.v.}$ ,  $\tilde{E}_{o.v.}$ ,  $\bar{E}'_{o.v.}$ ,  $\tilde{E}'_{o.v.}$ . Степень защищенности ИП от помех общего вида характеризуют двумя коэффициентами подавления помех общего вида.

$$\bar{K}_{o.v.} = 20 \lg \frac{\bar{E}_{o.v.}}{\bar{E}'_{o.v.}},$$

$$\tilde{K}_{o.v.} = 20 \lg \frac{\tilde{E}_{o.v.}}{\tilde{E}'_{o.v.}}$$

Электродвижущая сила  $\bar{E}_{o.v.}$ , перешедшая во входную цепь, неотличима от полезного сигнала – напряжения постоянного тока  $U$  – и вызывает изменение показаний ИП на некоторую величину  $\Delta U$ , поэтому  $\bar{K}_{o.v.}$  можно записать в следующем виде:

$$\bar{K}_{o.v.} = 20 \lg \frac{\bar{E}_{o.v.}}{|\Delta U|}$$

ЭДС  $\tilde{E}'_{o.v.}$ , перешедшая во входной контур, действует в нем так же, как  $\tilde{E}_{n.v.}$ . Поэтому если в ИП использовать какой либо способ защиты от помех нормального вида  $\tilde{E}_{n.v.}$ , то он в равной мере относится и к помехе общего вида  $\tilde{E}'_{o.v.}$ , перешедшей в него. Т.е.  $\tilde{E}'_{o.v.}$  может дополнительно подавляться, а изменение показаний  $\Delta U$ , которое она вызывает, определяется  $\tilde{K}_{n.v.}$ . В связи с этим вводят еще один коэффициент, называемый эффективным коэффициентом подавления синусоидальных помех общего вида:

$$\tilde{K}_{o.v.эфф} = 20 \lg \frac{E_{o.v.m}}{|\Delta U|},$$

где  $E_{o.v.m}$  – амплитуда синусоидальной ЭДС помехи общего вида;  $\Delta U$  – изменение показаний ИП, вызванное действием этой помехи.

$$\text{Представив } \frac{E_{o.v.m}}{\Delta U} = \frac{E_{o.v.m}}{E'_{o.v.m}} \cdot \frac{E'_{o.v.m}}{\Delta U},$$

можно записать  $\tilde{K}_{o.v.эфф} = \tilde{K}_{o.v.} + \tilde{K}_{n.v.}$ .

При краткой характеристике защищенности ИП от помех общего вида приводится  $\tilde{K}_{o.v.}$  на одной частоте, как правило сетевой, и значение  $\bar{K}_{o.v.}$ . При более полной характеристике- частотная зависимость  $\tilde{K}_{o.v.}(f)$  (или  $\tilde{K}_{o.v.эфф}(f)$ ).

В последнем случае

$$\tilde{K}_{o.v.} = \tilde{K}_{o.v.}(0) = \tilde{K}_{o.v.эфф}(0)$$

## 2.1. Определение зависимости $\tilde{K}_{н.в. \min}(m)$ .

$\tilde{K}_{н.в.}(m)$  определяется для наихудших значений  $f$ . ИП в режиме измерения  $U$  с периодическим запуском подключается к генератору синусоидальных напряжений  $G$  (см. схему на рис.3). Среднееквadrатическое значение ЭДС  $\tilde{E}_{н.в.}$ , имитирующей помеху нормального вида, измеряется вольтметром переменного тока. Необходимо соблюсти условие

$$E_{н.в.} < 1.2 * U_{ном},$$

где  $E_{н.в.}$  - амплитуда ЭДС  $\tilde{E}_{н.в.}$ ;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение  $U$  на выбранном диапазоне измерения. При режиме наихудших частот, следует иметь в виду, что у прибора В7-23 длительность первого такта интегрирования составляет 40 мс.

Для каждого установленного значения частоты нужно некоторое время наблюдать за изменением искажений прибора и зафиксировать среди них наибольшее по абсолютной величине  $\Delta U$ . Эти изменения обусловлены тем, что фазовый сдвиг  $\varphi$  ЭДС  $\tilde{E}_{н.в.}$  изменяются относительно начала первого такта интегрирования синхронизированного с сетью. Наибольшие искажения соответствуют наихудшему  $\varphi$ , т.е. наименьшему  $\tilde{K}_{н.в.}$ . Значения  $\tilde{K}_{н.в. \min}$  вычисляется по формуле

$$\tilde{K}_{н.в.} = 20 * \lg\left(\frac{E_{н.в.}}{|\Delta U|}\right)$$

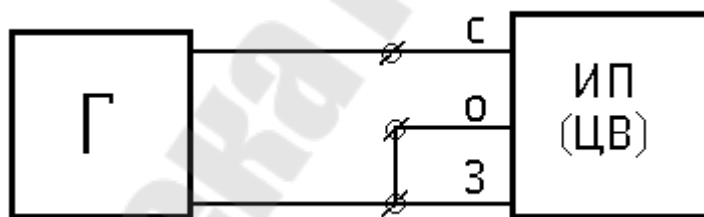


Рис.3 Схема эксперимента и для определения  $\tilde{K}_{н.в.}$ .

## 2. Определение соответствия ИП по значению $\tilde{K}_{н.в. \min}$ для помехи частоты сети.

Для определения  $\tilde{K}_{н.в. \min}(50\text{Гц})$  необходимо собрать схему, представленную на рис.4

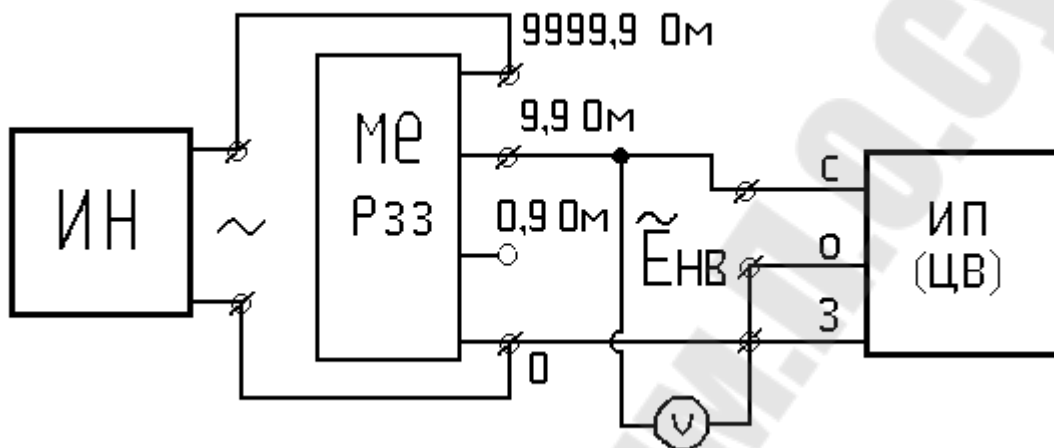


Рис.4 Схема эксперимента для определения  $\tilde{K}_{н.в.}(50\text{Гц})$

Магазин сопротивлений ME используется как делитель напряжения, снимаемое с ИН. Коэффициент деления следует выбирать так, чтобы обеспечить равенство  $E_{н.в.т} = U_{ном}$ , где  $E_{н.в.т}$  - амплитуда ЭДС  $\tilde{E}_{н.в.}$ ;  $U_{ном}$  - номинальное значение U на выбранном диапазоне. Среднеквадратическое значение ЭДС  $\tilde{E}_{н.в.}$  измеряется вольтметром V. Если показания ИП остаются нулевыми, это значит, что  $\tilde{K}_{н.в. \min} > 80\text{дБ}$ , так как значение  $U_{ном}$  на всех диапазонах соответствует числу  $10^4$ . Таким образом, отсутствие искажений при приложенном напряжении, имитирующим помеху, является свидетельством того, что  $\tilde{K}_{н.в. \min} \geq 80\text{дБ}$ .

## 3. Экспериментальное определение значения $\bar{K}_{о.в.}$

Необходимо собрать схему эксперимента, представленную на рис. 5. Сначала с помощью цифрового прибора необходимо уточнить напряжение на выходе ИН, а затем использовать его в качестве имитации помехи общего вида  $E_{о.в.}$ .



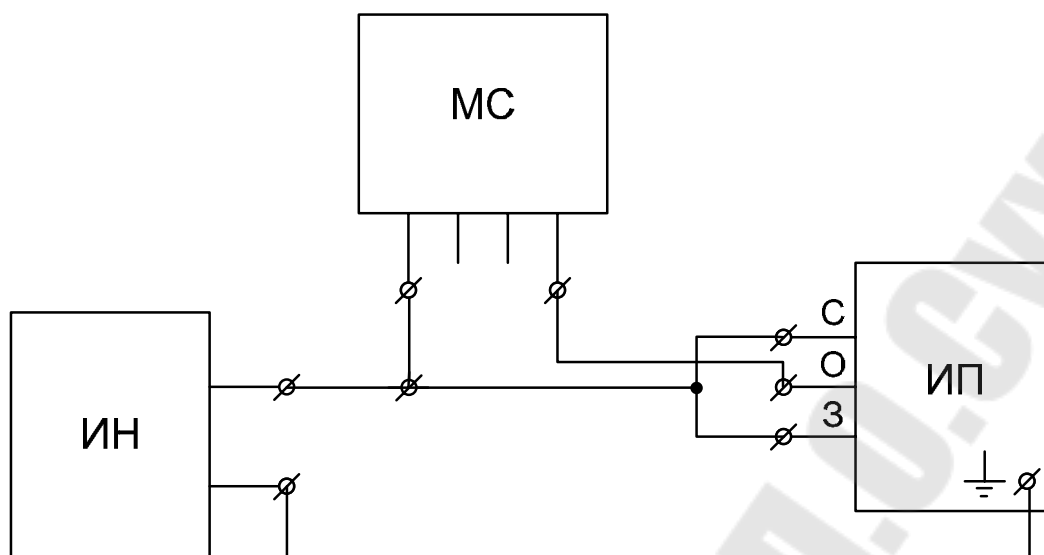


Рис. 5. Схема эксперимента для определения  $\bar{K}_{o.v.}$ .

На МС необходимо установить значение сопротивления 1 кОм. Оно соответствует  $R_{вых.}$  эквивалентной схемы замещения измерительной цепи ИП и ИН. Если ИП (ЦВ) удовлетворяет требованиям технических условий по значению  $\bar{K}_{o.v.}$ , то его показания должны остаться нулевыми даже на диапазоне 0,1 В (для того, чтобы при  $\bar{K}_{o.v.}=140$  дБ показания изменились хотя бы на один квант – 10 мкВ, необходимо приложить напряжение не 10 В, а 100 В. Из соображений техники безопасности такие напряжения в лабораторной практике не используются). Для определения  $\bar{K}_{o.v.}$  при помехе  $\sim 10$  В необходимо увеличивать сопротивление устанавливаемое на МС до тех пор, пока показание прибора не составит несколько единиц младшего разряда (нескольких квантов) на диапазоне 0,1 В. А  $\bar{K}_{o.v.}$  необходимо рассчитать по формуле [ГОСТ 14014 – 82. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие технические условия.]:

$$\bar{K}_{o.v.} = 20 \lg \frac{\bar{E}_{o.v.}}{|\Delta U|} + 20 \lg R_{мс},$$

где  $R_{мс}$  – сопротивление, установленное на магазине сопротивлений МС, в кОм.

#### 4. Определение $\tilde{K}_{o.v.}$ (10 кГц) и $\tilde{K}_{o.v.эфф}(f)$ .

Для определения коэффициента подавления помехи общего вида на частоте 10 кГц –  $\tilde{K}_{o.v.}$  (10 кГц) и эффективного коэффициента подавления

помех общего вида  $\tilde{K}_{o.v.эфф.}$  от частоты помехи  $f$  необходимо собрать схему эксперимента, представленную на рис. 6.

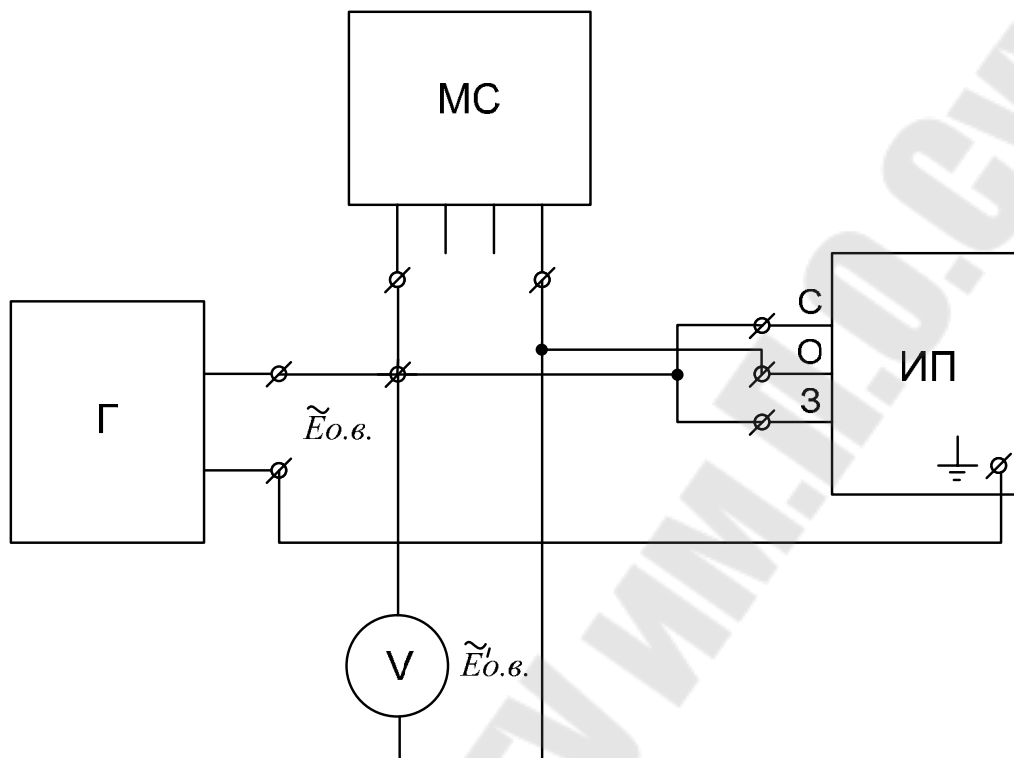


Рис. 6. Схема эксперимента для определения  $\tilde{K}_{o.v.}(f)$ .

На МС необходимо установить значение сопротивления 1 кОм. В этой схеме вольтметр V измеряет проникшую во входной контур долю  $\tilde{E}'_{o.v.}$  от всей ЭДС  $\tilde{E}_{o.v.}$ , которую имитирует генератор Г. Последняя измеряется вольтметром V перед снятием эксперимента. Амплитуда помехи  $E_{o.v.м.}$  ЭДС  $\tilde{E}_{o.v.}$  не должна превышать  $1,2 U_{ном.}$  на выбранном диапазоне измерения. Для построения  $\tilde{K}_{o.v.эфф.}(f)$  необходимо использовать формулу:

$$\tilde{K}_{o.v.эфф.} = \tilde{K}_{o.v.} + \tilde{K}_{н.в.}$$

## 5.Содержание отчета

Наименование и номер работы. Цель работы. Диаграммы работы схемы. Таблица с результатами расчетов и измерений, графики. Принципиальная схема.

## 6. Контрольные вопросы

1. Построить ЛАЧХ  $\tilde{K}_{O.B}(t)$  для ИП с защитой от помех общего вида путем симметричного входа с экранированием, если известно, что  $R_{\text{ВЫХ1}}=0$ ;  $R_{\text{ВЫХ2}}=R_{\text{ВЫХ}}=1$  кОм;  $R_{\text{BF}}=0,1$  тОм;  $C_{\text{BF}}=5$  пФ.
2. Найти  $\tilde{K}_{O.B}$  для ИП с симметричным входом и защитным экранированием, если известно, что  $\tilde{K}_{O.B}(50\text{Гц})=120$  дБ;  $R_{\text{ВЫХ1}}=0$ ;  $R_{\text{ВЫХ2}}=R_{\text{ВЫХ}}=1$  кОм;  $R_{\text{BF}}=31,8$  ГОм;  $C_{\text{BF}}=10$  пФ.
3. Построить ЛАЧХ  $\tilde{K}_{O.B}(t)$  для ИП с симметричным входом и защитным экранированием, если известно, что  $R_{\text{ВЫХ1}}=0$ ;  $R_{\text{ВЫХ2}}=R_{\text{ВЫХ}}=1$  кОм;  $R_{\text{BF}}=0,1$  ТОм;  $C_{\text{BF}}=10$  пФ. На входе установлен низкочастотный фильтр с постоянной времени 10 мс.
4. Найти минимальную частоту для измерительного преобразования двойного интегрирования на которой  $\tilde{K}_{H.B} \rightarrow \infty$ , если длительность интегрирования составляет 100 мс.
5. Найти сопротивление  $R_{\text{BF}}$ , если известно, что  $R_{\text{ВЫХ1}}=0$ ;  $R_{\text{ВЫХ2}}=R_{\text{ВЫХ}}=1$  кОм, а зависимость  $\tilde{K}_{O.B}=60-40\lg 40f$ .

## Лабораторная работа №2

### Исследование способов защиты входных цепей измерительных преобразователей от помех общего и нормального видов.

**Цель лабораторной работы:** исследование способов защиты измерительных преобразователей от помех общего вида путём использования симметричного входа и симметричного входа с защитным экранированием.

#### 1. Краткие теоретические сведения.

При защите от помех общего вида используют два способа:

- Симметричный вход
- Симметричный вход с экранированием

##### 1.1 Симметричный вход

Под симметричным входом ИП подразумевают такой вход, когда входные зажимы изолированы от корпуса (в отличие от осциллографа, в котором один из входов соединён с корпусом прибора). Иногда такой вход называют «плавающим» (потенциал входного контура относительно корпуса изменяется, «плавает»).

На рис. 1  $R_{AF}$ ,  $R_{BF}$  отображают распределённые сопротивления изоляции,  $C_{AF}$ ,  $C_{BF}$  – распределённые ёмкости между корпусом ИП (точка F) и его входными зажимами (точки A и B). ЭДС полезного сигнала и помехи нормального вида не показаны. Помеха общего вида представлена ЭДС  $\tilde{E}_{O.B.}$ . Корпус источника ИИ (точка D) может быть соединён с любой точкой его схемы, поэтому выходное сопротивление  $R_{вых}$  разделено на две части  $R_{вых1}$ ,  $R_{вых2}$ . Сопротивления проводов линии связи обозначены  $r_1$ ,  $r_2$ .

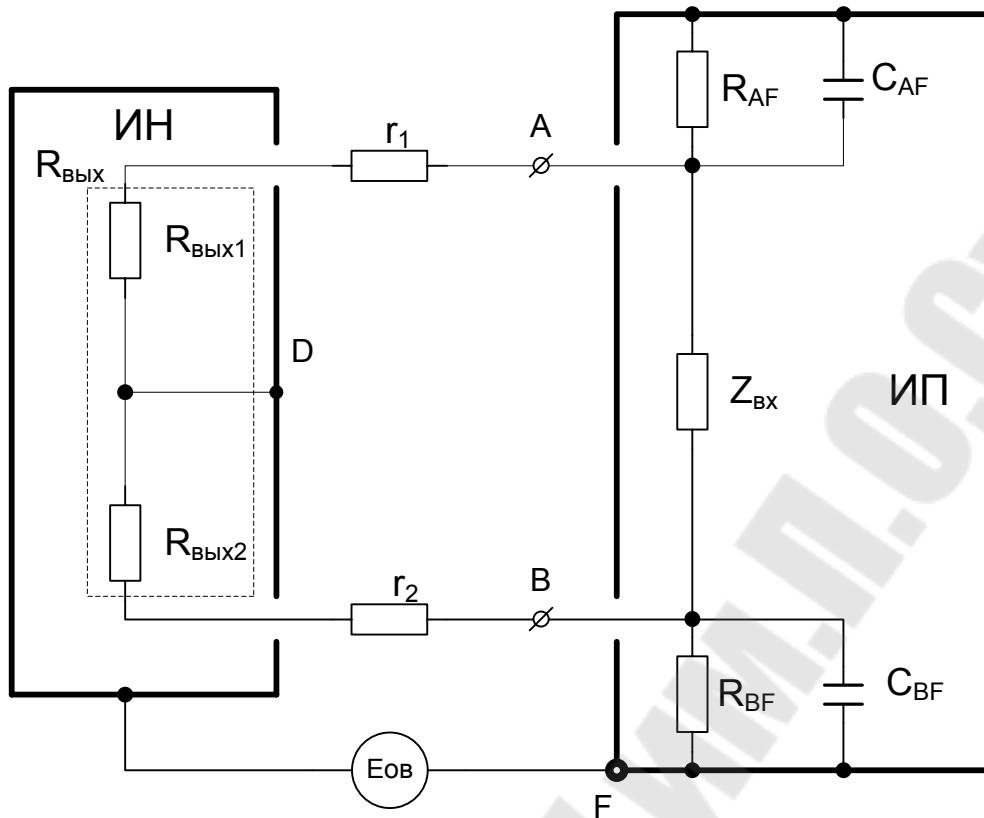


Рис.1 Использование симметричного входа в ИП.

Поскольку вход ИП симметричный точка В не соединена с корпусом (точкой F), во входной контур будет проникать лишь часть  $\tilde{E}_{O.B.}$ , причём малая, поскольку  $R_{BF}$  велико, а  $C_{BF}$  мала. В соответствии с эквивалентной схемой (рис. 1) требуется найти  $K_{O.B.}(f)$  – коэффициент подавления помехи общего вида  $\tilde{E}_{O.B.}$ . Схему, представленную на рис. 1 можно изобразить в более удобном для анализа виде (см. рис. 2.а). В диагонали АВ моста AFBD может оказаться нулевое напряжение, т.е.  $\tilde{E}_{O.B.}=0$ .

Но этот случай маловероятен. Будем ориентироваться на наихудший случай – случай наибольшего разбаланса моста. Обычно  $R_{AF} > R_{BF}$ ,  $C_{AF} < C_{BF}$ , потому, что зажим В соединён с общей точкой схемы ИП и эта «точка» имеет геометрические размеры, значительно превышающие размеры той части схемы, которая соединена с зажимом А. Следовательно, разбаланс моста (рис. 2.а) будет тем больше, чем больше, чем меньше  $R_{ВЫХ1}$  и  $r_1$ ; в пределе – при короткой линии связи ( $r_1=0$ ) и при соединении корпуса ИП с крайней точкой  $R_{ВЫХ}$  ( $R_{ВЫХ1}=0$ ). Таким образом, можно принять (на наихудший случай)  $R_{ВЫХ2}=R_{ВЫХ}$ ;  $r_1=r_2$ ;  $R_{ВЫХ1}=0$ .

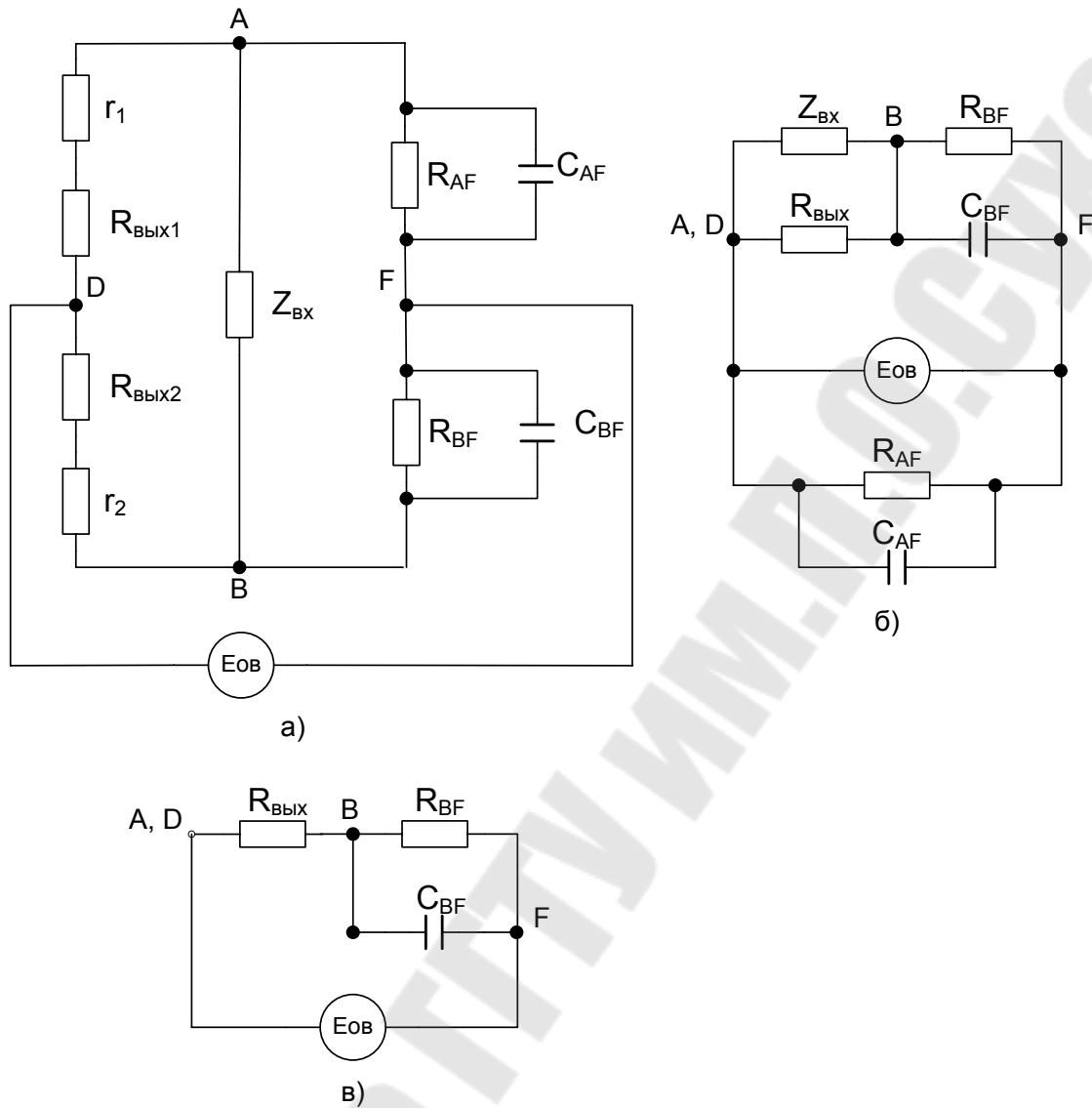


Рис. 2 Эквивалентные схемы ИП с симметричным входом в условиях действия помех общего вида  $E_{O.B.}$ . а) – полная, б) – упрощённая.

В этом случае точки А и D совмещаются, и мост вырождается в более простую схему, представленную на рис. 2.б. Учитывая, что  $Z_{вх} \gg R_{вых}$ , эту схему можно ещё упростить (отбрасывая  $R_{AF}$ ,  $C_{AF}$  поскольку они подсоединены параллельно  $\tilde{E}_{O.B.}$ ). Данная схема представлена на рис. 2.в. Разность напряжений между точками А и В – это и есть доля помехи общего вида  $\tilde{E}_{O.B.}$ , прошедшая во входной контур ИП  $\tilde{E}_{O.B.}$ .

С учётом малости  $R_{вых}$ , можно записать:

$$\tilde{E}'_{O.B.} = \tilde{E}_{O.B.} \frac{R_{вых}}{R_{BF}} \sqrt{1 + (\omega\tau_{BF})^2},$$

где  $\tau_{BF} = R_{BF} \cdot C_{BF}$ . Тогда  $K_{O.B.}$  имеет вид:

$$K_{O.B.} = 20 \lg \frac{\tilde{E}_{O.B.}}{\tilde{E}'_{O.B.}} = 20 \lg \frac{R_{BF}}{R_{вых}} \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau_{BF})^2}}$$

Для построения зависимости  $K_{OB}(f)$  выделяют участки, когда  $(\tau_{BC})^2 \gg 1$ ,  $(\tau_{BF})^2 \gg 1$ .

Тогда 
$$K_{OB} = \bar{K}_{OB} = 20 \cdot Lg \frac{R_{BF}}{R_{ВЫХ}}$$

$$K_{OB} = \bar{K}_{OB} - 20 \cdot Lg w \cdot \tau_{BF} = 20 \cdot Lg \frac{1}{w \cdot R_{ВЫХ} \cdot C_{BF}}$$

Частотная характеристика  $K_{OB}$  представлена на рис.2.г.

Согласно ГОСТ14014-81 Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие технические условия. Сопротивление  $R_{ВЫХ}$  принято задавать равным 1 кОм. Значение  $R_{BF}$  не трудно обеспечить на уровне 0,1 ÷ 10 гОм,  $C_{BF} = 0,1 \div 10$  нФ. Примем  $R_{BF} = 1$  гОм,  $C_{BF} = 1$  нФ. Тогда

$$\bar{K}_{OB} = 20 \cdot Lg 10^6 = 120 \text{ дБ.}$$

$$K_{OB}(50 \text{ Гц}) \approx 70 \text{ дБ.}$$

Такое подавление в большинстве случаев оказывается недостаточным.

## 1.2. Сочетание симметричного входа с экранированием.

Корпус ИП играет роль экрана  $\mathcal{E}_1$ . Часть элементов схемы ИП (по крайней мере, входной усилитель) помещена во внутренний экран  $\mathcal{E}_2$ , электрически изолированный от  $\mathcal{E}_1$ ,  $R_{CF}$ ,  $C_{CF}$  отражают распределенные сопротивления и емкость изоляции между экранами  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$ . Экран  $\mathcal{E}_2$  соединен с экраном  $\mathcal{E}_3$ , в котором находится провода линии связи  $r_1$  и  $r_2$ . Сопротивление экрана  $\mathcal{E}_3$  –  $r_3$ . Таким образом, ИП имеет трехзажимный вход АВС (Н<sub>1</sub>, L<sub>0</sub>, G<sub>u</sub> – высокий, низкий, защита). Схему можно представить в более удобном виде, представленном на рис. 4. Схема содержит три полумоста АDB, АСВ, ФАИ и делитель напряжения с низкоомным плечом  $r_3$ . Обратный полумост АFB и определяет разность потенциалов точек А и В для моста ABCD, а затем, наоборот, отбросим полумост АСВ и определим ту же разность потенциалов для моста AFBD. Можно заметить, что при отбрасывании полумоста АFB оставшаяся часть схемы отличается от уже рассмотренной (рис. 2.1) только тем, что  $K_{OB}$  приложено к диагонали не непосредственно, а через делитель напряжения с элементами  $r_3$ ,  $C_{CF}$ ,  $R_{CF}$ . Поэтому остаются в силе все рассуждения, которые привели к упрощению схемы, представленной на рис. 2.а. В результате получаем схему представленную на рис. 4.б. Она представляет собой двухступенчатый делитель напряжения. С учетом малости  $R_{ВЫХ}$ ,  $r_3$  можно получить:

$$K_{O.B.} = 20 \cdot Lg \frac{R_{BE} \cdot R_{CF}}{R_{ВЫХ} \cdot r_3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (w \cdot \tau_{BC})^2} \cdot \sqrt{1 + (w \cdot \tau_{CF})^2}},$$

где  $\tau_{BC} = R_{BC} \cdot C_{BC}$ ;  $\tau_{CF} = R_{CF} \cdot C_{CF}$ .

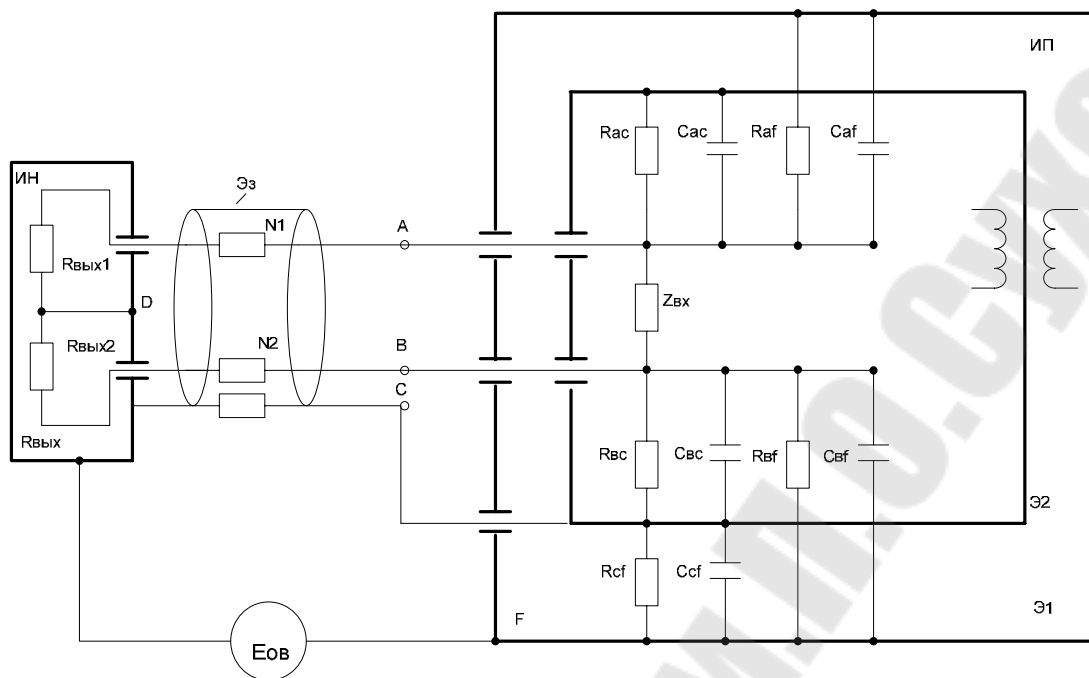


Рис. 3 Использование симметричного входа совместно с защитным экранированием

Для приближенного расчета положим  $R_{BC} = R_{CF} = 1 \text{ гОм}$ ,  $C_{BC} = C_{CA} = 1 \text{ нФ}$ , тогда в соответствии с последней формулой

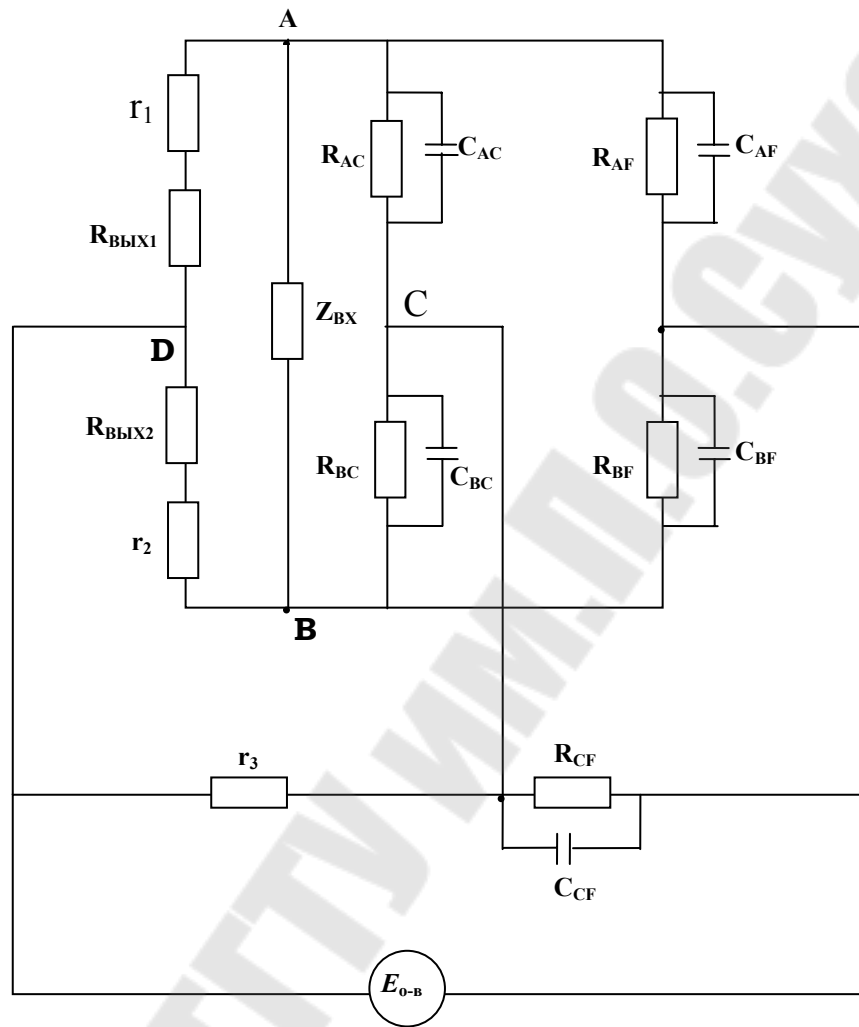
$$K_{OB} = 20 \cdot Lg 10^{15} = 300 \text{ дБ.}$$

$$K_{OB}(50 \text{ Гц}) = 200 \text{ дБ.}$$

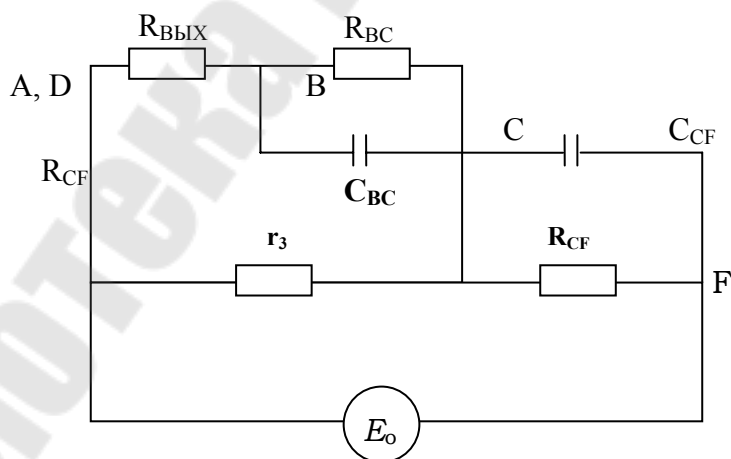
Отбросим в схеме рис. 4.а. полумост ABC, тогда получается схема полностью совпадающая с показанной на рис. 2.а. и соответственно сводящаяся к схеме рис. 2.в. Но есть существенное количественное различие: в схеме на рис. 3 значения  $R_{BF}$  и  $C_{BF}$  гораздо больше чем в схеме на рис. 1. Это так называемые проходные сопротивления и емкость, обусловленные не идеальностью экранирования трансформатора источника питания. Примем ориентировочного расчета, что  $R_{BF}$  и  $C_{BF}$  отличаются от  $R_{BC}$ ,  $R_{CF}$  и  $C_{BC}$  и  $C_{CF}$  на два порядка:  $R_{BF} = 100 \text{ гОм}$ ,  $C_{BF} = 10 \text{ пФ}$ . Тогда в соответствие выражениям для  $K_{OB}$  для схемы на рис. 2.в. можно найти  $K_{OB} = 160 \text{ дБ}$ ,  $K_{OB}(50 \text{ Гц}) = 110 \text{ дБ}$ .

Таким образом двухступенчатый делитель (см. рис. 4.б.) столь сильно уменьшает влияние  $R_{BC}$ ,  $C_{BC}$  и  $R_{CF}$ ,  $C_{CF}$ , что коэффициент подавления определяется не ими, а  $R_{BF}$ ,  $C_{BF}$ . Эффект увеличения помехозащищенности в схеме с замкнутым экранированием обусловлен тем, что в ней  $R_{BF}$  значительно больше, а  $C_{BF}$  значительно меньше.





а)



б)

Рис.4. Эквивалентные схемы ИП с симметричным входом и защитным экранированием: а) полная, б) упрощенная.

## 2. Ход лабораторной работы.

### 2.1. Определение оптимального подключения линии связи ИП при измерении напряжения.

Экспериментальное определение оптимального подключения линии связи ИП к исследуемому напряжению в условиях действия помех общего вида осуществляется в соответствии со схемой, приведенной на рис.5. В которой, источником сигнала является напряжение в диагонали моста, образованного резисторами  $R_1, R_2, R_3, R_{MC}$ .

Сначала нужно цифровым прибором изменить значения резисторов  $R_1, R_2, R_3$ , установленных в стенде. После этого на магазине сопротивлений МС нужно установить такое значение сопротивления  $R_{MC}$ , чтобы четырехплечий мост, образованный  $R_1, R_2, R_3, R_{MC}$  был уравновешен.

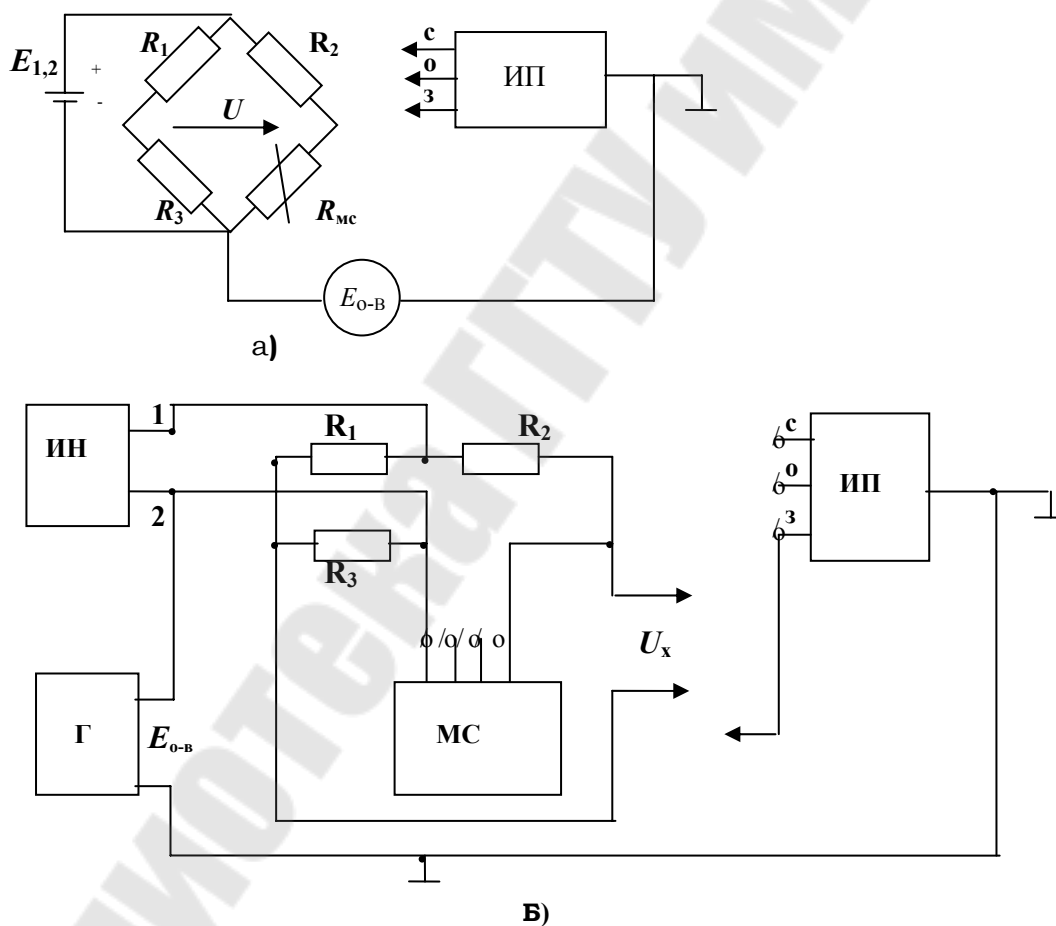


Рис.5. Схема эксперимента для определения оптимального подключения линии связи при наличии помех общего вида  $E_{0-B}$

Теперь необходимо решить два вопроса:

– Куда подключить зажим 3 измерительного преобразователя (ЦВ);

– Как выгоднее подключить зажимы  $C$  и  $O$  для измерения напряжения  $U$  в диагонали моста.

При решении первого вопроса нужно руководствоваться следующими соображениями:

Зажим  $3$  нужно подключить так, чтобы ЭДС  $E_{o.в.}$ , имитирующая помеху общего вида, как можно меньше проникала в цепь моста, т.е. создавала в его клеммах как можно меньше тока.

Для решения второго вопроса нужно мостовую цепь представить в виде эквивалентной схемы (рис.6),

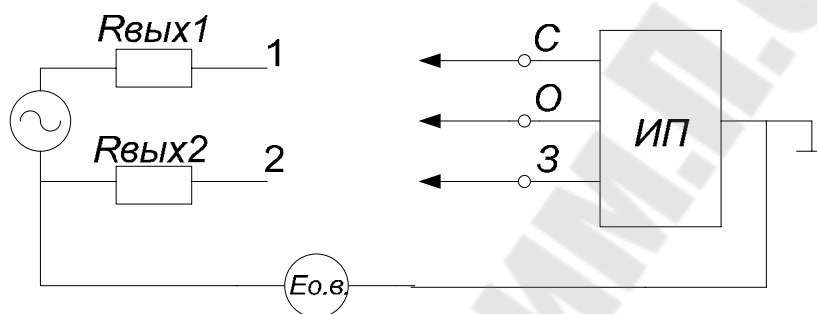


Рис.6. Эквивалентная схема источника напряжения  $U$ .

Вычислить значения  $R_{вых1}$  и  $R_{вых2}$  считая, что внутреннее сопротивление источника  $E=0$ ; учесть, что  $\tilde{E}_{o.в.}$  будет влиять тем, меньше, чем меньше сопротивление источника сигнала сосредоточено в ветви  $AO$ .

Определившись с этим вопросом следует собрать схему, представленную на рис.5.б.  $\tilde{E}_{o.в.}$  пока не подавать и зажим  $3$  никуда не подавать, а на ИП (ЦВ) установить диапазон  $0,1В$ .

Измерив сопротивление  $R_{MC}$ , нужно вывести мост из состояния равновесия настолько, чтобы показания ИП примерно соответствовали середине диапазона.

Затем нужно на генераторе  $\Gamma$  установить какое либо из неблагоприятных значений частоты  $f$  и значение  $\tilde{E}_{o.в.}$  порядка  $10\div 30В$  и приложить  $\tilde{E}_{o.в.}$  между корпусом ИП и мостом, как показано на рис. 5.а, а зажим № по прежнему никуда не подключать. Показание ИП измениться, причем это изменение будет флуктуировать из-за изменений фазы  $\psi$ .

Затем нужно присоединить зажим  $3$  в соответствии с ранее принятым решением. Если присоединение зажимов  $C, O, 3$  к мосту верно, то флуктуация показаний должна резко уменьшиться, так что показание станет таким же или почти таким же, как до подачи  $\tilde{E}_{o.в.}$ .

Далее следует сделать проверку: во-первых, поменять местами подключение к зажимам  $C$  и  $O$ : во-вторых, восстановив прежде подключение

к этим зажимам, присоединить зажим 3 к какой-нибудь другой точке моста. В обоих случаях флуктуация показания должны возрасти.

## 2.2. Определение уменьшения погрешности, вносимой линиями связи, при использовании четырехпроводной линии связи по сравнению с двухпроводной.

Как следует из рис.7а, при двухпроводной схеме включения измеряемого сопротивления  $R$  сопротивления  $r$  каждого из двух проводов ( $r_1=r_3=r$ ) вносит относительную погрешность  $2r/R = 200r/R, \%$ .

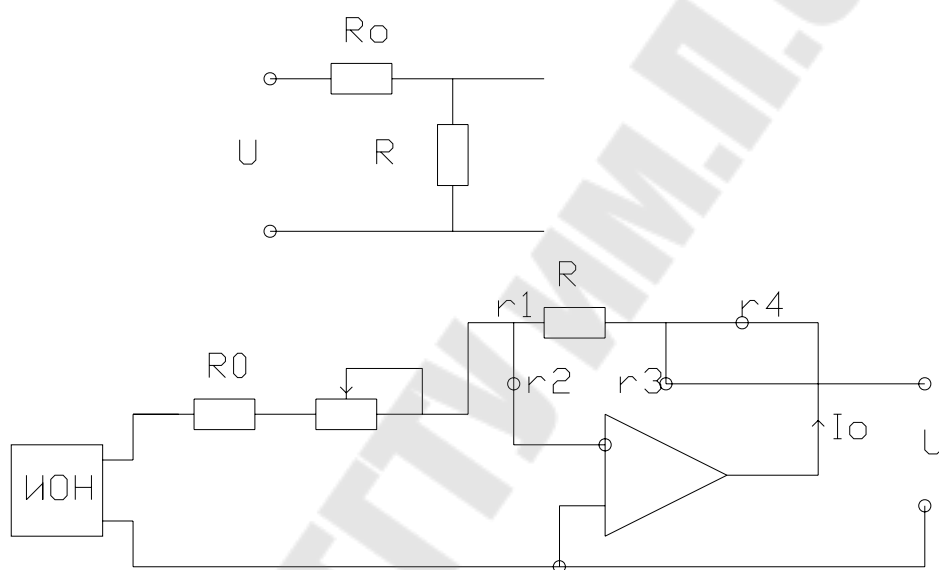


Рис. 7. Схемы подключения ИП для измерения сопротивления  $R$  – а) двухпроводная, б) четырехпроводная

При четырехпроводной схеме (рис.7.б) можно экспериментально определить влияние  $r$ , включая его по очереди в каждой из проводов  $r_1-r_4$ . Соответствующие схемы показаны на рис 8.а-г. Две младшие декады магазина сопротивлений имитируют  $r$  а на остальных устанавливается  $R=1\text{кОм}$ . Измерительный преобразователь работает в режиме измерения сопротивления. Зажимы  $И1, U1, I2, U2, 3$ . Это зажимы на лицевой панели лабораторного стенда, к которым кабелем подсоединяется ИП.

В соответствии с рис. 8. в трех случаях из четырех влияние  $r$  должно быть пренебрежимо малым. Поэтому в том единственном случае из четырех, где влияние  $r$  заметно (влияние  $r$  определяется по изменению показаний ИП  $\Delta R$  при  $r=5\text{Ом}$  по сравнению с  $r=0$ ), оно практически было бы таким же, если бы в каждой из четырех проводов  $r_1-r_4$  включили по сопротивлению  $r$ . Следовательно, проведенный эксперимент позволяет определить погрешность, вносимую сопротивлениями  $r$  при четырехпроводной

схеме включения: она составляет  $\Delta R/R = 100 \Delta R/R, \%$ . Ее значение нужно сопоставить с расчетным значением для двухпроводной схемы.

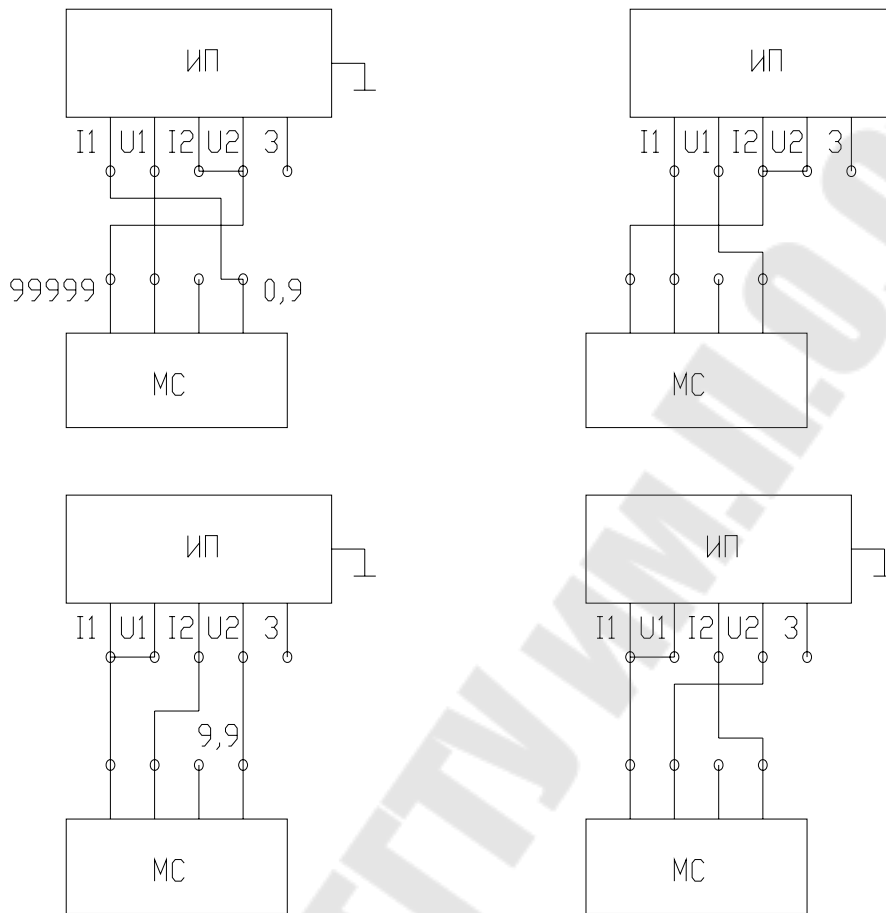


Рис. 8. Варианты схем подключения измеряемого сопротивления (МС) по экспериментальной схеме соединения.

### 2.3. Нахождение оптимального варианта подключения зажима 3 при измерении сопротивления в условиях действия помехи общего вида.

В качестве сопротивления  $R$  можно использовать магазин сопротивления МС, подключенный двухпроводной схеме (рис 9). ЭДС  $\tilde{E}_{ov}$ , имитирующая помеху общего вида, может быть приложена между любым  $R$  и корпусом ИП Рис. 9. Она приложена между I2,U2 и корпусом

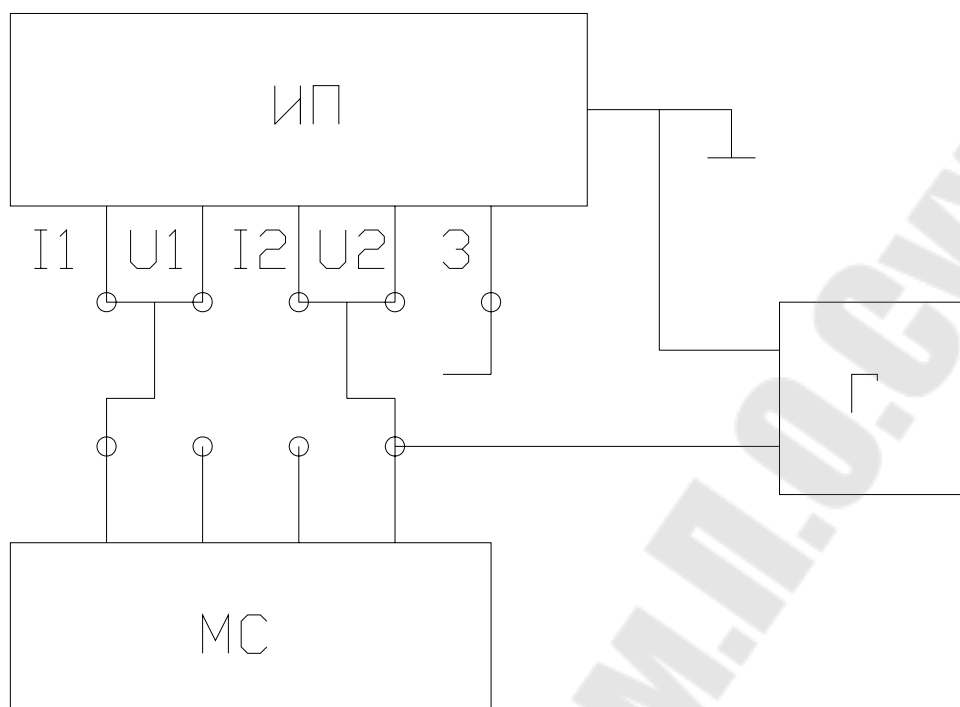


Рис. 9. Схема эксперимента для нахождения оптимального подключения зажима защитного заземления 3.

Выбор оптимального варианта подключения зажима 3 должен быть основан на таком же в принципе соображении, как и при измерении напряжений. Это подключение должно быть таким, чтобы ЭДС  $\dot{E}_{\text{ов}}$  создавала как можно меньший ток в измеряемом резисторе  $R$ .

Решив, куда должен быть подключен зажим 3, следует собрать схему, представленную на рис. 9, но зажим 3 пока ни куда не подключать. На магазине сопротивлений  $MC$  рекомендуется установить значение  $R$  порядка нескольких кОм и выбрать соответствующий диапазон измерения.

На генераторе  $\Gamma$  необходимо установить какое-либо из неблагоприятных значений частоты  $f$  и значение помехи  $\dot{E}_{\text{ов}}$  порядка 10-30В. Показание прибора будет флуктуировать из-за изменений фазы  $\varphi$ .

Теперь можно присоединить зажим 3 в соответствии с принятым решением.

Если это решение верно, то флуктуация показаний должна резко уменьшаться, так, что показание станет равным или почти равным установленному на  $MC$  значению  $R$ .

Рекомендуется сделать проверку: присоединить зажим 3 к какой-либо другой точке схемы – флуктуация должна возрасти.

## Содержание отчета

Наименование и номер работы. Цель работы. Диаграммы работы схемы. Таблица с результатами расчетов и измерений, графики. Принципиальная схема.

### 4. Контрольные вопросы.

1. Дать определение симметричного входа ИП.
2. Дать определение защитного экранирования.
3. К чему подключен зажим защитного экранирования внутри ИП.
4. К какой вершине моста следует подключить зажим защитного экранирования?
5. Что покажет ИП, если известно что,  $\tilde{E}_{ов}=10В$  и  $\tilde{K}_{ов}=140дБ$ , а емкость между зажимом обций и корпусом равна  $10пФ$ ?

### Лабораторная работа №3 Исследование корректора

**Цель работы:** ознакомиться с назначением, изучить принцип действия, работу корректора нелинейности.

#### 1. Краткие теоретические сведения.

Основной причиной нелинейности диффометрического преобразователя (ДМ) является нелинейность мембранного блока.

Чувствительные элементы в ДМ (мембраны, мембранные коробки, сильфоны и т.д.) имеют нелинейную зависимость перемещения определенной точки чувствительного элемента от действующей нагрузки. Изменение формы поверхности мембраны (гофрирование и т.д.) не всегда позволяет достичь необходимой линейности выходной характеристики ВХ. Поэтому на практике прибегают к электронной коррекции ВХ ДМ. Такая коррекция позволяет в необходимых пределах уменьшать отклонение реальной ВХ ДМ от линейного закона и является одним из наиболее применяемых методов повышения точности современных ДМ.

Структура электронного корректора и способ коррекции ВХ ДМ зависят от вида нелинейности.

#### Анализ способов линеаризации ВХ

Обычно для линеаризации ВХ используют специальные нелинейные звенья, которые включаются либо до, либо после преобразователя. В этих звеньях линеаризация достигается кусочно-линейной аппроксимацией и выполняется, как правило, с помощью последовательно соединенных резисторов, шунтированных стабилитронами или диодами.

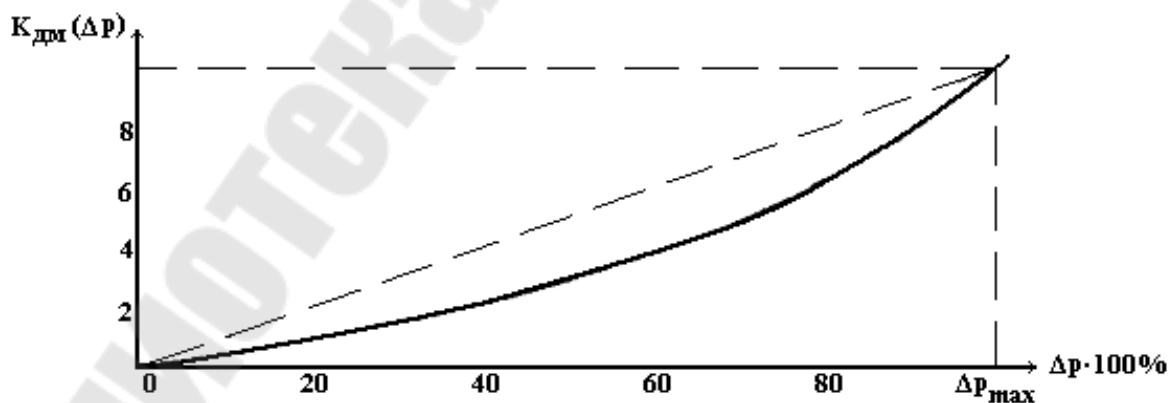


Рис.1. Нелинейная ВХ тензометрического блока ДМ, которую можно линеаризовать электронным корректором ДМ типа «Сапфир-2»



ДМ с ДТД имеют четыре вида характерных нелинейностей ВХ. Эти нелинейности, как видно из рис. 2, 3 и 4, отличаются друг от друга знаком отклонения ВХ ДМ от линейного закона. Знак отклонения может быть как отрицательный (рис. 2) или положительный (рис. 3), так и знакопеременный (рис. 4а, 4б).

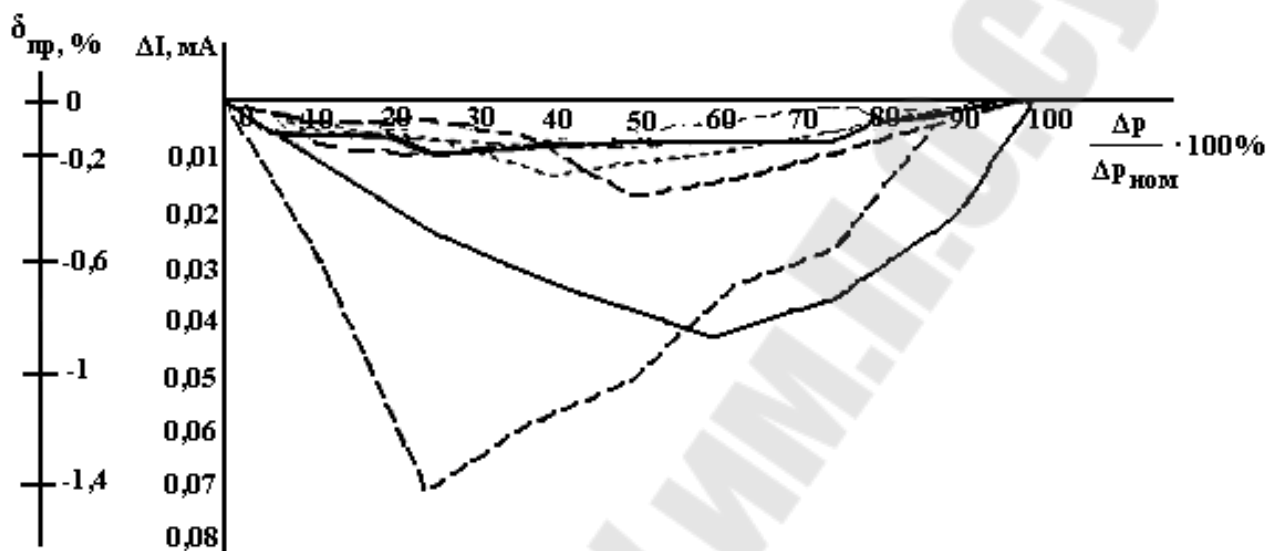


Рис.2. Отклонения ВХ ДМ от линейной характеристики с отрицательным знаком.

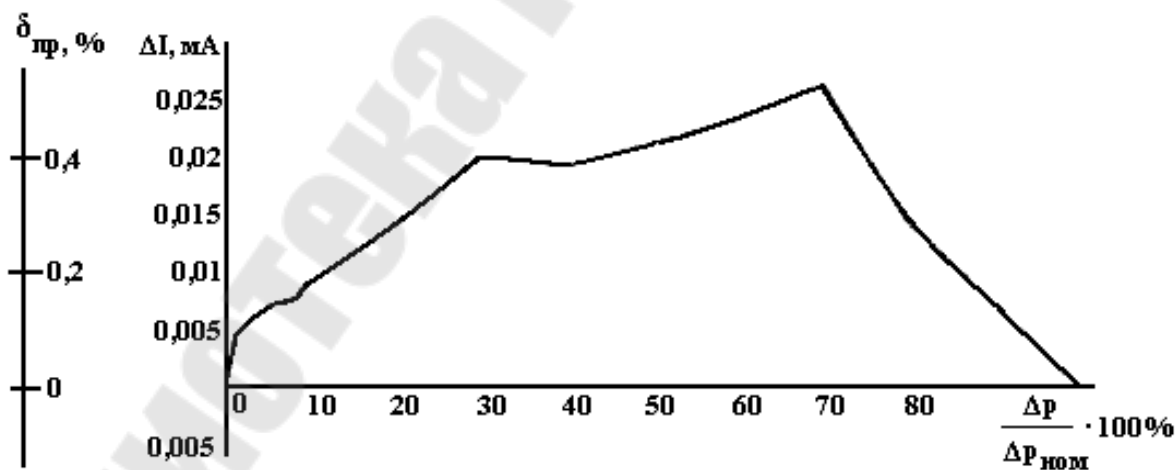


Рис.3. Отклонение ВХ ДМ от линейной характеристики с положительным знаком.

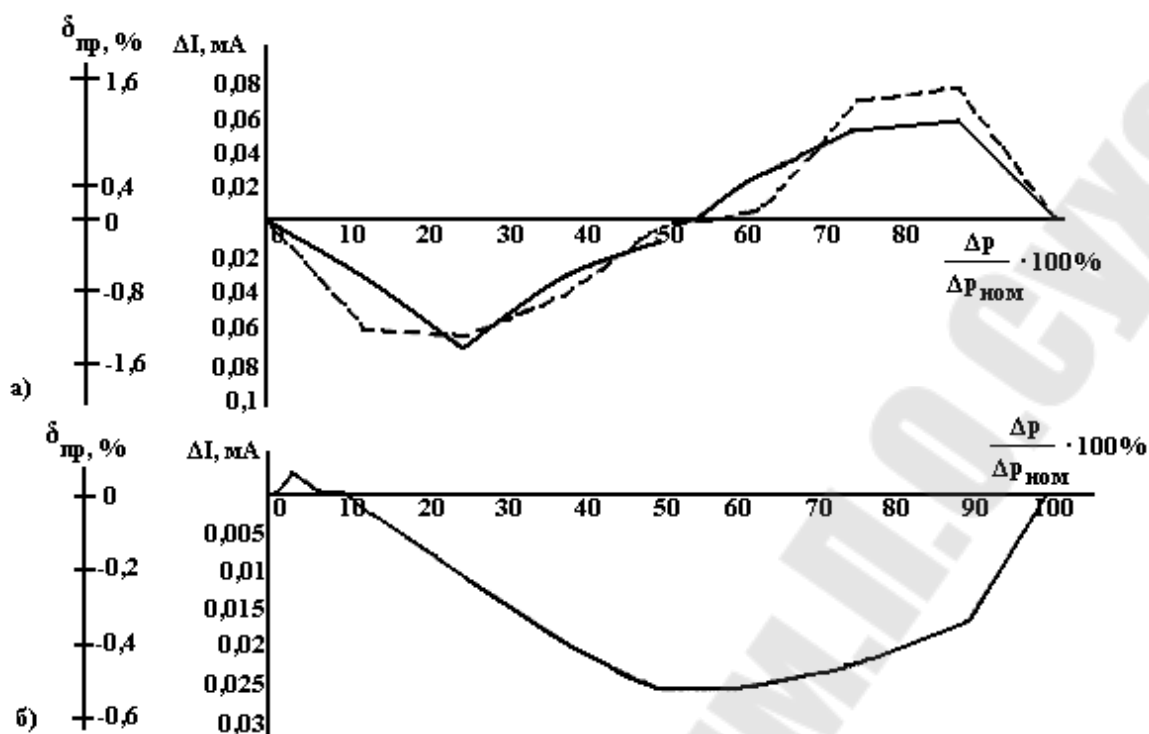


Рис.4. Знакопеременные отклонения ВХ ДМ от линейной характеристики.

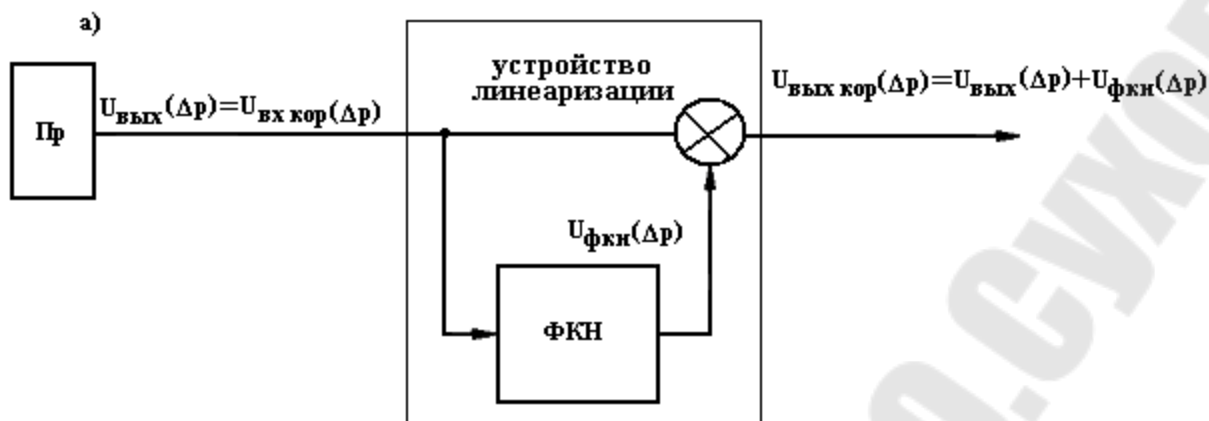
Структурная схема преобразователя выходного сигнала ДТД с электронным устройством линейаризации и графическое пояснение принципа линейаризации для одного из видов отклонений представлены на рис. 5а, 5б, где введены следующие обозначения:  $U_{\text{вых}}(\Delta p)$  - выходной сигнал преобразователя (Пр);  $U_{\text{вх кор}}(\Delta p)$  - входной сигнал устройства линейаризации; ФКН - формирователь корректирующего напряжения;  $U_{\text{фкн}}(\Delta p)$  - корректирующее напряжение;  $U_{\text{вых кор}}(\Delta p)$  - ВС устройства линейаризации.

Устройство линейаризации состоит из сумматора и формирователя корректирующего напряжения (ФКН), в котором для создания необходимой формы напряжения используется принцип кусочно-линейной аппроксимации.

Принцип формирования корректирующего напряжения поясняется рис. 6 (б-д). Из напряжения  $U_{\text{вых}}(\Delta p)$  формируются напряжения вида  $a_0 - U_{\text{вых}}(\Delta p)$  и напряжения вида  $a_i \cdot [U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i] \cdot F\{\text{sign}[U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i]\}$  (рис. 6, в, г, д). Корректирующее напряжение получается в результате суммирования этих напряжений и имеет вид:

$$U_{\text{фкн}}(\Delta p) = a_0 \cdot U_{\text{вых}}(\Delta p) - \sum_{i=1}^n a_i \cdot [U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i] \cdot F\{\text{sign}[U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i]\}, \quad (1)$$

$$\text{где } F\{\text{sign}[U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i]\} = \begin{cases} 0, & \text{при } U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i < 0; \\ 1, & \text{при } U_{\text{вых}}(\Delta p) - U_i \geq 0; \end{cases}$$



б)  $U_{\text{ВЫХ}}(\Delta P) = U_{\text{ВХ кор}}(\Delta P)$

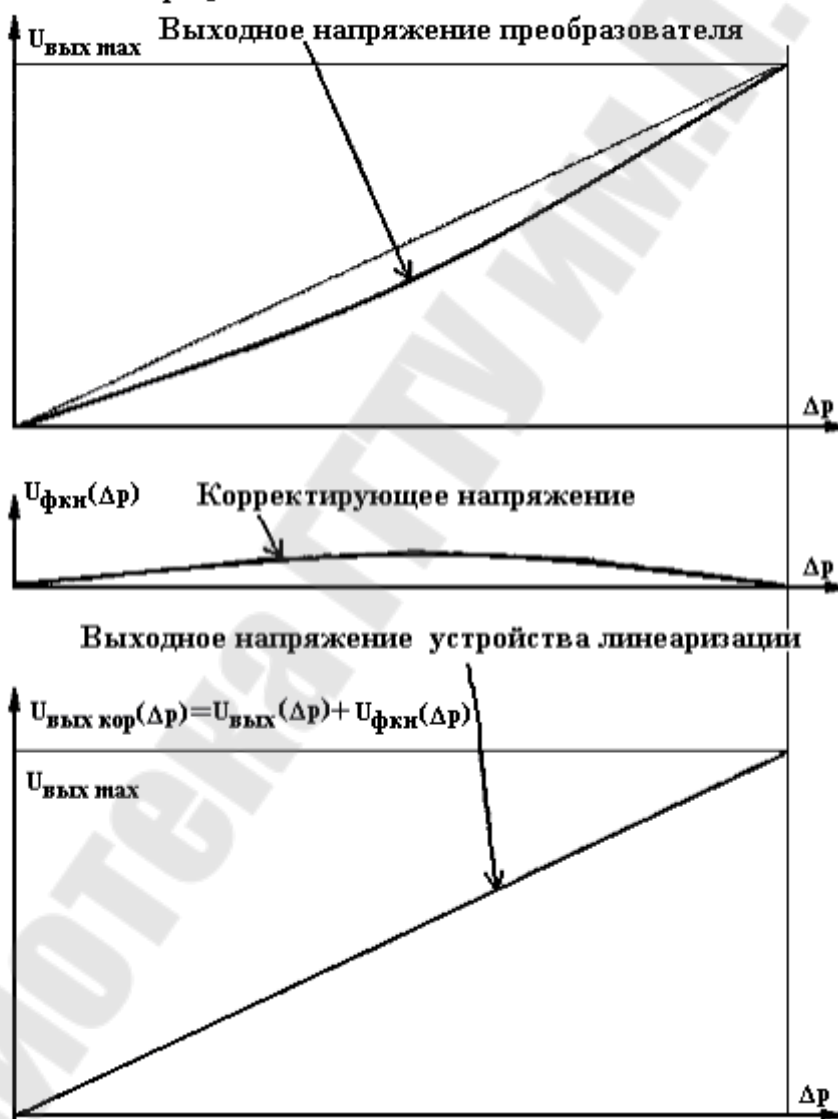


Рис. 5. Структурная схема преобразователя выходного сигнала ДТД (Пр) с электронным устройством линейаризации выходной характеристики дифмометра (а) и графическое пояснение принципа линеаризации выходного нелинейного сигнала преобразователя ( $U_p$ ) (б).

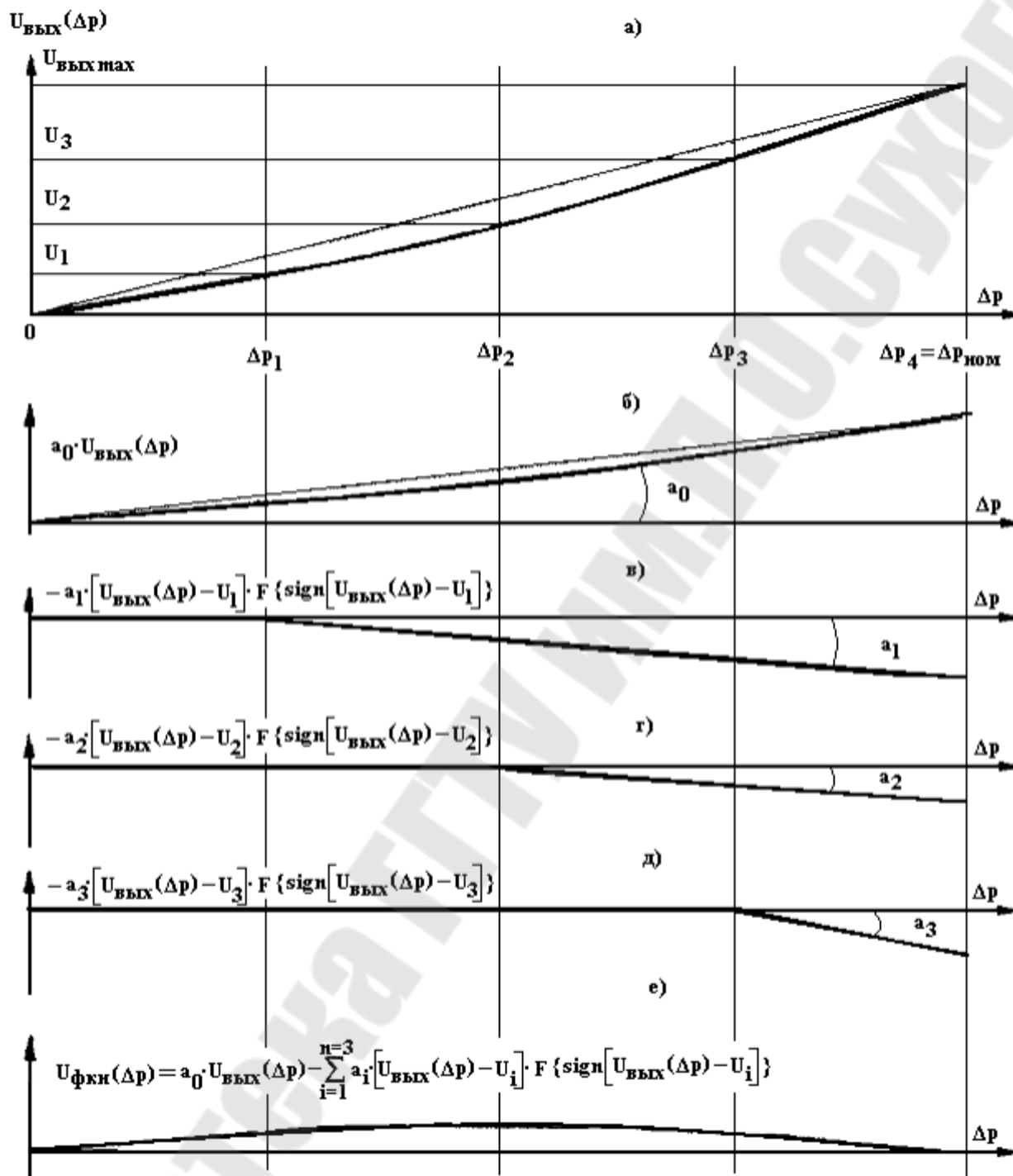


Рис. 6. Принцип формирования корректирующего напряжения из нелинейного ВС преобразователя

$i, n$  - номер и количество участков, с помощью которых формируется необходимое корректирующее напряжение;

$U$  - значение выходного некорректированного напряжения на конце  $i$ -го участка коррекции.

Полученное корректирующее напряжение  $U_{\text{фкн}}(\Delta P)$  в результате сложения с нелинейным выходным сигналом преобразователя  $U_{\text{вых}}(\Delta P)$

позволяет получить на выходе устройства линейаризации сигнал  $U_{\text{ВЫХКОР}}(\Delta p)$ , необходимо близкий к линейной зависимости, что зависит от количества участков коррекции. Участки могут быть равные (т.е.  $\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \Delta p_3$  и т.д.) и неравные в зависимости от вида нелинейности  $U_{\text{ВЫХ}}(\Delta p)$  и желаемого результата.

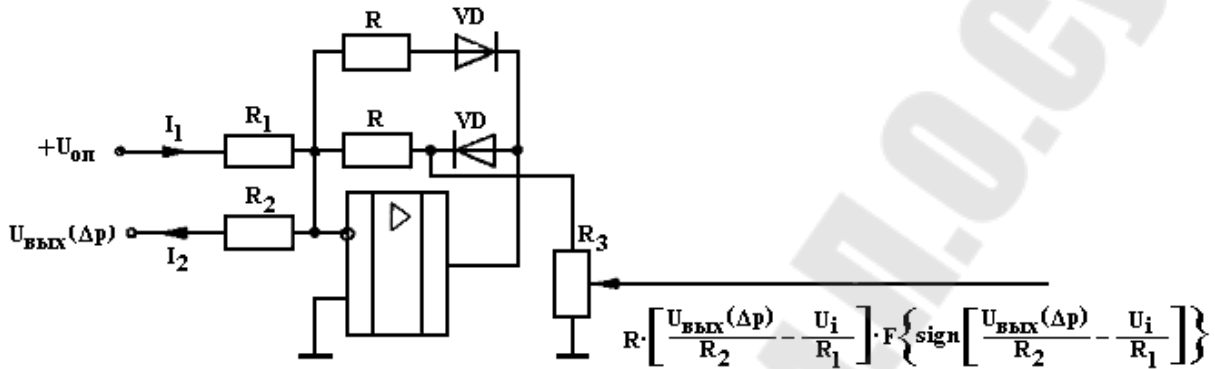


Рис. 7. Принципиальная схема ячейки

Аппаратная реализация лучей напряжения, изображенных на рис. 6(в-д) и соответствующих второму слагаемому (1) осуществляется схемной ячейкой, называемой «идеальным» диодным ключом или «идеальным диодом», принципиальная схема которой приведена на рис. 7.

В схеме на рис.7 пока  $I_2 < I_1$  ячейка закрыта, и выходное напряжение равно нулю. Как только  $I_2$  станет больше  $I_1$ , ячейка открывается и пропускает на выход напряжение

$$R \cdot \left[ \frac{U_{\text{ВЫХ}}(\Delta p)}{R_2} - \frac{U_i}{R_1} \right].$$

Величины токов  $I_1$  и  $I_2$  при  $U_{\text{ВЫХ}}(\Delta p) = \text{const}$  устанавливаются при помощи токозадающих резисторов  $R_1$  и  $R_2$ . Отношение резисторов  $R_1/R_2$  позволяет установить ориентировочное значение параметра  $a$ . (см. рис.4.7). Для точной установки параметра  $a$ , при градуировке и настройке используется потенциометр  $R_3$ .

При настройке всего преобразователя значение параметра  $a_i$ , на каждом участке выставляется таким, чтобы в точке  $\Delta p_i$  выходной ток преобразователя соответствовал значению

$$I_{p_i} = \frac{\Delta p_i}{\Delta p_{\text{ном}}} \cdot 5, \text{ мА.}$$

Принципиальная схема ФКН, состоящего из трех схемных ячеек ( $n=3$ ), представлена на рис. 8.

## 2. Методика проведения эксперимента

Для исследования работы корректора снимается зависимость выходного напряжения корректирующего устройства от входного сигнала расходомера, формируемого с помощью магазина взаимной индуктивности.

## 3. Используемые приборы и оборудование

1. Расходомер.
2. Макет лабораторного стенда по исследованию корректора.
3. Осциллограф С1-83 (С1 -93) с двумя шнурами.
4. Вольтметр В7-37 со шнуром.
5. Соединительные провода (4 шт.).

## 4. Порядок выполнения работы

1. Подключить лабораторный макет с принципиальной схемой корректора к разъему дифмометрического расходомера с **красной** меткой. Расходомер подключить к магазину взаимной индуктивности в соответствии с рис. 9.

Включить осциллограф и расходомер в сеть.

2. Тремя переключателями магазина взаимной индуктивности установить значение  $4\text{мГн}$ . Переключатель МО в среднее положение.

3. Убедиться, что счетчик расходомера считает. В противном случае тумблер знака М переключить в другое положение.

4. Присоединить первый канал осциллографа к выходу формирователя управляющего напряжения (точка 5) и включить внутреннюю синхронизацию по первому каналу. Зарисовать осциллограмму.

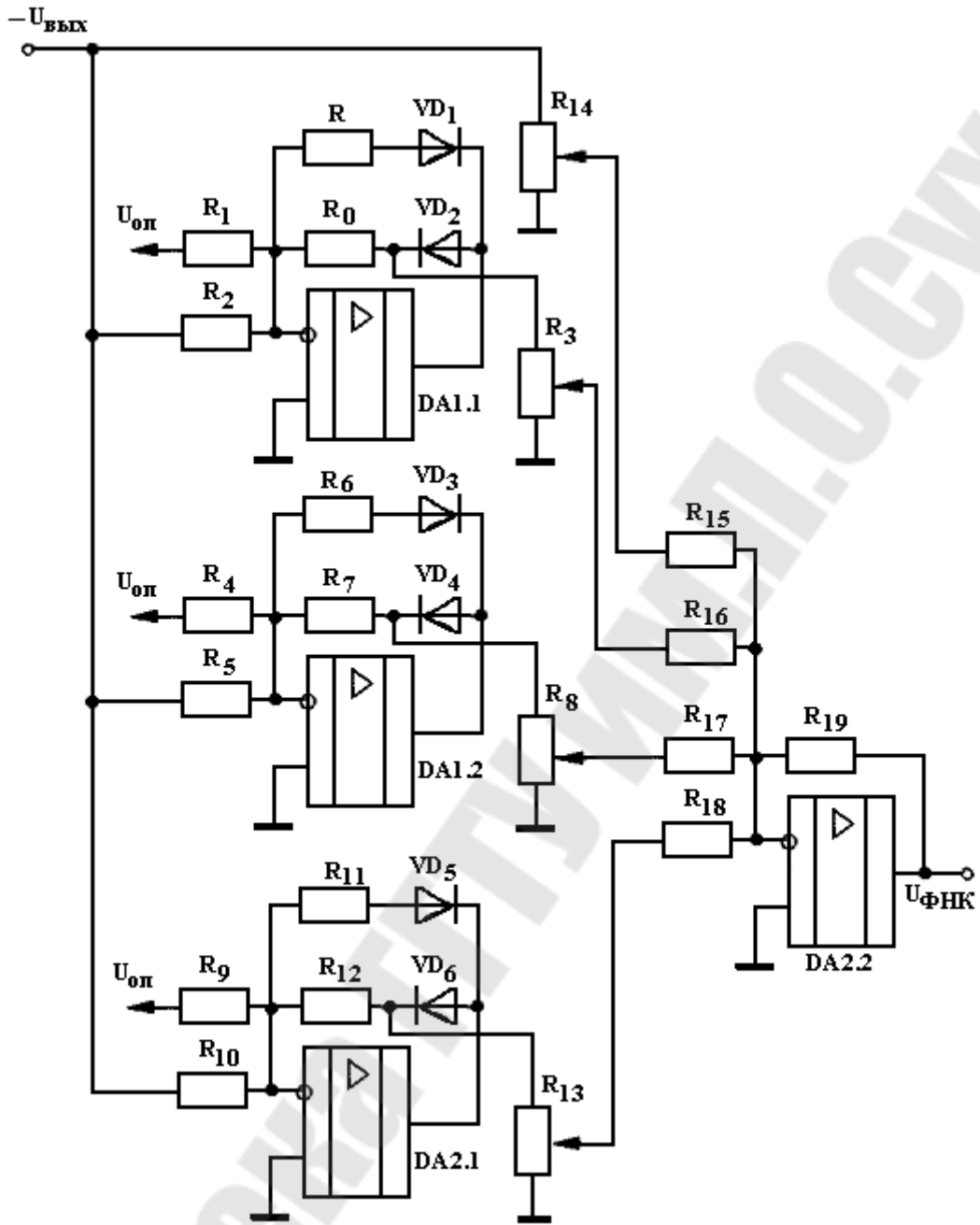


Рис. 8. Принципиальная схема ФКН, состоящего из трех схемных ячеек

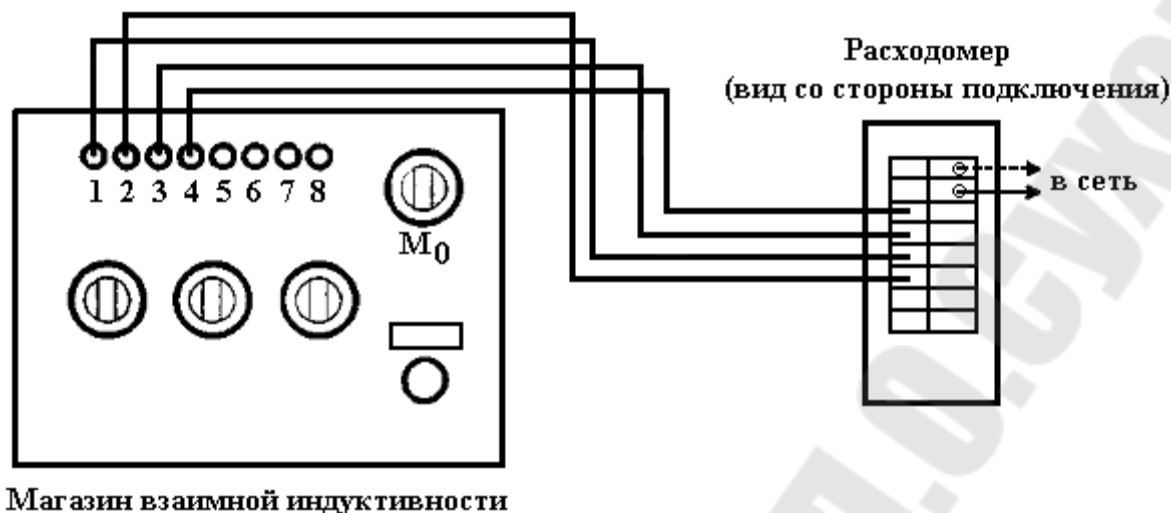


Рис. 9. Подключение расходомера к магазину взаимной индуктивности

5. С помощью второго канала осциллографа зарисовать осциллограммы в координатах напряжения пункта 4 на выходах

- входного симметричного усилителя (точка 1),
- фазосдвигающего устройства (точка 2),
- фазочувствительного выпрямителя (точка 7),
- фильтрующего усилителя постоянного напряжения ФУПН (точка 8),
- формирователя управляющего напряжения ФУН (точки 4.6). и опорное напряжение ФУН (точка 3).

6. С помощью осциллографа определить фазовый сдвиг, вносимый фазосдвигающим устройством, по фигуре Лиссажу.

7. Изменить взаимную индуктивность в 1,5-2 раза и снова повторить пункт 5, зарисовывая изменившиеся осциллограммы.

8. Снять зависимость выходного напряжения ФУПН (точка 8) и напряжения на выходе корректора (точка 9) от взаимной индуктивности  $M$  с помощью вольтметра, для  $M$  от 0 до 10 мГн, с шагом 0,5 мГн. Данные свести в таблицу и построить графики.

$M$ , мГн	0	0,5	1	...	9,5	10
$U_{\text{фупн}}$ , В				...		
$U_{\text{к}}$ , В				...		



## Содержание отчета

Наименование и номер работы. Цель работы. Диаграммы работы схемы. Таблица с результатами расчетов и измерений, графики. Принципиальная схема корректора и входного преобразователя расходомера, представленная на планшете.

Описание лабораторного стенда исследования помех.

На лицевой панели стенда (рис.П) расположены:

- 6-ти декадный магазин сопротивлений МС (типа Р-33);
- источник двух напряжений ИН: постоянного (зажимы 1,2) порядка 10В и синусоидального (зажимы 3,4) со средним квадратическим значением порядка 30В, имеющим частоту сети и сдвинутого по фазе  $90^\circ$  относительно напряжения сети (худшее  $\varphi$ );
- зажимы, к которым подсоединены постоянные резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ;
- зажимы с обозначениями  $I_1$ ,  $U_1$ ,  $I_2$ ,  $U_2$  3 и соединены с ними штырьки для подсоединения к ним измерительного преобразователя (В7-23);
- зажим с обозначением К для присоединения к нему провода, соединенного с корпусом измерительного преобразователя;
- тумблер включения стенда под напряжение.

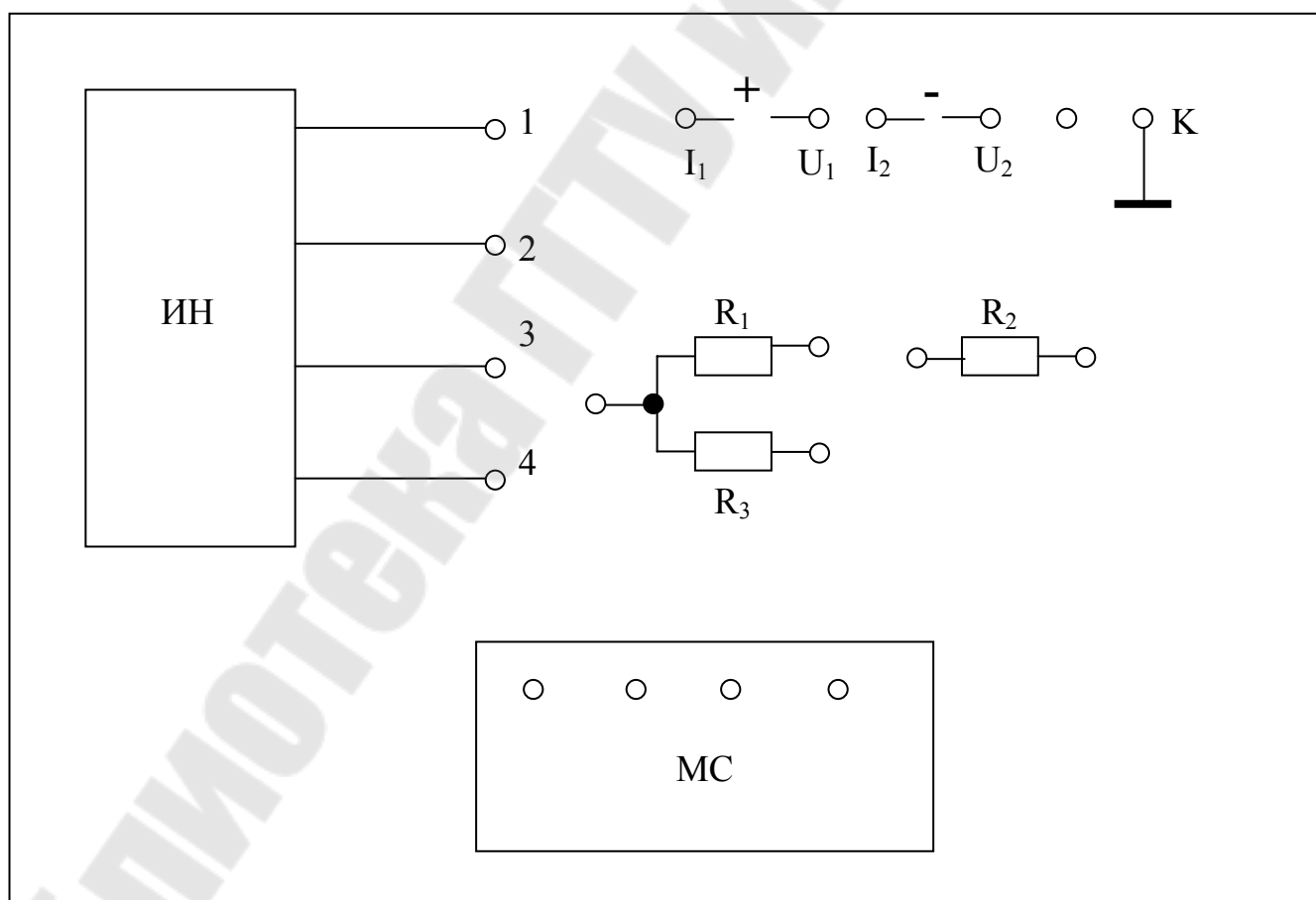


Рис. П. Лицевая панель лабораторного стенда

## Список используемой литературы

1. Гришанов А.А., Кондюков Е.И., Редькин Б.Е. Интегрирующие цифровые вольтметры.– М.: Энергоиздат, 1981г.
2. Прянишников В.А. Интегрирующие цифровые вольтметры постоянного тока. – Л.: Энергия, 1978г.
3. Кончаловский В.Ю. Цифровые измерительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.,: Энергоатомиздат, 1985г.
4. Гальперин М.В., Пхакадзе О.Ш. Методы подавления помех в аналоговых измерительных системах. – Приборы и техника эксперимента, №4, 1980г., с.7-21.
5. Кирасиров А.Ф., Карпов В.А. Измерительные цепи рН-метров. – Гомель: ИЛП “Сож”, 1997г.
6. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.:Мир, 1979г.
7. ГОСТ 13607 – 89. Приборы и преобразователи электроизмерительные цифровые. Основные термины и определения.
8. ГОСТ 13384 – 75. Преобразователи измерительные для термопар и термометров сопротивления.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ ДАТЧИКОВ  
ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ  
ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**Лабораторный практикум  
по курсу «Специальные измерения  
в промышленной электронике»  
для студентов специальности 1-36 04 02  
«Промышленная электроника»**

**Авторы-составители: Карпов Владимир Александрович  
Мурашко Сергей Александрович**

Подписано в печать 10.10.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,09. Уч. - изд. л. 1,9.

Изд. № 172.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF

с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.