

1362

ОКП 42 2598



**МЕРЫ ПЕРЕХОДНЫЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЯ  
Р40111, Р40112, Р40113, Р40114, Р40115**

Паспорт

ЗАФ.452.009 ПС



Кишинев «Тимпул» 1988



МЕРЫ ПЕРЕХОДНЫЕ  
P40III - P40II5

Паспорт  
ЗАФ.4Б2.009 ПС

Редактор А.В.Щербинская  
Художественный редактор Е.Б.Ревуцкая  
Технический редактор А.С.Бурага  
Корректор Л.П.Хрепа  
Оператор Ф.В.Пивельман

Н/К

Подписано в печать 07.05.86.  
Формат 60x84 1/16. Бумага этикеточная.  
Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 2,09. Усл.кр.-отт. 2,21. Уч.-изд.л. 2,4.  
Тираж 1400 экз. Заказ № 1584.  
Бесплатно. Заказное.  
Издательство "Тимпул", Кишинев, пр.Ленина, 160.  
Типография "Реклама", Кишинев, ул.Ст.Великого, III.  
Изд. № 864.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ

1.1. Меры переходные электрического сопротивления P40III, P40II2, P40II3, P40II4, P40II5 (в дальнейшем - меры) предназначены:

для передачи значений электрического сопротивления от образцовых мер в измерительных цепях постоянного тока путем параллельно-последовательного переключения ступеней (МПЭС);

для использования в качестве многозначных мер электрического сопротивления (ММЭС) - в измерительных цепях постоянного тока.

1.2. Вид климатического исполнения по ГОСТ 15150 - 69; для районов с умеренным и холодным климатом - УХЛ 4.1, но при рабочих условиях применения мер согласно табл.1.

Таблица 1

Влияющая величина	Числовые значения по типам мер				
	P40III	P40II2	P40II3	P40II4	P40II5
Температура окружающего воздуха, °С	20±5	20±5	20±5	20±5	20±10
Относительная влажность воздуха, %	от 25 до 80				
Атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.)	84-106,7 (630-800)				

## 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. Основные параметры и коды ОКП мер приведены в табл.2.

2.2. Максимальные и номинальные значения мощности рассеивания на ступень и напряжения, прикладываемого к мере, равны указанным в табл. 2.

Таблица 2

Параметры	Числовые значения по типам мер				
	P40III	P40II2	P40II3	P40II4	P40II5
Число ступеней:	10	10	10	10	10
основных, резервных	I	I	I	I	I
Номинальное значение сопротивления меры (МПЭС), Ом при соединении ступеней: параллельном	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>



Параметры	Числовые значения по типам мер				
	P40III	P40II2	P40II3	P40II4	P40II5
последовательном	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$	$10^{10}$
Номинальное значение сопротивления одной ступени меры, Ом	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$
Класс точности меры:					
для МПЭС	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05
для ММЭС	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05
Номинальное значение мощности рассеивания на одну ступень меры, Вт	0,01	-	-	-	-
Максимальное значение мощности рассеивания на одну ступень меры, Вт:					
для МПЭС	0,1	-	-	-	-
для ММЭС	0,5	-	-	-	-
Номинальное значение напряжения, прикладываемого к мере при последовательном соединении всех ступеней, кВ	-	1,0	2,0	3,0	3,0
Максимальное значение напряжения, прикладываемого к мере при последовательном соединении всех ступеней, кВ	-	3,0	3,0	3,0	3,0
Номинальное значение напряжения на ступени меры, кВ	-	0,1	0,2	0,6	3,0
Максимальное значение напряжения на ступени меры, кВ	-	0,6	0,6	2,0	3,0
Габаритные размеры, мм	215 x 132 x 255				
Масса, кг, не более	3,0	1	2,6		
Код ОКП	42 2598				
	0107 0710III 00 10II5 0710II9 03 10I23 07				

2.3. Меры восстанавливаемые, ремонтируемые, многофункциональные изделия.

2.4. Предел допускаемого отклонения действительного значения сопротивления меры (ММЭС) от номинального при первичной поверке (при выпуске с предприятия-изготовителя) составляет 0,02 % для мер P40III, P40II2, P40II3, P40II4 и 0,05 % для меры P40II5 при соблюдении нормальных условий применения:

Действительное значение сопротивления ступеней меры при очередных поверках  
Мера P40II\_#

Ступень	Дата первой аттестации	Дата очередной поверки				
A-0						
0-I						
I-2						
2-3						
3-4						
4-5						
5-6						
6-7						
7-8						
8-9						
9-10						
Замерил: (должность, подпись)						



ПЕРЕЧЕНЬ  
элементов к схемам электрическим принципиальным мер

Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
AI-AII	<u>3АФ.452.009 (P40III)</u> Ступень	II	
RI - R3	Резистор МРХ-0,5 2М4.739.066-17	3	300 кОм-0,1 А
R4	Резистор СП5-22-1 Вт-1,5 кОм±10 % В	I	
AI-AII	<u>3АФ.452.009-03 (P40II2)</u> Ступень	II	
RI - R3	Резистор МРХ-0,5 2М4.739.066-28	3	3 МОм-0,1 А
R4*	Резистор СП5-22-1 Вт-15 кОм±10 % В	I	
RI - RII	<u>3АФ.452.009-06 (P40II3)</u> Резистор МРХ-0,5 2М4.739.066-35	II	10 МОм-0,1 А
RI2*-R22*	Резистор СП5-22-1 Вт-15 кОм±10 % В	II	
RI - RII	<u>3АФ.452.009-09 (P40II4)</u> Резистор 2М4.739.072-08	II	100 МОм-0,1 А
RI2* - R33*	Резистор СП5-22-1 Вт-47 кОм±10 % В	22	
RI - R22	<u>3АФ.452.009-12 (P40II5)</u> Резистор 500 МОм 6М4.273.081-0,5	22	500 МОм±0,02 А

\*Подстраивается при регулировании ступеней до значений сопротивлений, равных;

(100,0±0,002) кОм для меры P40III;

(100,0±0,02) кОм для меры P40II2;

(10,0±0,0002) МОм для меры P40II3;

(100,0±0,01) МОм для меры P40II4.

температура окружающего воздуха ( $20 \pm 1$ ) °С;  
относительная влажность от 25 до 80 %;  
атмосферное давление 84-106,7 кПа (630-800 мм рт.ст.);  
напряжение или мощность не выше номинальных по п.2.1.

2.5. Предел допускаемого отклонения действительного значения сопротивления меры (МПЭС) от номинального при первичной поверке (при выпуске с предприятия-изготовителя) составляет 0,01 % для P40III, P40II2, P40II3, 0,02 % - для меры P40II4 и 0,05 % - для меры P40II5 при соблюдении нормальных условий применения по п.2.4.

2.6. Погрешность передачи значений электрического сопротивления не превышает 0,0002 % для мер (МПЭС) P40III, P40II2, P40II3; 0,0005 % - для P40II4 и 0,001 % - для P40II5 при соблюдении нормальных условий по п.2.4 и дополнений:

изменение температуры меры (окружающей среды) за время передачи значений электрического сопротивления не превышает значений: для мер P40III-P40II3 - 0,2 °С; для P40II4 - 0,3 °С; для меры P40II5 - 0,6 °С;

напряжения на мере не выше номинальных, указанных в табл.2.

2.7. Допускаемое изменение сопротивления мер (МПЭС) за год (нестабильность) со дня первой аттестации не превышает значений по пп.2.4, 2.5.

2.8. Предел допускаемой дополнительной погрешности мер, вызванной изменением температуры окружающего воздуха между верхним (нижним) пределом диапазона температур нормальных условий применения и некоторой точкой в смежной области температур рабочих условий применения, соответствующей наибольшему изменению  $R_{max}$ , численно равен значению предела допускаемой основной погрешности по пп.2.4, 2.5.

2.9. Предел допускаемой дополнительной погрешности меры в процентах от ее номинального значения при изменении мощности рассеивания от номинального до любого значения, не превышающего максимальную мощность при нормальных условиях применения и установившемся состоянии теплового равновесия, численно равен значению предела допускаемой основной погрешности по пп.2.4, 2.5.

2.10. Предел допускаемой дополнительной погрешности мер в процентах от ее номинального значения при изменении напряжения от номинального до любого значения, не превышающего максимальное напряжение при нормальных условиях применения и установившемся состоянии теплового равновесия, численно равен значению предела допускаемой основной погрешности по пп.2.4, 2.5.

2.11. Изоляция между корпусом и изолированной от корпуса по постоянному току электрической цепью мер выдерживает в течение 1 мин. действие испытательного напряжения переменного тока частотой ( $50 \pm 1$ ) Гц, амплитудное значение которого равно 7 кВ.



Допускается использовать испытательное напряжение постоянного тока значением 7 кВ.

2.12. Электрическое сопротивление изоляции между корпусом и изолированной по постоянному току электрической цепью мер, имеющих специальное устройство для уменьшения влияния токов утечки, в рабочих условиях применения не менее  $5 \cdot 10^{13}$  Ом.

2.13. Норма средней наработки на отказ меры с учетом технического обслуживания, регламентируемого эксплуатационной документацией, 10 000 ч.

Средняя наработка на отказ устанавливается для рабочих условий применения и напряжения не ниже номинального. Критерием отказа является несоответствие мер требованиям п.2.5.

2.14. Среднее время восстановления работоспособного состояния меры 1 ч.

2.15. Полный средний срок службы мер 10 лет.

2.16. Установленная безотказная наработка для рабочих условий применения и максимального напряжения (мощности), прикладываемого к мере, 600 ч. Критерием отказа является несоответствие мер требованиям п.2.5.

2.17. Установленный срок службы мер 3 года.

2.18. Содержание драгоценных материалов в мерах указано в табл.3.

Таблица 3

Наименование материалов	Числовые значения по типам мер			
	P40111, P40112	P40113	P40114	P40115
Серебро, г	2,46061	0,82654	0,82654	1,65308
Палладий, г	0,14060	0,14060	0,28160	-

2.19. Содержание цветных металлов в мерах указано в табл. 3а.

Таблица 3а

Наименование металлов	Числовые значения по типам мер				
	P40111	P40112	P40113	P40114	P40115
Медь и сплавы на медной основе, кг	0,7125	0,7065	0,6061	0,593	0,6365
Алюминий и алюминиевые сплавы, кг	1,162				

3. КОМПЛЕКТНОСТЬ, шт.:

Мера	1
Перемишка 5АФ.585.001 (№1)	3
Перемишка 5АФ.585.001-01 (№2)	3

## II. СВИДЕТЕЛЬСТВО О КОНСЕРВАЦИИ

Мера переходная электрического сопротивления P4011 4, заводской номер 1362, подвергнута на заводе-изготовителе консервации согласно требованиям, предусмотренным техническими условиями,

Дата консервации 19.06.89

Срок консервации 6 мес

Консервацию произвел [подпись]

(подпись)

Изделие после консервации принял [подпись]

(подпись)

### 12. ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

12.1. Гарантийный срок эксплуатации - 18 месяцев со дня ввода мер в эксплуатацию.

Гарантийный срок хранения - 6 месяцев с момента изготовления мер.

12.2. Завод производит безвозмездную замену или ремонт мер, при возникновении неисправностей в течение гарантийного срока эксплуатации при условии соблюдения правил эксплуатации и хранения, наличии заводского клейма и паспорта.

### 13. СВЕДЕНИЯ О РЕКЛАМАЦИЯХ

13.1. При возникновении неисправности мер в течение гарантийного срока эксплуатации потребитель предъявляет претензию с указанием ТУ 25-7762.011-86.

13.2. Завод-изготовитель сообщает решение об отправке мер для проведения анализа и ремонта или командировует своего представителя.

13.3. Предъявляя претензию, потребитель заполняет табл. 12.

Таблица 12

Дата за-полнения	Мера введена в эксплуата-цию	Количество часов рабо-ты до отка-за	Характерные неис-правности	Должность, фамилия и подпись лица, заполнившего таб-лицу



## 7. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

7.1. Производить внешний осмотр мер не реже одного раза в три месяца.

7.2. Конструкция мер рассчитана на длительную работу без ремонта.

7.3. В случае потери проводимости одного из резисторов ступени, заменить неисправную ступень на соответствующую резервную.

Замена неисправной ступени осуществляется следующим образом: необходимо переключить переключку "ХТ" с зажимов "0" - "А" резервной ступени (рис. I-4) на зажимы дефектной ступени.

Примечание. При использовании встроенного резерва нужно внести изменения в табл. 4-11.

7.4. В случае обнаружения каких-либо неисправностей механической или электрической частей, требующей разборки меры, необходимо отправить меру на завод-изготовитель.

## 8. ПОВЕРКА

8.1. Поверка мер осуществляется в соответствии с методикой поверки ЗАФ.452.009 МП, входящей в комплект поставки.

8.2. Периодичность поверки мер - I раз в год.

## 9. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод устранения
Не набирается нужное значение сопротивления	Вышел из строя один из резисторов ступени	*Определить вышедший из строя резистор, выпаять его из меры и впаять резистор того же значения на его место

\*Только после использования встроенного резерва.

Текущий ремонт в течение срока службы должен производиться на заводе-изготовителе.

## 10. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

Мера переходная электрического сопротивления Р4011<sup>4</sup>, заводской номер 1362 соответствует ТУ 25-7762.011-86 и признана годной для эксплуатации. Действительное значение сопротивления ступеней меры при очередных поверках приведена в приложении 3.

М.П.



Дата выпуска 19.06.1989 г.  
Госповеритель  
Контролер ОТК

Шина ВАФ.560.004 (№3)	4
Шина ВАФ.580.004-01 (№4)	1
Шина ВАФ.560.004-02 (№5)	3
Кабель БМЧ.500.019	2
Паспорт ЗАФ.452.009 ПС, экз.	1
Методика ЗАФ.452.009 МП, экз.	1
Методика ЗМЧ.452.025 МП, экз.	1

## 4. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ

4.1. Меры, электрические принципиальные схемы которых изображены на рис. 1, 2, 3, 4, перечень элементов приведен в прил. 2, представляют собой настольные приборы, выполненные в корпусах АСЭТ УТК-2.

4.2. Металлический корпус мер служит для защиты от влияния внешних электростатических полей. На задней панели мер расположен зажим "⊥". При работе с мерой его необходимо соединять с шиной заземления.

4.3. По охемно-конструктивным особенностям меры делятся на три группы:

меры Р40111, Р40112 - десятиступенчатые со ступенями, состоящими из трех параллельно соединенных основных микропроводочных и последовательно соединенных с одним из основных переменным (подстроечным) резистором;

меры Р40113, Р40114 - десятиступенчатые со ступенями, состоящими из последовательно соединенных основного микропроводочного и переменного (подстроечного) резисторов (двух - для меры Р40114);  
мера Р40115 - десятиступенчатая со ступенями, состоящими из двух последовательно соединенных основных микропроводочных резисторов.

Кроме того, все меры снабжены встроенными резервными ступенями (по одной в каждой мере), составленными из тех же элементов, что и основные ступени (резервная ступень включена между зажимами "А" и "0" и должна быть замкнута переключкой "ХТ").

Зажимы "0", "I", ..., "10" служат для включения меры во внешнюю электрическую цепь. Зажимы "А", "0", "I", ... "10" при параллельно-последовательном переходе коммутируются с помощью переключек, входящих в комплект мер.

4.4. Для уменьшения влияния токов утечки на работу схемы, меры выполнены на одном изоляционном столбе, собранном из отдельных изоляторов, между которыми залаты токопроводящие скобы, несущие на себе резистивные элементы и присоединительные зажимы и отделяющие изоляторы друг от друга. В результате этого каждая скоба, не подключенная к внешним цепям, связана только с резисторами одной ступени и двумя смежными изоляторами, таким образом действительное сопротивление каждого резистора включается параллельно сопротивлению соединенного с ним изолятора.



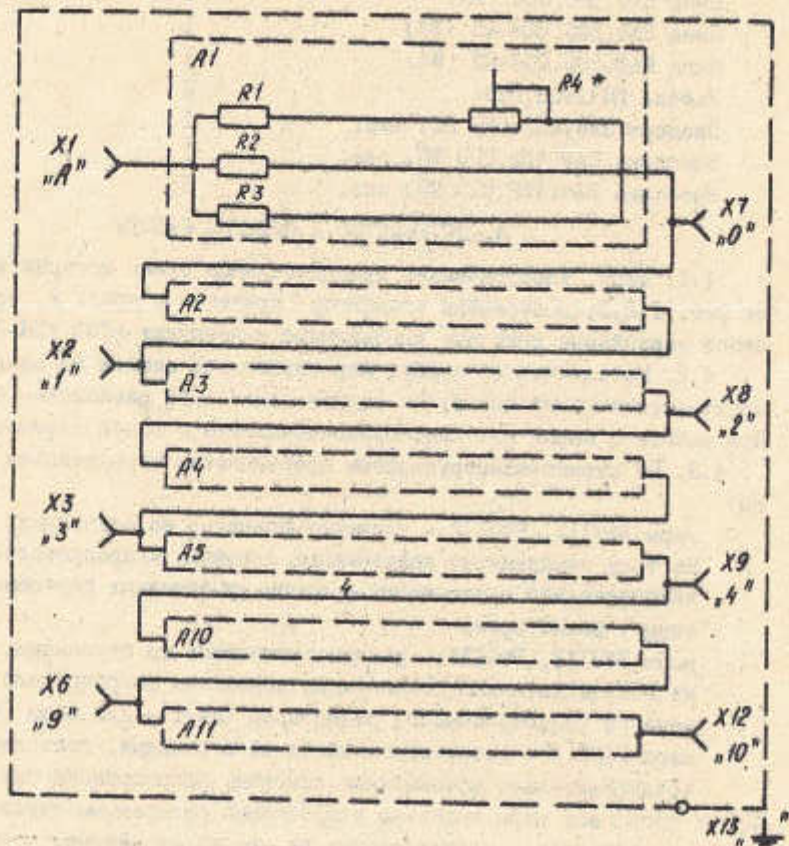


Рис. I. Схема электрическая принципиальная мер P40III, P40II2

R <sub>вс</sub>	Формула относительной погрешности преобразования, δ <sub>пр</sub> , %	Зажимы меры подключения при втором сравнении, R <sub>вс2</sub>	Порядок коммутации зажимов										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8		
3R	$-\frac{1}{3}\delta_1 + \frac{4}{3}\delta_2$	I - 3	4										
4R	$\delta_2$	I - 3	4										
5R	$-\frac{4}{5}\delta_1 + \frac{9}{5}\delta_2$	I - 6	5					6					
6R	$-0,5\delta_1 + 1,5\delta_2$	I - 6	5					6					
7R	$-\frac{9}{7}\delta_1 + \frac{16}{7}\delta_2$	I - 7	6						7	8			
8R	$-\delta_1 + 2\delta_2$	I - 7	6						7	8			
8R	$-\frac{1}{8}\delta_1 + \frac{9}{8}\delta_2$	0 - 9	6				9						
9R	$\delta_2$	0 - 9	6				9						
9R	$-\frac{16}{9}\delta_1 + \frac{25}{9}\delta_2$	I - 10	7							8	9	10	
10R	$-1,5\delta_1 + 2,5\delta_2$	I - 10	7							8	9	10	
7R	$\frac{3}{7}\delta_1 + \frac{4}{7}\delta_2$	0 - 6	4			7							
9R	$\delta_2$	0 - 9	4			8						9	
11R	$-\frac{5}{11}\delta_1 + \frac{16}{11}\delta_2$	A - 9		8		A						9	10



Таблица 10

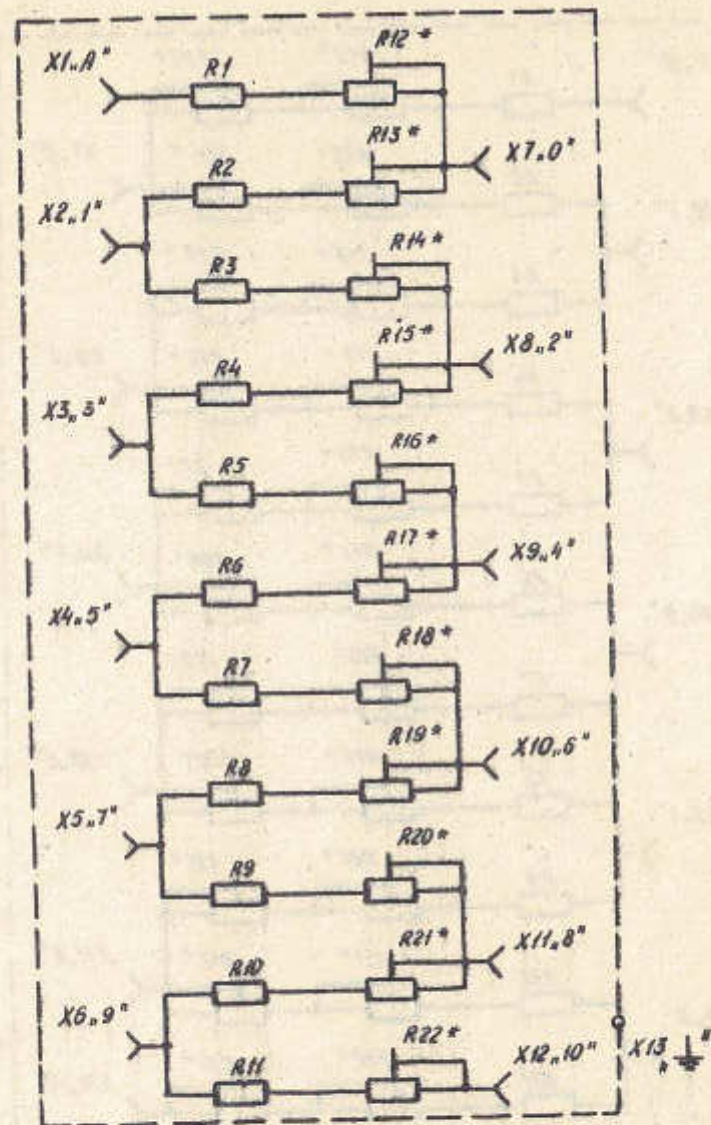
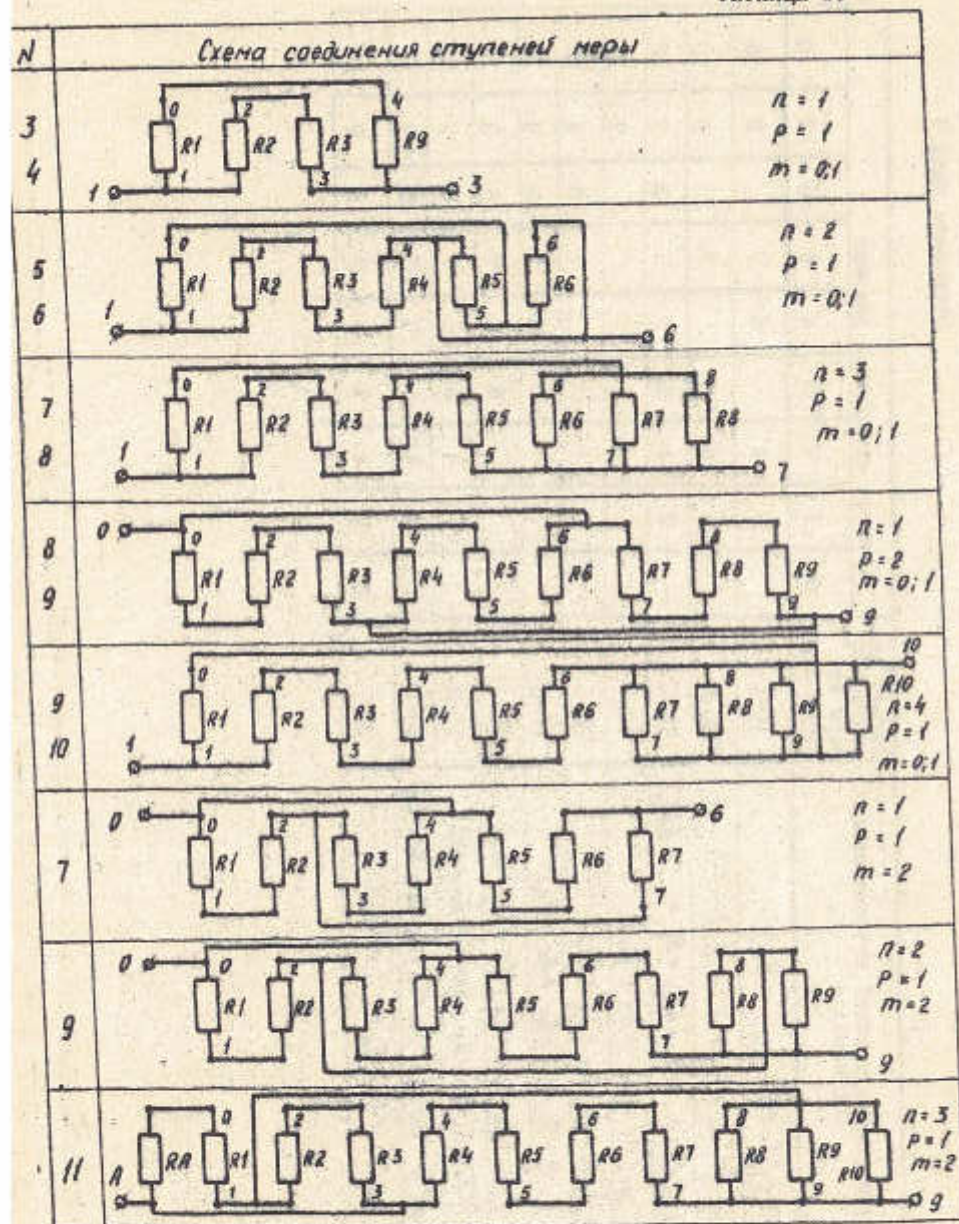


Рис.2. Схема электрическая принципиальная мер P40I13







Таблица 9

Порядок подключения мер в качестве магазина проводимости

$\gamma_k$	Формула результирующей относительной погрешности	Заказы для включения мер в набор цепи	Порядок коммутации замыков																	
			0	1	2	3	4	5	6	7	8									
0,1Y	$\delta_z = \frac{1}{9}(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{10})$	0-10																		
0,2Y	$\delta_z = \frac{1}{20}[4(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) + \delta_5 + \dots + \delta_{10}]$	10-4			6															
0,3Y	$\delta_z = \frac{1}{30}[9(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) + \delta_4 + \delta_5 + \delta_6]$	10-4																		
0,4Y	$\delta_z = \frac{1}{40}(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{10})$	10-5																		
0,5Y	$\delta_z = \frac{1}{50}[5(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9) + 4\delta_{10}]$	10-0																		
0,6Y	$\delta_z = \frac{1}{60}[4(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_6) + 9(\delta_7 + \dots + \delta_{10})]$	10-2																		
0,7Y	$\delta_z = \frac{1}{70}[4(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) + 36(\delta_4 + \delta_5) + 49(\delta_6 + \dots + \delta_{10})]$	10-3																		
0,8Y	$\delta_z = \frac{1}{80}[4(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) + 62 + \delta_5 + \delta_6 + \delta_7]$	10-5																		
0,9Y	$\delta_z = \frac{1}{90}(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9 + 81\delta_{10})$	10-0																		
1,0Y	$\delta_z = \frac{1}{9}(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9)$	10-1																		

28

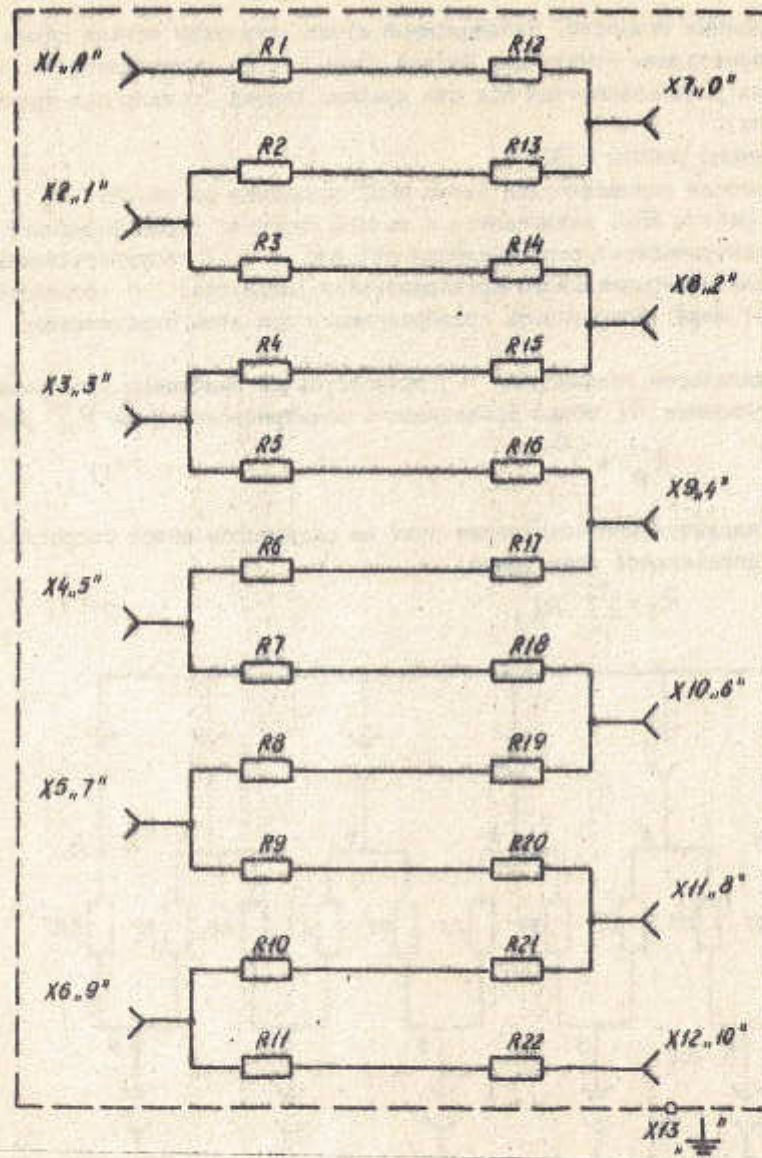


Рис.4. Схема электрическая принципиальная меры P40115



Для повышения точности, изоляционный столб закреплен только одним концом на проводящем основании. Второй конец столба закрепляется пружиной, которая устанавливается под два крайних зажима (только при транспортировании).

#### 4.5. Принцип работы МПЭС

Электрическая эквивалентная схема МПЭС приведена на рис.5.

Принцип работы МПЭС заключается в точной передаче (трансформации) значения электрического сопротивления от  $nR$  к  $n^{-1}R$  осуществлением последовательно-параллельного преобразования (перехода)  $n$  ступеней (резисторов) меры. Погрешность преобразования при этом определяется следующим.

При параллельном соединении  $n$  резисторов со значением электрического сопротивления  $R_i$  общая проводимость электрической цепи  $R_p^{-1}$  равна:

$$R_p^{-1} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (1)$$

При последовательном соединении этих же резисторов общее сопротивление последовательной цепи равно:

$$R_s = \sum_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

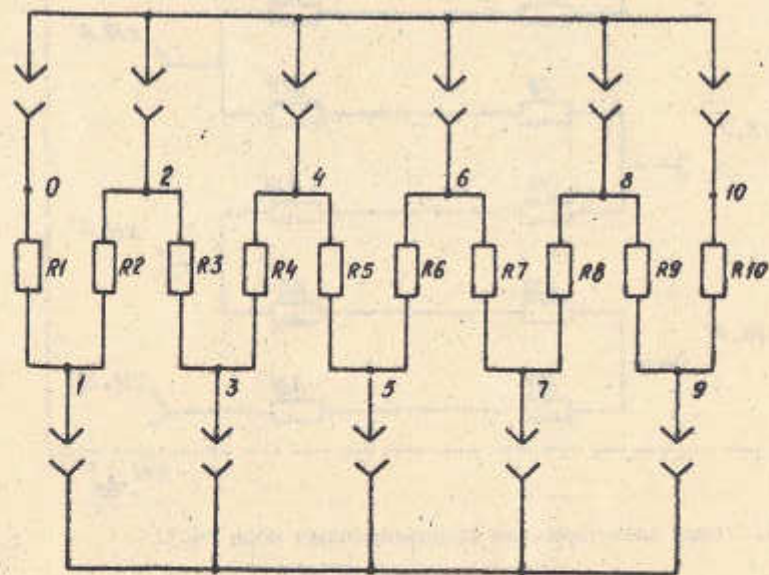


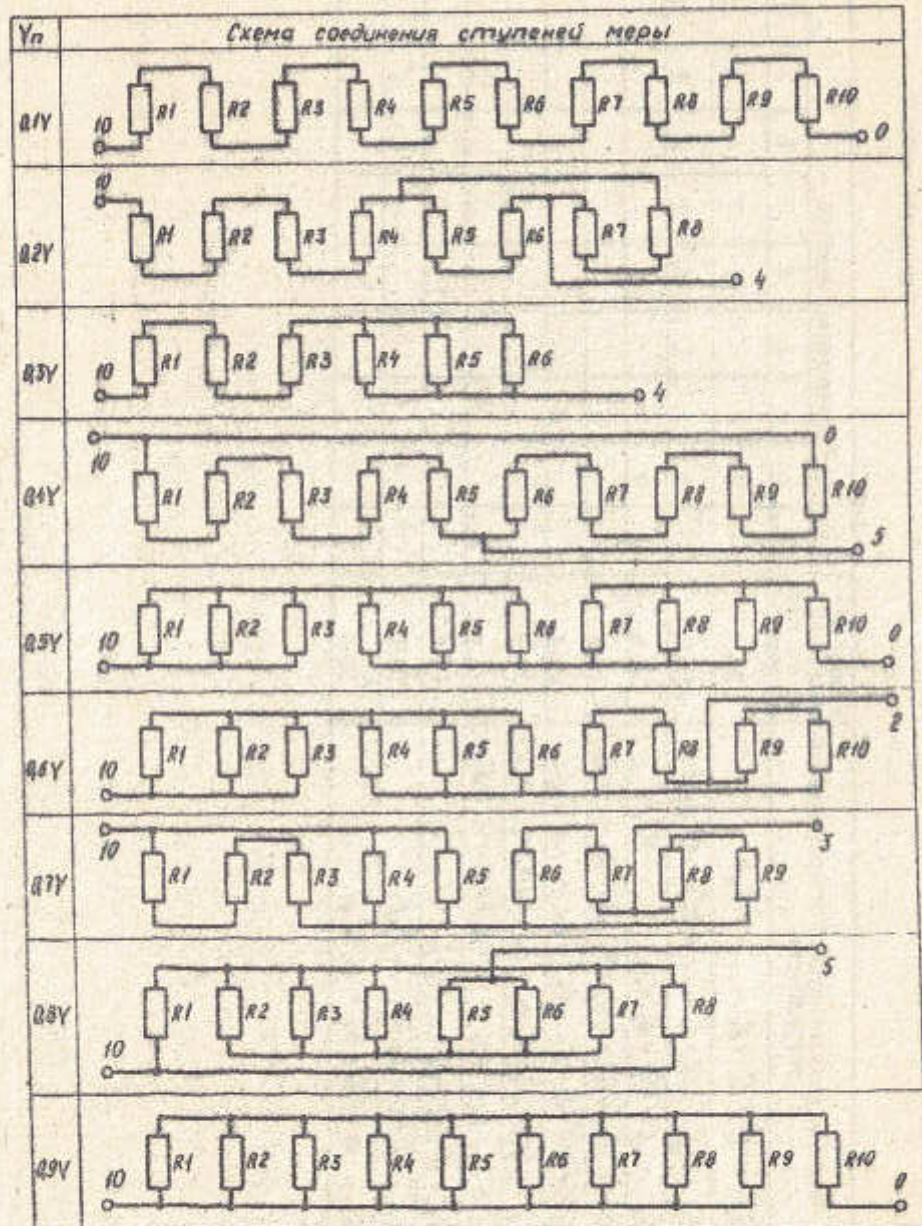
Рис.5. Схема электрическая эквивалентная переходной меры электрического сопротивления

Окончание табл.6

$Y_n$	Схема соединения ступеней
1Y	
2Y	
3Y	
4Y	
5Y	
6Y	
7Y	
8Y	
9Y	
10Y	



Таблица 8



Выразим значение сопротивления каждого из резисторов  $R_i$  через их среднее арифметическое значение ( $R$ ) и относительное отклонение ( $\delta_i$ ) сопротивлений от среднего:

$$R_i = R(1 + \delta_i). \quad (3)$$

Получим:

$$R_S = \sum_{i=1}^n R(1 + \delta_i) = nR, \quad (4)$$

$$R_P^{-1} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R(1 + \delta_i)} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \delta_i}, \quad (5)$$

где  $\delta_i = \frac{R_i - R}{R}$ .

Разложив  $\frac{1}{1 + \delta_i}$  в ряд, получим:

$$\frac{1}{1 + \delta_i} = 1 - \delta_i + \delta_i^2 - \delta_i^3 + \dots \quad (6)$$

Пренебрегая малыми величинами третьего и высшего порядка, с учетом (6) выражение (5) преобразуем к виду:

$$R_P^{-1} = \frac{n}{R} \left( 1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \right). \quad (7)$$

Тогда отношение значения сопротивления последовательно соединенных резисторов ( $R_S$ ) к сопротивлению параллельно соединенных этих же резисторов ( $R_P$ ) из (4) и (7) равно:

$$\frac{R_S}{R_P} = n^2 \left( 1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \right). \quad (8)$$

Обозначим через  $\Delta$  предел допускаемых отклонений значений сопротивлений резисторов  $R_i$  от средних значений. Подставляя  $\Delta$  в (7) вместо  $\delta_i$  получим:

$$\frac{R_S}{R_P} = n^2 (1 + \Delta^2) \quad (9)$$

Таким образом, максимальное значение погрешности последовательно-параллельного преобразования  $\delta_{sp \max} = \Delta^2$ , является малой величиной второго порядка.

Общая погрешность передачи значений сопротивления  $\delta_n$  определяется суммированием погрешностей преобразования, погрешности от изменения температуры за время преобразования (перехода) и погрешности, обусловленной переходными сопротивлениями контактов.

Погрешность от изменения температуры  $\delta_{\Delta t}$  за время перехода определяется значением температурного коэффициента сопротивления ( $\alpha_i$ )



резисторов меры. Поскольку  $|d_i| \leq 8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  для применения резисторов, то

$$\delta_{\Delta t} = |d_i|_{\max} \cdot \Delta t < \delta_n \quad (10)$$

где  $\Delta t$  - максимальное изменение температуры за время преобразования по п.2.6.

Погрешность, обусловленная переходным сопротивлением контактов,  $\delta_K$ , не превышает значения  $0,1 \delta_n$ , что обеспечивается конструкцией зажимов и перемычек меры и их материалами. Такой погрешностью можно пренебречь.

В результате общая погрешность передачи значений электрического сопротивления:

$$\delta_n = \delta_{\Delta t} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \quad (11)$$

Из формулы (11) видно, что  $\delta_n$  не превосходит нормируемого предела допускаемой погрешности передачи, поскольку согласно (10)

$$\delta_{\Delta t} < \delta_n \text{ и } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \leq \Delta^2 \ll \delta_n.$$

4.6. Принцип работы мер в качестве делителя напряжения и МПЭС для передачи значений сопротивлений от  $R$  к  $N \cdot R$  ( $N = 3, 4, \dots, 11$ ), где  $R$  - значение сопротивления опорного плеча (ступени) меры (в дальнейшем МПЭС -  $N \cdot R$ ).

Принцип работы мер в качестве делителя напряжения (в дальнейшем - делителя) и МПЭС -  $N \cdot R$  основан на способе настройки делителя, заключающемся в том, что измеряется сопротивление первого опорного (выходного) плеча делителя, в качестве которого может быть взята образцовая мера или ступень меры, формируется второе плечо делителя изменением вида соединений резисторов плеч (ступеней меры), измеряется сопротивление второго плеча делителя и подстраивается (при необходимости) сопротивление второго плеча, для чего с целью повышения точности формирования (настройки) делителя за счет обеспечения постоянства выходного сопротивления делителя, для коэффициентов деления, выраженных любым натуральным числом  $N > 2$   $N_{\max} = 11$  - максимальное число ступеней меры, на первом этапе осуществляют настройку (при необходимости) второго плеча делителя, для чего формируют второе плечо из последовательно соединенных первой и второй резистивной ступени делителя и параллельно к ним соединенной третьей резистивной ступени делителя, причем первую резистивную ступень второго плеча формируют равной по величине сопротивлению первого опорного плеча делителя, вторую резистивную ступень формируют из  $n$  - параллельно соединенных резисторов со значением сопротивления  $\rho \cdot R_0$  каждый, третью

Окончание табл.7

R <sub>n</sub>	Формула результирующей относительной погрешности	Зажим для включения мер во внешнюю цепь	Порядок коммутации зажимов																	
			0	1	2	3	4	5	6	7	8									
1R	$\delta_z = \frac{1}{9} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9)$	10-1																		
2R	$\delta_z = \frac{1}{25} [5(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9) + 45\delta_{10}]$	10-0																		
3R	$\delta_z = \frac{1}{25} (4\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_9)$	10-5																		
4R	$\delta_z = \frac{1}{16} (4\delta_1 + 4\delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \dots + \delta_m)$	10-4																		
5R	$\delta_z = \frac{1}{25} [4(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) + \delta_5 + \dots + \delta_9]$	10-4																		
6R	$\delta_z = \frac{1}{25} [4(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_5) + \delta_6 + \dots + \delta_9]$	10-3																		
7R	$\delta_z = \frac{1}{25} [4(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_6) + \delta_7 + \dots + \delta_{10}]$	10-2																		
8R	$\delta_z = \frac{1}{9} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9)$	10-2																		
9R	$\delta_z = \frac{1}{9} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9)$	10-1																		
10R	$\delta_z = 0,1(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_m)$	10-0																		



Таблица 7

Порядок подключения меры в качестве магазина сопротивлений

$R_n$	Формула результирующей относительной погрешности	Схемы для включения меры по внешнюю цепь	Порядок коммутации замыков																	
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
0,1R	$\delta_z = 0,1 (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{10})$	10-1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
0,2R	$\delta_z = \frac{1}{20} [4(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) + \delta_5 + \dots + \delta_8]$	10-4																		
0,3R	$\delta_z = \frac{1}{30} [9\delta_1 + \dots + \delta_4 + 4\delta_5 + 4\delta_6] + 4(\delta_7 + \delta_8 + \delta_9)$	10-1	5																	
0,4R	$\delta_z = 0,1 (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{10})$	10-0	2	3	4	7														
0,5R	$\delta_z = \frac{1}{5} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_8)$	10-4																		
0,6R	$\delta_z = \frac{1}{60} [9\delta_1 + \dots + \delta_4] + 16\delta_5 + 4(\delta_6 + \dots + \delta_{10})$	10-4	4																	
0,7R	$\delta_z = \frac{1}{70} [49\delta_1 + \delta_2] + 4(\delta_3 + \delta_4 + \delta_5) + 36(\delta_6 + \delta_7) + 49(\delta_8 + \delta_9)$	10-1																		
0,8R	$\delta_z = \frac{1}{80} [4(\delta_1 + \delta_2) + \delta_3 + \dots + \delta_6 + 4(\delta_7 + \delta_8)]$	10-2																		
0,9R	$\delta_z = \frac{1}{90} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_8 + \delta_9 + 81\delta_{10})$	10-1	10																	
1,0R	$\delta_z = \frac{1}{9} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9)$	10-1																		

резистивную ступень формирует из  $p$ -резисторов со значением сопротивления  $(n+p)R_0$  каждый, где  $R_0$  - сопротивление первого опорного плеча (образцовой меры или ступени меры),

$$n = \frac{N-p^2}{2p} \quad (12)$$

для четной суммы  $(N+p)$  и

$$n = \frac{N-p^2-1}{2p} \quad (13)$$

для нечетной суммы  $(N+p)$ , где  $p=1,2,3,\dots$  изменяют сопротивление второго плеча делителя (при необходимости) до значения, равного значению сопротивления первого опорного плеча путем изменения сопротивления третьей резистивной ступени делителя, на втором этапе окончательно формируют второе плечо делителя в виде последовательного соединения всех резисторов всех его ступеней.

Рассмотрим данный способ на примере синтеза простейшего делителя с одним коэффициентом деления (отношения)  $N$ , выраженного натуральным числом.

На рис.6 представлены схемы, иллюстрирующие данный способ, на примере регулируемого делителя.

Первоначально в делителе (рис.6 а) производится сравнение сопротивления опорного плеча АВ делителя, представленного резистором  $R_0$  и первой ступени  $BC'$ , представленной резистором  $R_1$ . В результате сравнения производится подстройка сопротивления резистора  $R_1$  до значения сопротивления опорного резистора  $R_0$  (или фиксирование относительной разности  $\delta_{R_{BC'}}$ ).

Таким образом эквивалентное сопротивление  $R_{BC'}$  первой ступени делителя после подстройки выражается формулой

$$R_{BC'} = R_1 = R_0 \quad (14)$$

Затем в делителе (рис.6 б) производится сравнение сопротивлений первого опорного плеча АВ и эквивалентного сопротивления второго плеча  $BC$ , образованного первым резистором  $R_1$  с последовательно соединенной второй ступенью, представленной группой параллельно соединенных резисторов  $R_2, \dots, R_{n+1}$ , и параллельно соединенных первой и второй ступеней, третьей ступени, представленной резистором  $R_{n+2}$ .

Номинальные значения сопротивлений резисторов определяются формулами

$$R_2 = R_3 = \dots = R_{n+1} = R_0 \quad (15)$$

$$R_{n+2} = (n+1) \cdot R_0 \quad (16)$$

Число  $n$  резисторов второй ступени определяется по формуле

$$n = \frac{N-2}{2} \quad (17)$$



для четных значений  $N$  и по формуле

$$n = \frac{N-1}{2} \quad (18)$$

для нечетных значений  $N$ , где  $N$  - необходимое значение отношения сопротивлений плеч делителя, выраженного натуральным числом.

По результатам сравнения сопротивлений первого опорного плеча и сопротивления второго плеча делителя производится подстройка (при необходимости) сопротивления плеча BC с помощью подстраиваемого резистора  $R_{n+2}$  до значения сопротивления опорного плеча делителя  $R_0$  (или фиксирование относительной разности  $\delta_{R_{BC2}}$ ).

После подстройки

$$R_{BC2} = R_{BC}' = R_0 \quad (19)$$

При последующем преобразовании указанных резисторов второго плеча в цепочку последовательно соединенных резисторов (рис. 6 в) получаем делитель с отношением сопротивлений плеч выраженным формулой

$$\frac{R_{BC}}{R_{AB}} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_{n+1} + R_{n+2}}{R_0} \quad (20)$$

или, с учетом (14)-(16)

$$\frac{R_{BC}}{R_{AB}} = \frac{R_0 + n \cdot R_0 + (n+1) \cdot R_0}{R_0} = 2 \cdot n + 2 = N \quad (21)$$

Формулы (20), (21) выражают отношения для четных значений  $N$  при разомкнутой перемычке  $K$  (рис. 6 в).

Для нечетных значений  $N$  в формуле (20) необходимо положить  $R_1=0$ , и тогда

$$\frac{R_{BC}}{R_{AB}} = \frac{n \cdot R_0 + (n+1) \cdot R_0}{R_0} = 2n + 1 = N \quad (22)$$

Погрешность отношения сопротивлений плеч делителя определяется не точностью подстройки (определения относительной погрешности) эквивалентных сопротивлений при двух сравнениях и погрешностью перехода от соединения, изображенного на рис. 6 б, к соединению, изображенному на рис. 6 в. Представив схему рис. 6 б так, как показано на рис. 6 г, где резистор  $R_1$  заменен  $n$  резисторами со значениями сопротивлений, равными  $n \cdot R_0$ , можно заметить, что плечо BC является обычной цепью с параллельно-последовательным преобразованием (от рис. 6 г к рис. 6 в), для которой погрешность перехода не превышает величины  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2$ ,

где  $\alpha_i$  - относительная погрешность сопротивлений резисторов цепочки.

Отличие от обычной последовательно-параллельной цепи заключается лишь в наличии перемычки по линии D-D, однако дополнительная погрешность от наличия перемычки представляет собой ничтожно малую величину по срав-

Окончание табл. 6 :

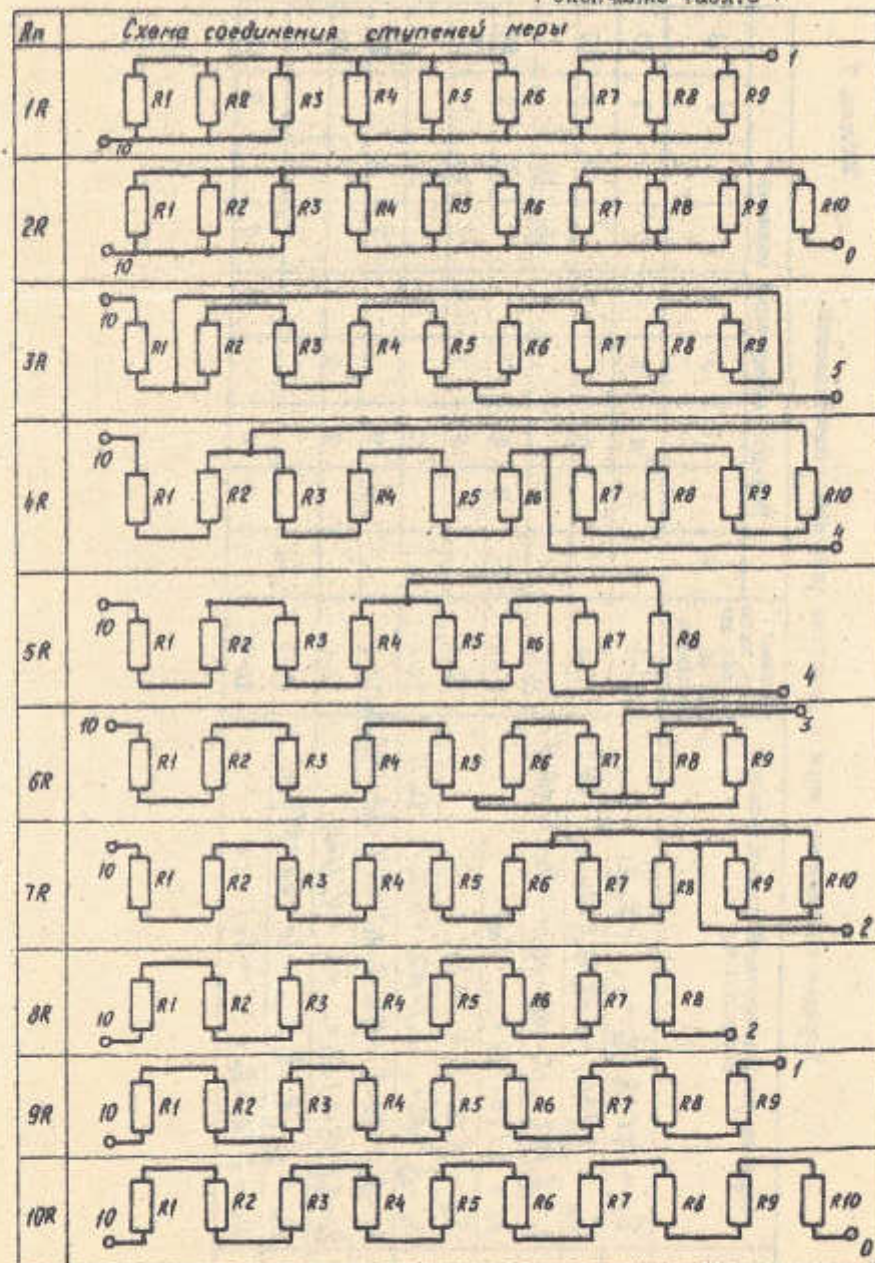




Таблица 6

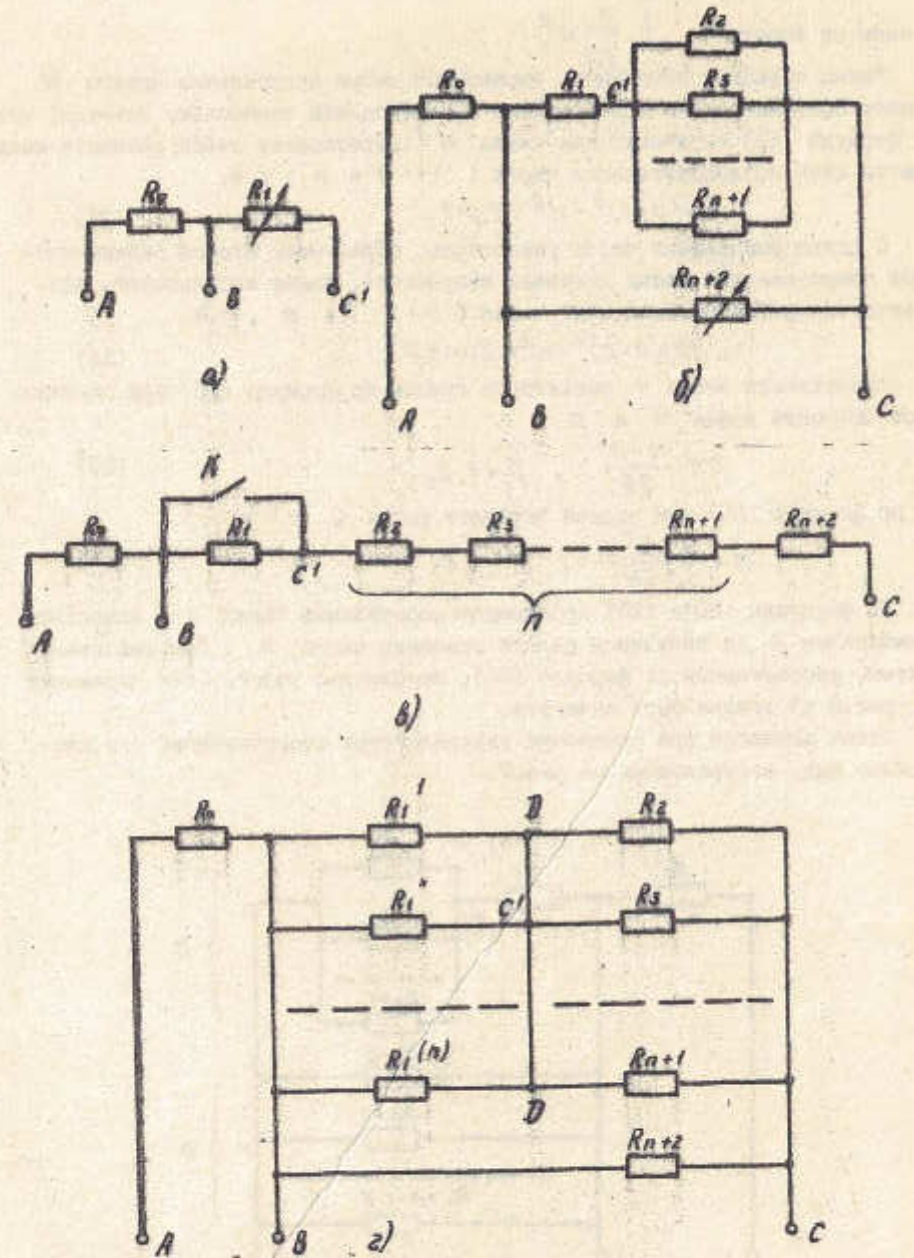
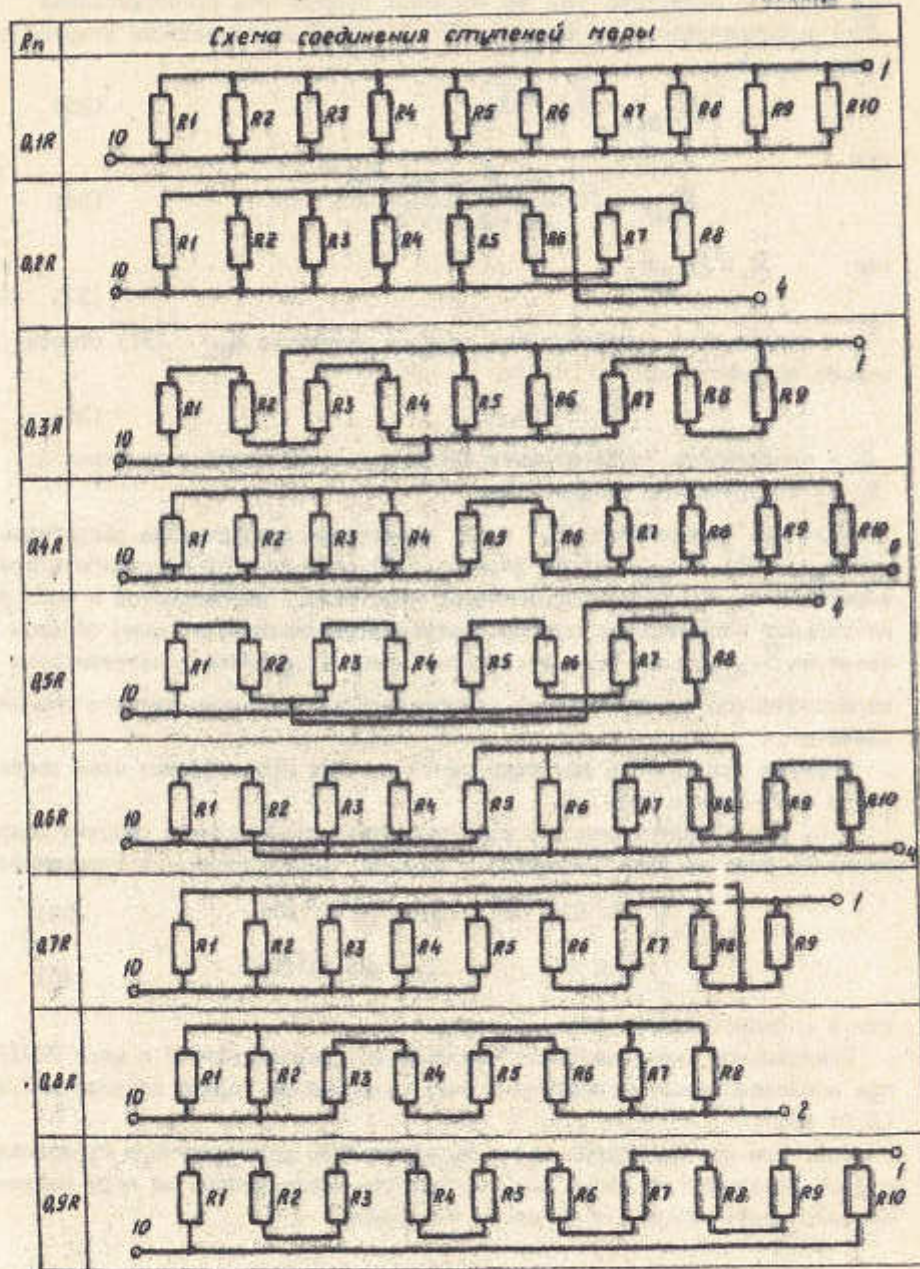


Рис.6. Схема сравнения плеч делителя методом разности квадратов



нению со значением  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2$

Таким образом, отношение, выраженное любым натуральным числом  $N$ , может быть выполнено и подстроено с необходимой точностью. Заметим, что в формуле (22) выражение для числа  $N$  представляет собой разность квадратов двух последовательных чисел  $(n+1)$  и  $n$ , т.е.

$$N = (n+1)^2 - n^2 = 2n+1. \quad (23)$$

С целью уменьшения числа резисторов, образующих второе эквивалентное сопротивление плеча делителя напряжения, можно использовать разность квадратов произвольных чисел  $(n+p)$  и  $p$ , т.е.

$$N = (n+p)^2 - p^2 = 2np + p^2 \quad (24)$$

и определением числа  $n$  резисторов группы по формуле (25) при одинаковой четности чисел  $N$  и  $p$ :

$$n = \frac{N-p^2}{2p}, \quad p=1, 2, \dots \quad (25)$$

и по формуле (26) при разной четности чисел  $N$  и  $p$ :

$$n = \frac{N-p^2-1}{2p}, \quad p=1, 2, \dots \quad (26)$$

По формулам (25), (26) производят определение числа  $n$ , задаваясь значениями  $p$  до получения целого значения числа  $n$ . При реализации схемы, рассчитанной по формуле (26), необходимо учесть, что переключатель  $K$  (рис.6 в) должна быть замкнута.

Схема делителя при сравнении эквивалентных сопротивлений его плеч примет вид, изображенный на рис.7.

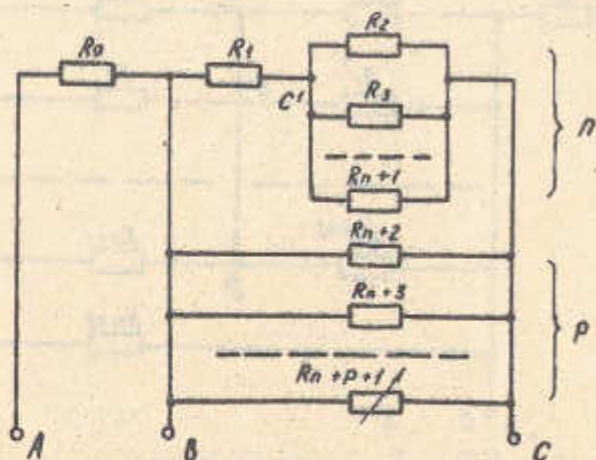


Рис.7. Схема сравнения плеч делителя

ния опорного резистора  $\delta_{R0}$  на значение погрешности преобразования  $\delta_{np}$  и определяется по формуле (35) с точностью до величин второго порядка малости:

$$\delta_{R_{BC3}} = \delta_{R0} + \delta_{np}, \quad (35)$$

где

$$\delta_{np} = \frac{(m^2 - n^2) \cdot \delta_1 + (n+p)^2 \cdot \delta_2}{m^2 + 2n \cdot p + p^2}, \quad (36)$$

где

$$\delta_1 = \delta_{R_{BC1}}, \quad (37)$$

$\delta_1$  - погрешность сопротивления первого резистора  $R_{BC1}$  (R1) относительно опорного  $R_0$ ,

$$\delta_2 = \delta_{R_{BC2}}, \quad (38)$$

$\delta_2$  - погрешность сопротивления смешанного соединения резисторов ( $R_{BC2}$ ) относительно опорного  $R_0$ .

Если при определении  $\delta_1$  и  $\delta_2$  производится подстройка сопротивлений  $R_{BC1}$  (R1) и  $R_{BC2}$ , то по формуле (36) определяется погрешность преобразования, вызванная погрешностью подстройки, методической и инструментальной погрешностью метода замещения (сравнения) и таким образом значение  $\delta_{R_{BC3}}$  может быть достаточно малым и сравнимо с погрешностью параллельно-последовательного преобразования (величины второго порядка малости).

Формулы для расчета погрешности  $\delta_{R_{BC3}}$  для предлагаемых схем соединений приведены в табл. II.

6.8. При эксплуатации мер рекомендуется устанавливать рабочие напряжения на мере не ниже значений, в вольтах, определяемых из выражений:

$$U = \sqrt{10^{-3} \cdot R} \quad \text{для } R < 10^6 \text{ Ом} \quad (39)$$

$$U = 25 \quad \text{для } R \geq 10^6 \text{ Ом} \quad (40)$$

где  $R$  - сопротивление меры, в омах.

Номинальное (максимальное) напряжение, прикладываемое к мере P40III при последовательном соединении всех ступеней не должно превышать 0,3 (2,5) кВ.

6.9. При использовании мер в качестве МПЭС рекомендуется производить отсчет показаний не менее чем через 5 мин после подачи на меру напряжения с целью повышения точности измерений.



Таблица 5

Порядок подключения меры в качестве МПЭС

Количество	Зажим для включения меры во внешнюю цепь	Порядок коммутации зажимов												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
2	10-9													10
3	10-7												9	10
4	10-7									8	9		10	
5	10-5							7	8	9			10	
6	10-5					6	7	8	9				10	
7	10-3				5	6	7	8	9				10	
8	10-3			4	5	6	7	8	9				10	
9	10-1		3	4	5	6	7	8	9				10	
10	10-1	2	3	4	5	6	7	8	9				10	

резисторов при использовании меры в качестве переходной рекомендуется осуществлять передачу значений электрического сопротивления за время, не превышающее 4 ч.

6.5. При использовании меры в качестве магазина сопротивлений руководствуйтесь схемами соединений ступеней, приведенными в табл.6 (где  $R$  - номинальное значение сопротивления одной ступени) и табл.7, где даны формулы относительных погрешностей меры при указанных схемах соединений ступеней (где  $\delta_i$  - относительная погрешность значения сопротивления  $i$ -той ступени меры) и указан порядок коммутации.

6.6. При использовании мер в качестве магазина проводимости руководствуйтесь схемами соединений ступеней, приведенными в табл.8 (где  $\gamma$  - номинальное значение проводимости одной ступени) и табл.9, где даны формулы относительных погрешностей меры при указанных схемах соединений ступеней (где  $\delta_i$  - относительная погрешность значения проводимости  $i$ -той ступени меры) и указан порядок коммутации.

6.7. При использовании меры в качестве делителя и МПЭС- $N \cdot R$  руководствуйтесь схемами соединений ступеней мер, порядком подключения зажимов меры, приведенных в табл. 10, для случая сравнения сопротивления плеча ( $R_{BC}$ ) с сопротивлением образцовой меры (эталоны). При использовании в качестве опорного (выходного) плеча первого резистора меры (R1) коэффициент отношения получается на единицу меньше, указанного в табл. 10 (для  $m = 1$ ).

Относительная погрешность суммарного сопротивления меры после преобразования  $\delta_{R_{BC}}$  отличается от относительной погрешности сопротивле-

номинальные значения сопротивлений резисторов определяются по формулам:

$$R_1 = R_0 \quad (27)$$

$$R_2 = R_3 = \dots = R_{n+1} = p \cdot R_0 \quad (28)$$

$$R_{n+2} = R_{n+3} = \dots = R_{n+p+1} = (n+p) \cdot R_0. \quad (29)$$

Общее число резисторов в этом случае будет равно  $n+p+2$ .

Обратимся теперь к схемам (рис.6 б и в г). Заметим, что резистор R1 заменяет ( $n \times n$ ) резисторов со значением сопротивлений  $n \cdot R_0$ . Поскольку мы можем заменить этот резистор любой группой ( $m \times m$ ) резисторов, реализующий квадрат другого числа ( $m^2$ ), эквивалентное сопротивление которых до преобразования

$$R_1 = \frac{m \cdot R_0}{m} = R_0 \quad (30)$$

и после преобразования

$$R_1 = m^2 \cdot R_0, \quad (31)$$

то получаем метод "замены квадрата", что практически означает замену  $n^2$  на  $m^2$ .

Таким образом, в этом случае

$$N = 2np + p^2 + m^2, \quad (32)$$

где при  $m = 0$  имеем метод "равности квадратов".

Преимущество этого метода в том, что при проверке и подстройке все сравниваемые плечи делителя имеют равные номинальные значения сопротивлений, что позволяет использовать одну измерительную схему при одном напряжении питания схемы и постоянной чувствительности.

4.7. Принцип работы мер в качестве мер сопротивления и проводимости.

При использовании мер в качестве мер сопротивления (проводимости) для уменьшения погрешности мер используется комбинированное соединение максимального числа резисторов с целью получения различных значений сопротивлений (проводимостей). Такие соединения позволяют также повысить мощность и напряжение в схеме по сравнению с мощностью (напряжением) отдельного резистора.

## 5. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1. Требования безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.2.091-83 и настоящему паспорту.

5.2. К работе с мерами допускаются лица, имеющие группу допуска не ниже III. При работе с мерами должны быть соблюдены "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденных Госэнергонадзором.



5.3. При работе с мерами их корпус должен быть заземлен в том случае, если мера не устанавливается в отдельную заземляемую камеру, а на меру не подается защитный экранирующий потенциал. При этом необходимо обеспечить надежность контакта в соединениях.

5.4. Все подключения мер к внешним измерительным цепям должны производиться при снятом напряжении. Во время проведения измерений касаться зажимов и проводов запрещается. При проведении измерений, для исключения наводок на измерительную цепь, должно быть исключено перемещение обслуживающего персонала по отношению к частям, находящимся под напряжением.

5.5. Подача напряжения на меру разрешается только при закрытой крышке меры.

### 6. ПОДГОТОВКА МЕР К РАБОТЕ И ПОРЯДОК РАБОТЫ

6.1. Перед началом работы необходимо:

ознакомиться с разделами 4,5 и в ходе работы выполнять их требования; снять верхнюю крышку с корпуса меры.

6.2. Производить коммутацию ступеней меры с помощью переключателя и включать ее в электрическую цепь двумя из I2 зажимов "0", "A", "I"... "10".

6.3. Для передачи значений сопротивлений в  $n^2$  раз больших (меньших) значений сопротивлений образцовой меры используется последовательно-параллельное преобразование ступеней меры, осуществляемых с помощью переключателя, входящих в комплект поставки (табл.4,5).

При параллельно-последовательном преобразовании (переходе) относительная погрешность суммарного сопротивления (проводимости)  $n$  последовательно соединенных ступеней меры  $\delta_{RS}$  отличается от относительной погрешности тех же  $n$  ступеней, соединенных параллельно  $\delta_{RP}$ , не более чем на величину, указанную в п.2.6, т.е. определяется по формулам:

$$\delta_{RS} = \delta_{RP} + \delta_n \quad (33)$$

$$\delta_{YS} = \delta_{YP} - \delta_n, \quad (34)$$

где  $\delta_{RS}$  ( $\delta_{YS}$ ) - относительное отклонение значения сопротивления (проводимости)  $n$  последовательно соединенных ступеней меры от действительного значения сопротивления (проводимости) образцовой меры.

$\delta_{RP}$  ( $\delta_{YP}$ ) - относительное отклонение значения сопротивления (проводимости)  $n$  параллельно соединенных ступеней меры от действительного значения сопротивления (проводимости) образцовой меры.

$\delta_n$  - погрешность передачи значений электрического сопротивления (проводимости).

6.4. Для уменьшения погрешности от кратковременной нестабильности

