

E7-8

**ИЗМЕРИТЕЛЬ
L, C, R ЦИФРОВОЙ**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
И ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ**

2.724.007 ТО

Альбом 1

$2^3 = 8$, следовательно, одно из состояний необходимо исключить. Очевидно, что для сохранения общепринятого соответствия десятичных чисел двоично-десятичным целесообразнее исключить состояние 000, так как счет пределов удобнее начинать с 1. Коды выходов реверсивного счетчика и соответствующие им номера пределов можно свести в табл. 4.

Таблица 4

| Номера пределов | Код предела | | |
|-----------------|-------------|---|---|
| | 1 | 2 | 4 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 |

Комбинационная часть блока выбора пределов обрабатывает информацию о необходимости смены предела и формирует сигналы, разрешающие смену предела, а также сигналы, устанавливающие грань предела, и сигналы, запрещающие прохождение счетных импульсов на реверсивные счетчики декад на время выбора предела. Структурная схема блока выбора пределов приведена на рис. 15.

На вход МС26 поступает информация 9999 с реверсивного счетчика активной составляющей и сигнал МАЛО АС со схемы формирования шин реверса активной составляющей.

На вход МС24 поступает информация 9999 с реверсивного счетчика реактивной составляющей и сигнал МАЛО РС со схемы формирования шин реверса реактивной составляющей. Выходные сигналы с МС24 и МС26 поступают в блок управления и на входы МС20-2, МС20-3 и формируют сигнал шины прямого счета (ШПС) для реверсивного счетчика пределов, который поступает на ШПС с МС25-3 через переключатель С, G — L, R.

Е7-8

ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R ЦИФРОВОЙ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
И ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.724.007 ТО

Альбом 1

Таблица 3

| Цифра | Код | | | |
|-------|-----|---|---|---|
| | 8 | 4 | 2 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |

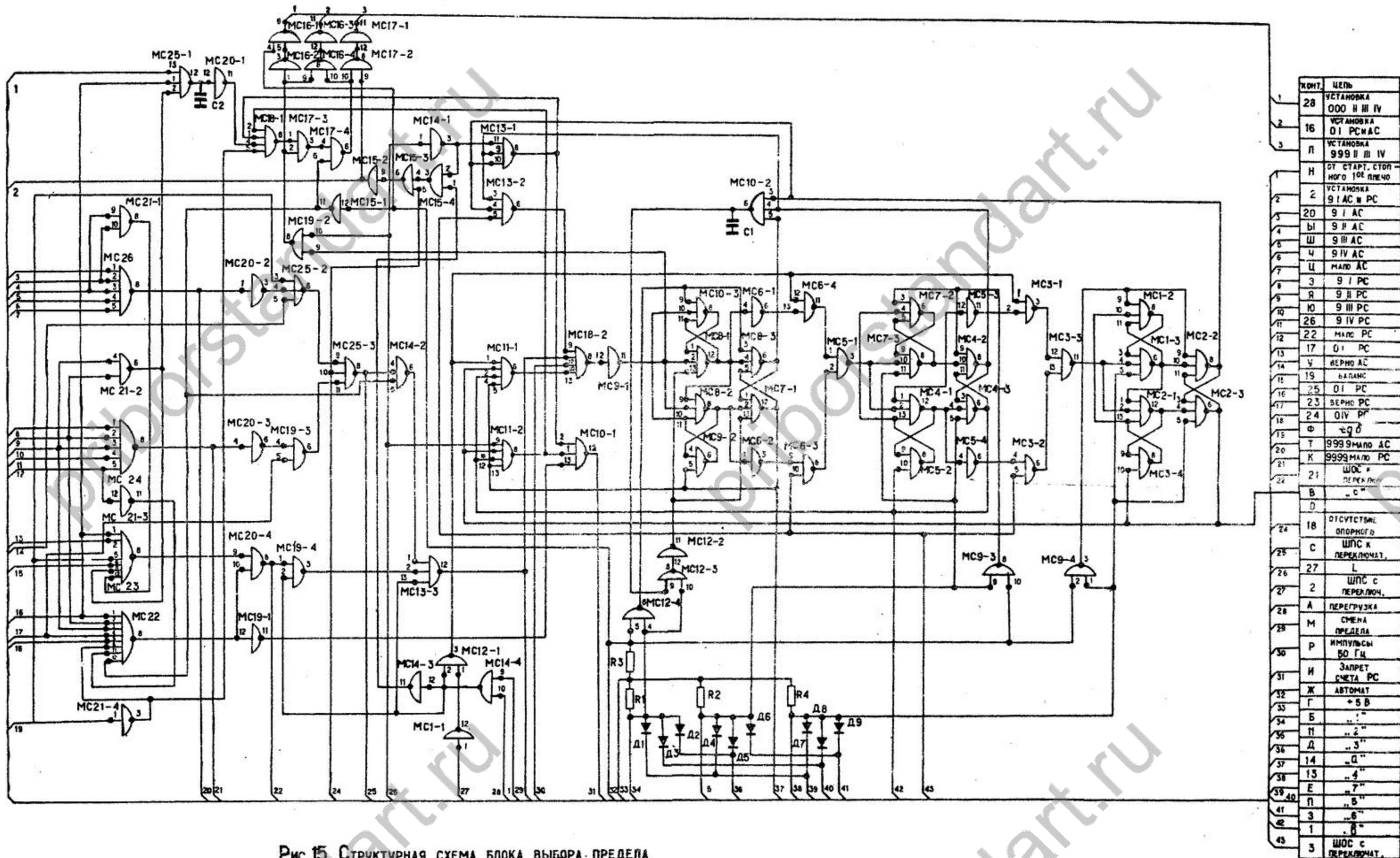
Двоично-десятичный выход счетчика поступает на разъем для ЦПМ, ЦВМ и дешифраторы, собранные на микросхемах МС3—МС7 и МС8. Выход дешифратора МС3—МС7 управляет ключами мостовой схемы, а выход дешифратора МС8 управляет индикаторными лампами ИН-12А.

Лампа Л2 осуществляет индикацию «запятой» и управляется транзистором Т1. В схеме реверсивного счетчика 3.065.009-01 резисторы R3 и R4, лампа Л2 и транзистор Т1 отсутствуют.

6.7. Блок выбора пределов 3.056.051 ЭЗ

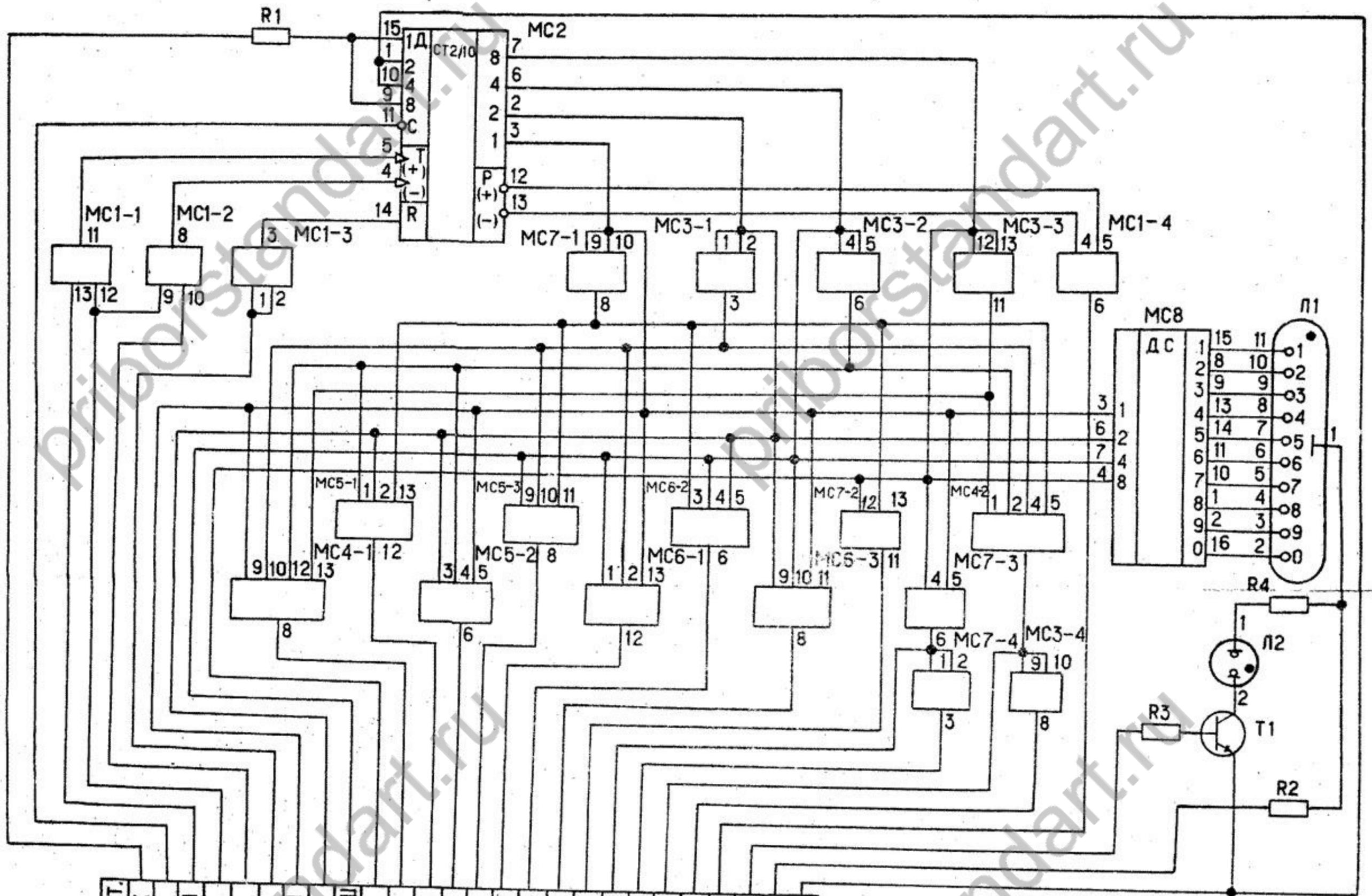
Блок автоматического выбора пределов состоит из реверсивного счетчика, который запоминает и выдает кодированную последовательность номера предела и комбинационной части, которая вырабатывает информацию о необходимости смены предела и, если такая необходимость возникает, дает разрешение реверсивному счетчику на смену предела.

Количество пределов, обеспечивающих весь диапазон измерений, равно 7, поэтому реверсивный счетчик пределов, структурное построение которого аналогично реверсивному счетчику декад, состоит из 3 последовательно соединенных триггеров. Число внутренних состояний при этом равно



| КОНТ. | ЦЕПЬ |
|-------|-------------------------------|
| 1 | 28 УСТАНОВКА 000 II III IV |
| 2 | 16 УСТАНОВКА 01 РС И АС |
| 3 | П УСТАНОВКА 999 II III IV |
| Н | ОТ СТАРТ. СТОП-НОГО 10Е ПЛЕЧО |
| 2 | УСТАНОВКА 9 I АС И РС |
| 5 | 20 9 I АС |
| 4 | Ы 9 II АС |
| 6 | Ш 9 III АС |
| 7 | Ц МАЛО АС |
| 8 | 3 9 I РС |
| 9 | Я 9 II РС |
| 10 | Ю 9 III РС |
| 11 | 26 9 IV РС |
| 12 | 22 МАЛО РС |
| 13 | 17 0 I РС |
| 14 | У ВЕРНО АС |
| 15 | 19 БАЛАНС |
| 16 | 25 0 I РС |
| 17 | 23 ВЕРНО РС |
| 18 | 24 0 IV РС |
| 19 | Ф ±90 |
| 20 | Т 999 МАЛО АС |
| 21 | К 9999 МАЛО РС |
| 22 | ШОС * ПЕРЕЛЮЧ. |
| 23 | В - С " |
| 24 | Д |
| 24 | 18 ОТСУТСТВИЕ ОПОРНОГО |
| 25 | С ШПС К ПЕРЕЛЮЧ. |
| 26 | 27 L |
| 27 | 2 ШПС С ПЕРЕЛЮЧ. |
| 28 | А ПЕРЕГРУЗКА |
| 29 | М СМЕНА ПРЕДЕЛА |
| 30 | Р ИМПУЛЬСЫ 50 Гц |
| 31 | И ЗАПРЕТ СЧЕТА РС |
| 32 | Ж АВТОМАТ |
| 33 | Г +5 В |
| 34 | Б .. 1 " |
| 35 | П .. 2 " |
| 36 | Д .. 3 " |
| 37 | 14 .. 4 " |
| 38 | 13 .. 5 " |
| 39 | Е .. 6 " |
| 40 | П .. 7 " |
| 41 | 3 .. 8 " |
| 42 | 1 .. 9 " |
| 43 | 3 ШОС С ПЕРЕЛЮЧ. |

Рис. 15. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА БЛОКА ВЫБОРА ПРЕДЕЛА



| ЦЕПЬ | КОНТ. |
|----------|-------|
| +5В | 10,К |
| УСТ. "9" | 4,Г |
| ШПС | 13,Н |
| ВХОД | 9,И |
| ШОС | 2,Б |
| УСТ. "0" | 3,В |
| 1 | 23,Ч |
| 2 | 17,С |
| 4 | 24,Ш |
| 8 | 18,Т |
| "1" | 12,М |
| "2" | 1,А |
| "3" | 14,0 |
| "4" | 8,3 |
| "5" | 15,Л |
| "6" | 20,Ф |
| "7" | 21,Х |
| "8" | 19,У |
| "9" | 22,Ц |
| И-9 | 11,Л |
| "0" | 28,Я |
| И-0 | 6,Е |
| ВЫХОД | 16,Р |
| ЗАПЯТАЯ | 27,Ю |
| +200В | 26,Э |
| ЗЕМЛЯ | 25,Ы |

Рис. 14. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕВЕРСИВНОГО СЧЕТЧИКА.

Примечания: 1. Режимы сняты вольтметром ВК7-9 относительно корпуса прибора при следующих положениях органов управления на лицевой панели:

- а) переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ С, G—L, R— в положении С, G, G, R— $tg\delta$ — в положении G, R;
- б) переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ— в положении АВТ;
- в) переключатель ЗНАК С, L— в положении «+»;
- г) тумблер ЗАПУСК— в положении СЛЕДЯЩИЙ;
- д) переключатель U ПОЛЯР., J ПОДМАГН.— в положении ВЫКЛ., а потенциометр — в левом крайнем положении;
- е) тумблер СЕТЬ— в верхнем положении.

2. При измерении режима платы 2.032.369 переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ С, G—L, R перевести в положение L, R, а остальные органы управления должны оставаться в положении, указанном в п. 1.

3. Отклонения измеренных величин от указанных в табл. не должны превышать $\pm(15\% U + 0,5 B)$, где U— измеренное значение напряжения, указанное в таблице.

Микросхемы МС23, МС20-4, МС19-4 формируют по информации 0999 и МНОГО по РС сигнал шины обратного счета счетчика пределов в режиме С, $tg\delta$ и для шины прямого счета в режиме L, $tg\delta$. Эта информация поступает на ШОС (шина обратного счета) через переключатель С, G—L, R. Микросхема МС13-3 выполняет функцию схемы ИЛИ и через МС18-2 разрешает прохождение импульсов на вход счетчика пределов, если счетчик пределов не на 7 пределе при прямом счете и не на 1 пределе при обратном счете (МС13-2, МС11-2).

Микросхемы МС25-1, МС20-1, МС18-1, МС17, МС16, МС14-3, МС14-4, МС15-2, МС15-3, МС15-4 формируют сигнал установки грани 0999, если информация на реверсивных счетчиках РСР 099 в режиме измерения С, $tg\delta$ и L, $tg\delta$ и измеряемый объект не на 1 пределе в режиме измерения С, $tg\delta$ и не на 7 пределе в режиме L, $tg\delta$. Установка грани 9999 в режиме измерения С, G или L, R осуществляется МС19-2, МС17-3, МС15, МС16, МС14-3, МС14-4.

Счетчик пределов, в основе которого лежит триггер со счетным входом с коэффициентом пересчета 7, собран на МС8, МС9, МС6, МС10, МС7, МС4, МС5, МС1, МС3, МС2.

Ручной выбор предела осуществляется через дешифратор Д1—Д9, R1—R4, МС9-3, МС9-4 и МС12-4, МС12-3, МС12-2. Если при переключении пределов счетчик приходит в 1-й предел, а информация 0999 и 0999 по РС и АС сохраняется, в режиме С, G, $tg\delta$ или в 7 пределе в режиме измерения L, $tg\delta$, R, через МС10-1 снимается запрет со схем СЗР, СЗА блока управления. Сигналы ОТСУТСТВИЕ ОПОРНОГО и ПЕРЕГРУЗКА поступают на МС1-1 и МС25-3 и участвуют в формировании шин реверса счетчика пределов.

6.8. Блок управления 2.390.077 ЭЗ

Блок управления 2.390.077 ЭЗ осуществляет управление уравниванием мостовой схемы и содержит: схемы запрета счетных импульсов активной и реактивной составляющих СЗА и СЗР, старт-стопный триггер Т2, триггер «+» и «—» (Т1) (см. функциональную схему прибора), ключи «+», «—», схему формирования шин реверса, схему, формирующую сигнал «отсутствие опорного», ключ «разрешение — запрет».

Структурная схема, поясняющая работу блока управления, представлена на рис. 16 (вклейная).

Схемы СЗА и СЗР выполнены на микросхемах МС6, МС12-4, МС5, МС4-1. На МС7 и МС8 выполнены схемы, вырабатывающие информацию для СЗР и СЗА «000 и МНОГО». Информация «000 и МНОГО» по РС (МС8) используется и для автоматического выбора знака измеряемой реактивности в режиме С, G или L, R и поступает на МС4-4 и МС4-3 и далее на триггер знака (Т1), собранный на МС11-2, МС10-1, МС10-3, МС11-3, МС10-2, МС9-2.

В режимах С, tgδ и L, tgδ знак выбирается вручную и триггер знака в этом случае управляется по входам МС11-2, МС11-3 и МС9-2, МС10-2.

С выхода триггера знака сигналы «+» и «-» поступают на ключи знака Т7, Т8. Старт-стопный триггер выполнен на МС14-1 и МС14-2. В режиме слежения старт-стопный триггер запускается через МС16-3, МС16-4, МС16-2, МС16-1, МС15-4, МС15-3, МС15-2, МС15-1, МС14-4, МС14-3, ключи задержки, выполненные на транзисторах Т2, Т4.

В режиме «ручной запуск» старт-стопный триггер запускается по цепи С5, МС12-1, МС13-1. В исходное положение, так же как и в режиме слежения, старт-стопный триггер возвращается по напряжению разбаланса по цепи: МС16-4, МС16-3, МС16-2, МС16-1, МС15-3, МС15-4, МС15-2, МС15-1, МС14-4, ключи Т2, Т4, МС1-2, МС1-1, МС13-1.

Запуск прибора как в режиме слежения, так и в режиме ручной запуск разрешается ключом, собранным на Т1 (разрешение-запуск).

Сигналы шин реверса реверсивных счетчиков декад РС и АС формируются микросхемами МС3-3; МС3-4, МС2-1, МС2-2 и ключами (К1, К2, К3, К4), выполненными на транзисторах Т9, Т10, Т11, Т12.

На транзисторах Т3 и Т6 выполнена схема, формирующая сигнал «отсутствие опорного», который стробируется старт-стопным триггером через МС3-1, МС3-2.

6.9. Блок порядков 3.051.003 ЭЗ

Результаты измерения для регистрации на ЦПМ или для обработки на ЭВМ приведены к одной размерности: емкость регистрируется в мкФ, проводимость в мСм, индуктивность в Гн, сопротивление в кОм, tgδ — бланк (пробел).

Зависимость порядка измеряемой величины, выраженной в указанных размерностях, от предела приведена в табл. 5 и 6.

Продолжение табл.

| Обозначение по схеме | Напряжение, В | | |
|----------------------|---------------|---------------|----------------|
| | коллектор | эмиттер | база |
| 5.283.859 (У30, У31) | | | |
| Т1 | 0 | 0 | +0,15 |
| Т2 | 0 | 0 | +0,18 |
| 5.283.857 ЭЗ | | | |
| Т1 | -10 | 0 | -0,15 |
| 2.087.455 ЭЗ | | | |
| Т1 | 0 | -(8,5—14,0) | -(8,0—13,0) |
| Т2 | 0 | -7,4 | -6,7 |
| Т3 | +5,3 | +10,3 | +10,0 |
| Т4 | +5,3 | +10,3 | +10,0 |
| 5.283.841 ЭЗ | | | |
| Т1 | -(8,0—13,0) | 0 | -0,22 |
| Т2 | -0,28 | -(8,0—13,0) | -(7,0—12,0) |
| Т3 | -(8,0—13,0) | -0,22 | -0,28 |
| Т4 | -0,28 | +6,8 | +6,6 |
| 5.283.842 ЭЗ | | | |
| Т1 | -6,7 | 0 | -0,18 |
| 5.283.843 ЭЗ | | | |
| Т1 | +10,0 | +6,0 | +6,5 |
| Т2 | +10,0 | +5,3 | +6,0 |
| 5.283.847 ЭЗ | | | |
| Т1 | -10,0 | -18,0 | -17,5 |
| Т2 | -17,5 | -10,0 | -10,5 |
| 2.032.003 ЭЗ (У22) | | | |
| 2.032.367 ЭЗ (У21) | | | |
| Т1 | +7,0 (сток) | +16,0 (исток) | +15,5 (затвор) |
| Т2 | +7,1 | -0,6 | -0,1 |
| Т3 | 0 | +7,2 | +7,1 |
| Т4 | +19,0 | +6,9 | +7,1 |
| Т5 | +18,5 | +7,0 | +7,2 |
| Т6 | +0,3 | +7,0 | +6,9 |

Примечания: 1. Режимы сняты вольтметром ВК7-9 относительно корпуса прибора при следующих положениях органов управления на лицевой панели:

- а) переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ С, G—L, R — в положении С, G, G, R — $tg\delta$ — в положении G, R;
- б) переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ — в положении АВТ;
- в) переключатель ЗНАК С, L — в положении «+»;
- г) тумблер ЗАПУСК — в положении СЛЕДЯЩИЙ;
- д) переключатель U ПОЛЯР., J ПОДМАГН.— в положении ВЫКЛ., а потенциометр  — в левом крайнем положении;
- е) тумблер СЕТЬ — в верхнем положении.

2. При измерении режима платы 2.032.369 переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ С, G—L, R перевести в положение L, R, а остальные органы управления должны оставаться в положении, указанном в п. 1.

3. Отклонения измеренных величин от указанных в табл. не должны превышать $\pm(15\% U + 0,5 B)$, где U — измеренное значение напряжения, указанное в таблице.

Микросхемы МС23, МС20-4, МС19-4 формируют по информации 0999 и МНОГО по РС сигнал шины обратного счета счетчика пределов в режиме С, $tg\delta$ и для шины прямого счета в режиме L, $tg\delta$. Эта информация поступает на ШОС (шина обратного счета) через переключатель С, G—L, R. Микросхема МС13-3 выполняет функцию схемы ИЛИ и через МС18-2 разрешает прохождение импульсов на вход счетчика пределов, если счетчик пределов не на 7 пределе при прямом счете и не на 1 пределе при обратном счете (МС13-2, МС11-2).

Микросхемы МС25-1, МС20-1, МС18-1, МС17, МС16, МС14-3, МС14-4, МС15-2, МС15-3, МС15-4 формируют сигнал установки грани 0999, если информация на реверсивных счетчиках РСР 099 в режиме измерения С, $tg\delta$ и L, $tg\delta$ и измеряемый объект не на 1 пределе в режиме измерения С, $tg\delta$ и не на 7 пределе в режиме L, $tg\delta$. Установка грани 9999 в режиме измерения С, G или L, R осуществляется МС19-2, МС17-3, МС15, МС16, МС14-3, МС14-4.

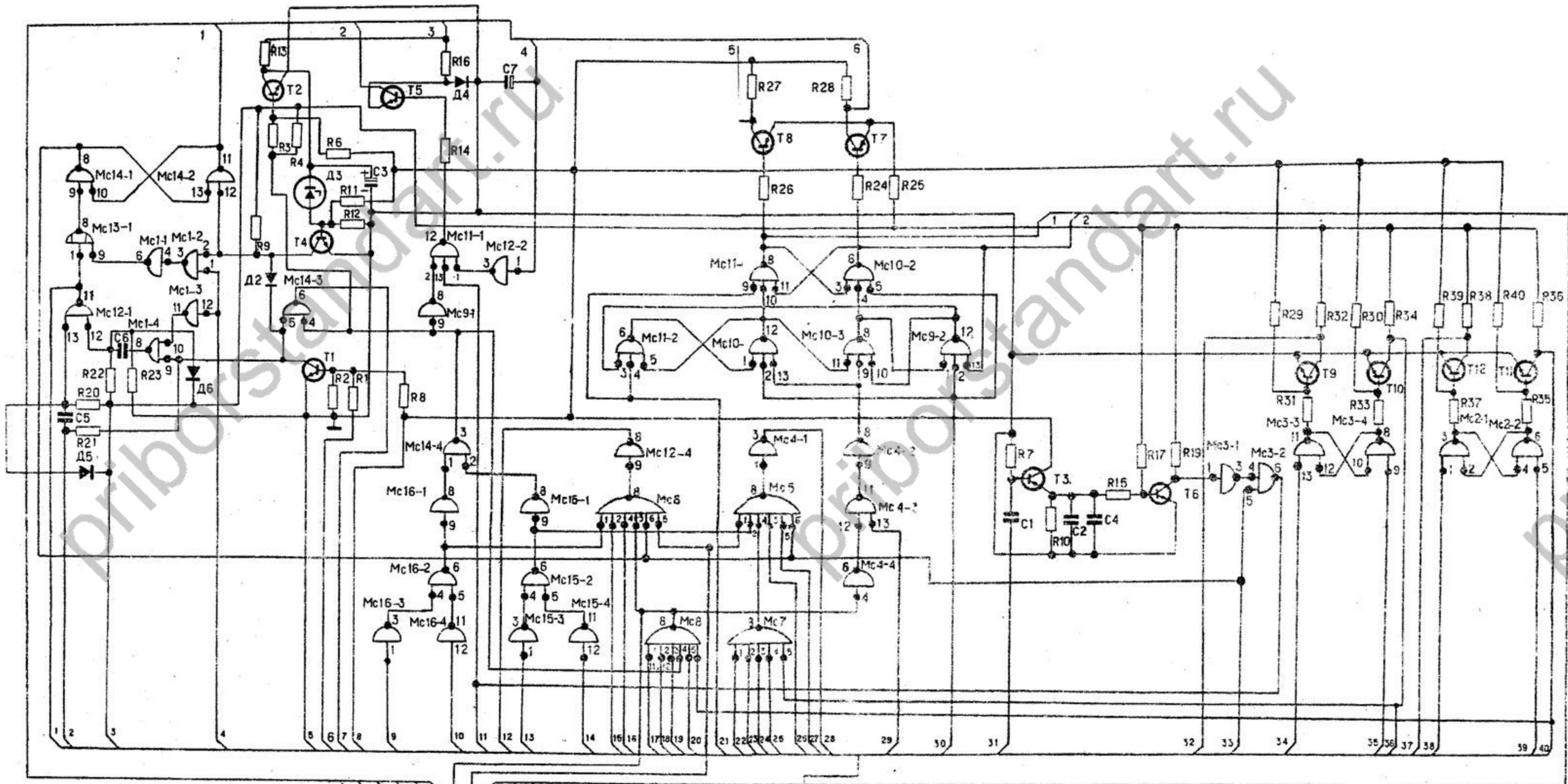
Счетчик пределов, в основе которого лежит триггер со счетным входом с коэффициентом пересчета 7, собран на МС8, МС9, МС6, МС10, МС7, МС4, МС5, МС1, МС3, МС2.

Ручной выбор предела осуществляется через дешифратор Д1—Д9, R1—R4, МС9-3, МС9-4 и МС12-4, МС12-3, МС12-2. Если при переключении пределов счетчик приходит в 1-й предел, а информация 0999 и 0999 по РС и АС сохраняется, в режиме С, G, $tg\delta$ или в 7 пределе в режиме измерения L, $tg\delta$, R, через МС10-1 снимается запрет со схем СЗР, СЗА блока управления. Сигналы ОТСУТСТВИЕ ОПОРНОГО и ПЕРЕГРУЗКА поступают на МС1-1 и МС25-3 и участвуют в формировании шин реверса счетчика пределов.

6.8. Блок управления 2.390.077 ЭЗ

Блок управления 2.390.077 ЭЗ осуществляет управление уравниванием мостовой схемы и содержит: схемы запрета счетных импульсов активной и реактивной составляющих СЗА и СЗР, старт-стопный триггер Т2, триггер «+» и «—» (Т1) (см. функциональную схему прибора), ключи «+», «—», схему формирования шин реверса, схему, формирующую сигнал «отсутствие опорного», ключ «разрешение — запрет».

Структурная схема, поясняющая работу блока управления, представлена на рис. 16 (вклеиваемая).



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|--------|------------|-----------|-------------|-------------|--------------|----------------------------|-----|-------------|----------------|--------|------------|----------------|--------|------|------------|------------|-------------------------------|----------|------------|------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|----------|-------------------|------------------|------------------------------|--------|-------------------------|--------|-----------|--------|--------|--------|-----------|--------|---|---|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| 4 | 23 | 22 | 19 | 0 | 13 | 15 | К | Т | У | А | Ш | Я | Ы | 25 | 24 | 27 | Ю | Е | 18 | 9 | 26 | Б | Л | Ц | 21 | Х | Ф | 14 | Р | 17 | 16 | П | И | М | 3 | 1 | 12 | 10 | 2 | 28 | В | Г | 7 | 4 | Д | 5 | 20 | С | Н | Ж | |
| СТАРТ-СТОПНЫЙ 2 ПЛЕЧО | НЕБАЛАНС | +12,6В | ПЕРЕГРУЗКА | ВЫХОД " " | ВЫХОД " + " | СМЕНА ЗНАКА | ЗАПРЕТ СЧЕТА | ВЫХОД МС12 к Кн. ПУСК " | +5В | ПЕРЕКЛЮЧАТ. | РУЧНОЙ-СЛЕДЯЩ. | КОРПУС | РАЗРЕШЕНИЕ | ЗАПРЕТ ЗАРЯДКА | БАЛАНС | -10В | УПТ РС I-2 | УПТ РС I-1 | ОТСУТСТВИЕ ОПОРНОГО ВЫХОДА | ВЫХОД РС | УПТ АС I-1 | УПТ АС I-2 | ГН РС | "9999" МАЛО РС | "01" ДЕКАДА РС | "02" ДЕКАДА РС | "03" ДЕКАДА РС | "04" ДЕКАДА РС | УСТАНОВКА " " | "01" ДЕКАДА АС | "02" ДЕКАДА АС | "03" ДЕКАДА АС | "04" ДЕКАДА АС | ГН АС | "9999" МАЛО АС | ВЫХОД ДС | Импульсы 10 Гц | УСТАНОВКА " " | ОТСУТСТВИЕ ОПОРНОГО ВХОДА | ШПС АС | СТАРТ-СТОПН. 1 ПЛЕЧО | УПТ АС | УПТ АС II | ШОС АС | ШПС РС | УПТ .С | УПТ РС II | ШОС РС | - | + | ШОС |

Рис. 16. Структурная схема блока управления

Схема, собранная на Т1...Т4, МС1, служит для формирования напряжения, управляющего порогом срабатывания триггера Шмидта. С парафазного выхода фазового детектора напряжение через Д1, Д2 и стабилитрон Д3 поступает на эмиттерный повторитель на Т1, R2, R9. Схема Д5, Д6, R11 служит для выделения меньшей из составляющих разбаланса. Это напряжение повторяется эмиттерным повторителем Т2, R17 и затем через R16 суммируется с составляющей разбаланса моста через R8 на входе усилителя постоянного тока (R18, R19, R20, R21, С2, МС1). Напряжение с выхода этого усилителя через Т4 изменяет порог срабатывания импульсного генератора, а следовательно, и частоту генерируемых импульсов. В зависимости от режима измерения частота выходных импульсов не остается постоянной, так как непостоянна чувствительность мостовой схемы.

Схемы, собранные на Т3, Д4, R5, R7, С1, R3, R4, вырабатывают управляющие напряжения, при помощи которых обеспечивается независимость частоты выходных импульсов от режима измерения. Эти напряжения через R14, R15 также суммируются на входе усилителя постоянного тока. Напряжение компенсации, различное для разных видов измерения, поступает на Т3 через R6. Схема, собранная на МС2, Д10, R23, R24, R26, R33, служит для сравнения активной и реактивной составляющей разбаланса по величине и служит для правильности формирования команд на выбор пределов измерения при наличии взаимосвязи контуров уравнивания. Диод Д9 — защитный, конденсаторы С3, С4 — фильтрующие, стабилитроны Д7, Д8 и резисторы R22, R41 служат для получения необходимых напряжений питания схемы по постоянному току.

6.6. Счетчик реверсивный 3.065.009 ЭЗ и 3.065.009-01

Основное назначение реверсивного счетчика — уравнивание мостовой схемы и выдача результатов измерения на отсчетное устройство и на ЦПМ.

Структурная схема декады реверсивного счетчика изображена на рис. 14 (вклейная).

Реверсивный счетчик выполнен на микросхеме МС2 (155 ИЕ6). Управление реверсивным счетчиком осуществляется через микросхемы МС1-1, МС1-2, МС1-3. Кодированные 10 разрешенных состояний (код 8-4-2-1), совпадающие в прямом и обратном счете, приведены в табл. 3.

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| 1. Назначение | 6 |
| 2. Технические данные | 6 |
| 3. Состав прибора | 13 |
| 4. Устройство и работа прибора | 14 |
| 4.1. Схема замещения измеряемых объектов | 14 |
| 4.2. Конструктивное выполнение измеряемых объектов и возможности измерения прибором Е7-8 | 17 |
| 4.3. Структурная схема прибора | 18 |
| 4.4. Измерительная схема прибора | 19 |
| 4.5. Конструкция | 30 |
| 5. Функциональная схема прибора | 32 |
| 5.1. Формирование регулирующих воздействий | 32 |
| 5.2. Измерения в режиме ручного выбора пределов | 34 |
| 5.3. Измерения в режиме с автоматическим выбором пределов | 35 |
| 6. Устройство и работа составных частей прибора | 40 |
| 6.1. Генератор 1000 Гц 3.265.020 ЭЗ | 40 |
| 6.2. Усилители операционные 2.032.003 ЭЗ и 2.032.367 ЭЗ | 41 |
| 6.3. Усилитель разбаланса 2.032.368 ЭЗ | 43 |
| 6.4. Усилитель опорного напряжения 2.032.369 ЭЗ | 44 |
| 6.5. Генератор импульсов 3.264.610 ЭЗ | 45 |
| 6.6. Счетчик реверсивный 3.065.009 ЭЗ и 3.065.009-01 | 46 |
| 6.7. Блок выбора пределов 3.056.051 ЭЗ | 47 |
| 6.8. Блок управления 2.390.077 ЭЗ | 49 |
| 6.9. Блок порядков 3.051.003 ЭЗ | 50 |
| 6.10. Блок индикации наименований 2.746.074 ЭЗ | 51 |
| 6.11. Блок ключей 3.609.057 ЭЗ | 53 |
| 6.12. Плата 5.283.859 (У30, У31) | 54 |
| 6.13. Плата 5.283.860 ЭЗ | 54 |
| 6.14. Плата 5.283.857 ЭЗ | 55 |
| 6.15. Блок питания 2.087.455 ЭЗ | 56 |
| 6.16. Измеритель L, С, R цифровой Е7-8 2.724.007 ЭЗ | 56 |

| | |
|--|-----|
| 7. Маркирование и пломбирование | 60 |
| 8. Общие указания по эксплуатации | 60 |
| 9. Указания мер безопасности | 60 |
| 10. Подготовка к работе | 61 |
| 11. Порядок работы | 61 |
| 12. Характерные неисправности и методы их устранения | 86 |
| 13. Техническое обслуживание | 86 |
| 14. Проверка прибора | 87 |
| 15. Правила хранения | 99 |
| 16. Транспортирование | 100 |

ПРИЛОЖЕНИЯ

| | |
|--|-----|
| 1. Схемы позиционных маркировок элементов | 103 |
| 2. Электрические схемы и намоточные данные трансформаторов | 105 |
| 3. Таблица режимов по постоянному току | 110 |

выхода с взаимно противоположными фазами напряжения. Опорное напряжение с выхода МС3 через С15, R21, R22 поступает на базы транзисторов Т3, Т4, а в общую точку резисторов R23, R24 поступает напряжение с усилителя разбаланса.

Продетектированное напряжение усиливается усилителем аналогового уравнивания, построенного на микросхемах МС6, МС7 с R31...R36, С21, С22 и служит для аналогового уравнивания мостовой схемы, формирования сигналов реверса, а также для получения сигналов о начале и конце уравнивания. Схема, формирующая два взаимно противоположных сигнала реверса, построена на транзисторах Т5...Т8 и резисторах R38...R43, а схема, формирующая сигналы о начале и конце уравнивания, — на транзисторах Т9...Т12 и резисторах R44...R51. Диоды Д10...Д13 ограничивают обратное напряжение на переходе эмиттер-база соответствующих транзисторов. Питание схемы по постоянному току осуществляется через соответствующие стабилитроны Д1, Д2; Д3, Д4; Д7, Д8; Д9 и фильтры R2, С3; R12, С9, С5; R13, С13; R37, С20.

6.5. Генератор импульсов 3.264.610 ЭЗ

Генераторы вырабатывают импульсы напряжения, частоты следования которых примерно пропорциональны активной и реактивной составляющим напряжения разбаланса моста. На транзисторах Т5, Т6 и резисторах R25, R27, R29, R30 построен триггер Шмидта, обладающий большой величиной гистерезиса, то есть имеющий резко различные пороги срабатывания при возрастании и убывании напряжения на его входе. Схема, построенная на транзисторе Т7, резисторах R31, R32, R34, R35, R36, R37 и конденсаторах С7, С8, С9, С10, представляет собой усилитель, выход которого через RC цепь связан с входом. Такая схема обеспечивает примерно логарифмическую зависимость величины напряжения на коллекторе транзистора от длительности перепада базового тока. Через конденсатор С5 и резистор R28 схема включена в цепь импульсной обратной связи триггера Шмидта и совместно с последним обеспечивает генерацию импульсов напряжения, длительность которых регулируется путем изменения одного из порогов срабатывания. Продифференцированные емкостью С6 импульсы поступают на ключевую схему Т8, R38, R40 и в дальнейшем на блок управления.

обратной связи соответствующих каскадов, причем резисторы R12 и R21 служат для получения необходимого усиления от каскада, а резисторы R15, R23 определяют полосу пропускания контура. Получение необходимой амплитудной характеристики достигается применением в каждом каскаде усиления дополнительной отрицательной обратной связи через кремниевые диоды Д1, Д2; Д5, Д6; Д9, Д10; Д11, Д12; Д15, Д16; конденсаторы С3, С13, С18, С20 и резисторы R10, R11; R18, R19. С выхода MC5 напряжение сигнала разбаланса повторяется двухтактным эмиттерным повторителем на транзисторах Т3, Т4 и через цепь R33, R34; С23, R32, С24 поступает в дальнейшем на фазовые детекторы. Цепи R4, С4; R9, С8; R17, С12; R24, С16; R28, С21 ограничивают усиление микросхем на высоких частотах и служат для устойчивости каждого каскада в отдельности. Питание усилителя осуществляется от источника постоянного напряжения +20 В через фильтры R5, С5; R16, С9; R29, С17; R35, С22 и стабилитроны Д3, Д4; Д7, Д8; Д13, Д14.

6.4. Усилитель опорного напряжения 2.032.369 ЭЗ

На схеме изображены усилитель опорного напряжения, фазовый детектор, усилитель аналогового уравнивания, схема формирования сигналов реверса и схемы формирования сигналов начала и конца уравнивания.

Опорное напряжение с измерительной мостовой схемы поступает на входной усилительный каскад, собранный на MC1, с R3, R5, С2, С4 через С1 или R1. Обратная связь усилителя по переменному току обеспечивается конденсатором С2 и резистором R4. На выходе усилителя в зависимости от того, через какую цепь поступает сигнал, получается напряжение, синфазное с входным или сдвинутое по фазе относительно входного на 90°. Через С6, R8 напряжение с выхода первого каскада поступает на второй каскад усилителя на MC2, R9, R10, R11, С7, С8. Усиленный усилителем и ограниченный диодами Д5, Д6 сигнал опорного напряжения с выхода второго каскада усиления через цепь С10, R15, R16, С11 или через цепь С10, R14, R18, С12 поступает на один из дифференциальных входов усилителя, собранного на MC3, R17, R19, R20, С14. Переключение входов в зависимости от знака измеряемой реактивности осуществляется триодами Т1, Т2 с резисторами R6, R7. На транзисторах Т3, Т4 и микросхеме MC4, MC5 с R25...R30, С16...С19 собран фазовый детектор ключевого типа. Детектор имеет два

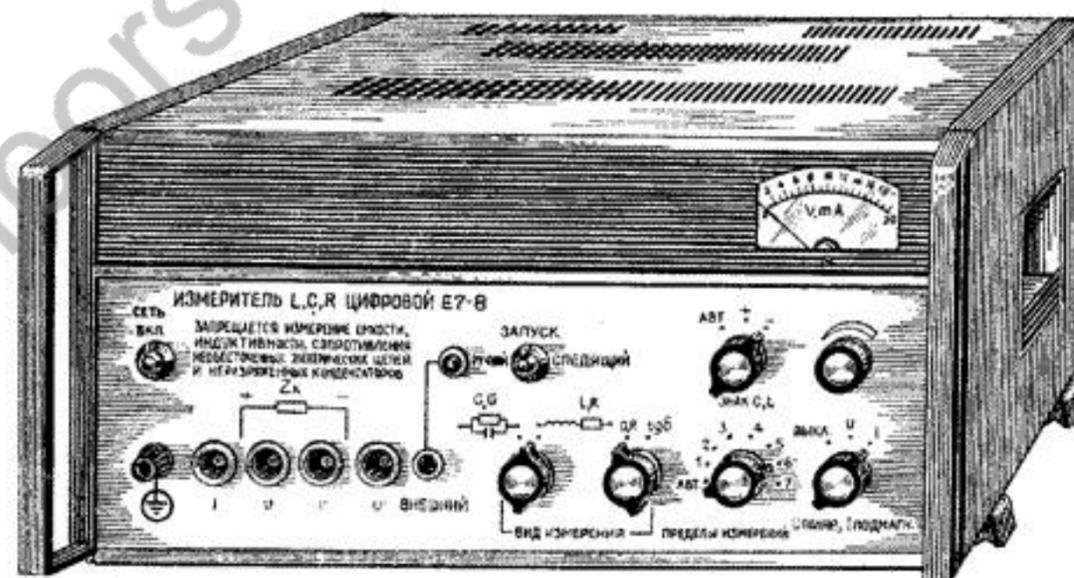


Рис. 1. Внешний вид прибора

1. НАЗНАЧЕНИЕ

1.1. Измеритель L, C, R цифровой Е7-8 предназначен для автоматического измерения параметров конденсаторов, катушек индуктивности, резисторов с цифровым отсчетом измеряемых величин и выводом информации о результатах измерений в коде 8-4-2-1.

По требованиям к электробезопасности прибор удовлетворяет нормам класса защиты 01.

1.2. Прибор предназначен для работы в следующих условиях:

температура воздуха, К (°С) от 278 до 313 (от 5 до 40);
относительная влажность воздуха до 95 % при температуре 303 К (30 °С);

атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) 100 ± 4 (750 ± 30).

1.3. Предприятие-поставщик оставляет за собой право вносить в конструкцию и схему прибора изменения, не влияющие на тактико-технические данные, без коррекции эксплуатационно-технической документации.

1.4. Для приборов, поставляемых на экспорт, допускается питание прибора производить от сети частотой $(60 \pm \pm 0,6)$ Гц, напряжением (220 ± 22) В и содержанием гармоник до 5 %.

ВНИМАНИЕ!

При поставке приборов в страны с тропическим климатом поставщик гарантирует его нормальную работу при условии хранения и эксплуатации прибора в помещениях с кондиционированным воздухом.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Рабочая частота прибора (1000 ± 10) Гц.

2.2. Прибор обеспечивает измерения следующих величин: положительной и отрицательной емкости с потерями по параллельной схеме замещения, выраженными в форме тангенса угла потерь или активной проводимости;

тер через R12 и фильтр R13, C11 со стабилитроном Д9 к источнику постоянного напряжения —10 В. Отношение сопротивлений резисторов R11 и R12 определяют величину постоянного потенциала на коллекторе Т2, а отношение сопротивлений резисторов R11 и R14 — коэффициент усиления каскада. Резистор R10 привязывает базу транзистора к корпусной шине. Конденсаторы С8, С9 — разделительные и одновременно служат для формирования частотно-фазовой характеристики усилителя на низких частотах. Конденсатор С10 формирует необходимую крутизну частотной характеристики усилителя на высоких частотах.

С коллектора Т2 сигнал поступает на повторитель, собранный на транзисторах Т3, Т4, Т5, Т6 и резисторах R16, R17, R18, R19. Выходной сигнал снимается с повторителя через С12.

Для получения информации о перегрузке усилителя, когда напряжение на его выходе выходит за пределы линейного усиления, служит схема порогового устройства, собранная на транзисторах Т7, Т8. Величина порога определяется делителем R21, R22*. Транзистор Т7 детектирует сигнал, а конденсатор С15 фильтрует переменную составляющую. Конденсатор С14 — разделительный, а резистор R20 привязывает базу Т7 к корпусной шине. Резистор R23 является нагрузкой детектора. Питание Т7 осуществляется от источника —10 В, а Т8 — через резистор R24 от источника постоянного напряжения +5 В.

6.3. Усилитель разбаланса 2.032.368 ЭЗ

Усилитель собран на пяти микросхемах типа 140УД1А и обеспечивает необходимое усиление сигнала разбаланса, а также примерно логарифмическую зависимость выходного напряжения от входного. Входной сигнал, поступающий через конденсатор С1, усиливается двумя каскадами апериодического усиления на МС1 и МС2, двумя каскадами селективного усиления на МС3, Т1 и МС4, Т2 и еще одним каскадом апериодического усиления. Коэффициент усиления апериодических каскадов определяется отношением сопротивлений $\frac{R3}{R1}$, $\frac{R8 + R7}{R7}$ и $\frac{R27 + R25}{R25}$ в цепи обратной связи каждого апериодического каскада соответственно. Селекция сигнала разбаланса осуществляется двумя контурами L1, C11 и L2, C15, а также включенными в цепь

единен к источнику постоянного напряжения $+20 В$, а эмиттер через $R16$ и фильтр $R17$, $C14$ со стабилитроном $D13$ к источнику постоянного напряжения $-10 В$. Отношение сопротивлений резисторов $R15$ и $R16$ определяют величину постоянного потенциала на коллекторе $T2$, а отношение сопротивлений резисторов $R15$ и $R18$ — коэффициент усиления каскада. Резистор $R14$ привязывает базу транзистора к корпусной шине. Конденсаторы $C11$, $C12$ — разделительные и одновременно служат для формирования частотно-фазовой характеристики усилителя на низких частотах. Конденсатор $C13$ формирует необходимую крутизну частотной характеристики усилителя на высоких частотах.

С коллектора $T2$ сигнал поступает на повторитель, собранный на транзисторах $T3$, $T4$, $T5$, $T6$ и резисторах $R20$, $R21$, $R22$, $R23$. Выходной сигнал снимается с повторителя через $C15$.

6.2.2. Усилитель операционный тока 2.032.367 ЭЗ

Усилитель операционный тока состоит из трех каскадов основного усиления каскада на $T1$, $MC1$, $T2$, повторителя на $T3$ — $T6$ и схемы порогового устройства на $T7$, $T8$.

Первый каскад основного усиления избирательный с контуром $L1$, $C2$ в цепи стока полевого транзистора $T1$. Входной сигнал подается на затвор транзистора через $C1$. Диоды $D2$, $D4$ — защитные. Диоды $D1$, $D3$ ограничивают максимальную величину сигнала на контуре. Резистор $R1$ определяет полосу пропускания контура. Резистор $R2$ привязывает затвор к истоку по постоянному току. Резистор $R3$ служит для формирования частотной характеристики каскада, а резистор $R4$ — для стабилизации коэффициента усиления. Питание каскада по постоянному току осуществляется от источника напряжения $+20 В$ через фильтр $R5$, $C4$.

Второй избирательный каскад построен на микросхеме $MC1$ с контуром $L2$, $C5$ в цепи обратной связи. Резистор $R7$ определяет полосу пропускания контура. Резисторы $R6$, $R9$ определяют коэффициент усиления и частотно-фазовую характеристику каскада на низких и высоких частотах. Питание каскада по постоянному току осуществляется через фильтр $R8$, $C7$ и стабилитроны $D7$, $D8$.

Последний каскад усиления собран на транзисторе $T2$. Коллектор транзистора через $R11$ и фильтр $R15$, $C13$ соединен к источнику постоянного напряжения $+20 В$, а эмит-

положительной и отрицательной индуктивности с потерями по последовательной схеме замещения, выраженными в форме тангенса угла потерь или активного сопротивления;

активного сопротивления с последовательной реактивной составляющей, выраженной в форме положительной или отрицательной индуктивности;

активной проводимости с параллельной реактивной составляющей, выраженной в форме положительной или отрицательной емкости.

2.3. Амплитудные значения напряжения на измеряемом объекте и тока через него не превышают соответственно $4,3 В$ и $4,3 мА$.

2.4. В приборе обеспечена возможность подачи на измеряемый объект поляризующего напряжения в пределах от $0,5$ до $20 В$ от источника с внутренним сопротивлением от $0,8$ до $1 кОм$ и тока подмагничивания в пределах от $0,5$ до $20 мА$ от источника с внутренним сопротивлением от $0,8$ до $1 кОм$.

Погрешность установки напряжения и тока не превышает $\pm 15 \%$ от конечного значения шкалы прибора.

2.5. Прибор обеспечивает автоматический и ручной выбор пределов измерения.

Измерения с подачей на измеряемый объект поляризующего напряжения или тока подмагничивания производятся только при ручном выборе пределов измерения.

2.6. Пределы измеряемых величин:

| | |
|---|------------------------------|
| а) при использовании кабеля соединительного 4.853.338-01 | |
| емкости (С) | $\pm (0,01 пФ — 100 мкФ)$; |
| индуктивности (L) | $\pm (0,1 мкГн — 1000 Гн)$; |
| сопротивления (R) | $1 мОм — 10 МОм$; |
| проводимости (G) | $0,1 нСм — 1 См$; |
| тангенса угла потерь (tgδ) | $1 \cdot 10^{-4} — 1$; |
| б) при использовании устройства присоединительного 3.669.014-01 | |
| емкости | $\pm (1 пФ — 1 мкФ)$; |
| индуктивности | $\pm (20 мГн — 10 Гн)$; |
| сопротивления | $0,1 Ом — 10 МОм$; |
| проводимости | $0,1 нСм — 1 мСм$; |
| тангенса угла потерь | $2 \cdot 10^{-3} — 1$; |

в) при измерениях с подачей поляризирующего напряжения и тока подмагничивания с кабелем соединительным 4.853.338-01

| | |
|----------------------|--|
| емкости | $\pm (0,01 \text{ нФ} - 100 \text{ мкФ});$ |
| индуктивности | $\pm (0,1 \text{ мкГн} - 10 \text{ Гн});$ |
| сопротивления | $1 \text{ МОм} - 10 \text{ МОм};$ |
| проводимости | $0,1 \text{ нСм} - 1 \text{ См};$ |
| тангенса угла потерь | $1 \cdot 10^{-4} - 1.$ |

2.7. Основные погрешности измерения величин с кабелем соединительным 4.853.338-01 не превышают:

емкости от 0,01 нФ до 10 мкФ

положительной

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + 0,5 \text{ tg} \delta) C_{\text{изм}} + 0,01 \text{ нФ} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}];$

отрицательной

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \text{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 0,01 \text{ нФ} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}];$

положительной и отрицательной емкости от 10 до 100 мкФ

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1,5 + \text{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}];$

положительной и отрицательной индуктивности

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \text{tg} \delta) L_{\text{изм}} + 0,1 \text{ мкГн} + 1 \cdot 10^{-4} L_{\text{к}}];$

сопротивления

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \text{tg} \varphi) R_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} R_{\text{к}}];$

проводимости

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \text{tg} \varphi) G_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} G_{\text{к}}];$

тангенса угла потерь положительной емкости от 10 нФ до 10 мкФ $\pm (5 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ tg} \delta);$

тангенса угла потерь положительной и отрицательной индуктивности больше 100 мкГн, а также положительной емкости от 10 до 100 мкФ и отрицательной емкости больше 10 нФ $\pm (1 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ tg} \delta).$

Погрешности измерения тангенса угла потерь конденсаторов с емкостью меньше 10 нФ и катушек индуктивности с индуктивностью меньше 100 мкГн не гарантируются.

Здесь $C_{\text{изм}}, L_{\text{изм}}, R_{\text{изм}}, G_{\text{изм}}$ — измеренные прибором значения емкости, индуктивности, сопротивления и проводимости соответственно,

$C_{\text{к}}, L_{\text{к}}, R_{\text{к}}$ и $G_{\text{к}}$ — конечные значения измеряемых на каждом из пределов емкости, индуктивности, сопротивления и проводимости, приведенные в табл. 1.

T13, и напряжение на выход генератора подается через делители R15, R25 либо R15, R29 уменьшенным в 100 или 1000 раз соответственно. Резистор R30 служит для подгонки суммарного сопротивления R29 и сопротивления открытого триода T13 до величины 1 Ом путем регулирования величины отпирающего транзистор T13 тока.

6.2. Усилители операционные 2.032.003 ЭЗ и 2.032.367 ЭЗ

6.2.1. Усилитель операционный напряжения 2.032.003 ЭЗ

Усилитель операционный напряжения состоит из каскада предварительного усиления на MC1, трех каскадов основного усиления сигнала на T1, MC2, T2 и повторителя на T3 — T6.

Предварительный усилитель служит для получения малого входного сопротивления путем охвата усилителя параллельной отрицательной обратной связью через резистор R3. Диоды Д1, Д2 — защитные. Резисторы R1 и R2 задают определенный потенциал на 4 и 10 выводы MC1. Конденсаторы C1 и C2 формируют частотно-фазовую характеристику усилителя на высоких частотах. Питание каскада осуществляется от источника напряжения +20 В через резистор R4 и стабилитроны Д3, Д4. Конденсатор C3 — фильтрующий.

Первый каскад основного усиления избирательный с контуром L1, C5 в цепи стока полевого транзистора T1. Входной сигнал подается на затвор транзистора через C4. Диоды Д6, Д8 — защитные. Диоды Д5, Д7 ограничивают максимальную величину сигнала на контуре. Резистор R5 определяет полосу пропускания контура. Резистор R6 привязывает затвор к истоку по постоянному току. Резистор R7 служит для формирования частотной характеристики каскада, а резистор R8 — для стабилизации коэффициента усиления. Питание каскада по постоянному току осуществляется от источника напряжения +20 В через фильтр R9, C7.

Второй избирательный каскад построен на микросхеме MC2 с контуром L2, C8 в цепи обратной связи. Резистор R11 определяет полосу пропускания контура. Резисторы R9, R13 определяют коэффициент усиления и частотно-фазовую характеристику каскада на низких и высоких частотах. Питание каскада по постоянному току осуществляется через фильтр R12, C10 и стабилитроны Д11, Д12.

Последний каскад усиления собран на транзисторе T2. Коллектор транзистора через R15 и фильтр R19, C16 подсо-

МНОГО от ФДР. Команда, формируемая этими информациями на схеме И-4, разрешает прохождение импульсов от генератора 10 Гц через схему И-1 на триггер знака реактивности Т-1, меняющий высвечиваемый на цифровом табло прибора знак измеряемой реактивности на обратный.

Одновременно с этим реверсируется обмотка компаратора токов, по которой протекает ток образцового конденсатора и фаза усилителя опорного напряжения реактивной составляющей меняется на противоположную.

6. УСТРОЙСТВО И РАБОТА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИБОРА

6.1. Генератор 1000 Гц 3.265.020 ЭЗ

Задающий генератор собран на транзисторе Т1. Контур генератора образуется индуктивностью L1 и конденсаторами С2—С6. Индуктивность L1 выполнена с отводами для грубой подгонки частоты. Конденсатор С6 подключен к средней точке потенциометра (2.724.007 ЭЗ), являющегося нагрузкой эмиттерного повторителя Т2, и образует вместе с ним цепь плавной установки частоты генератора. Через конденсатор С7 напряжение с эмиттера Т2 поступает на разъем КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ. Резисторы R7 и R8 образуют делитель 1 : 10, с которого напряжение подается на выходной каскад, собранный на триодах Т3, Т4. Резисторы R15 и R21, R25, R29 образуют делитель 1 : 10, 1 : 100, 1 : 1000. Транзисторы Т5—Т7, Т8—Т10, Т11—Т13 образуют ключевые каскады, переключающие элементы вышеупомянутого делителя.

Триоды Т7, Т10, Т13—собственно ключи, триоды Т5, Т6; Т8, Т9; Т11, Т12—буферные каскады. На I—IV пределах измерения на базы триодов Т5, Т8, Т11 поступают логические нули (0—+0,5 В), транзисторы Т6, Т9 и Т12 заперты, вследствие чего заперты и транзисторы Т7, Т10 и Т13. Напряжение с выходного каскада через резистор R15 поступает на выход генератора. На V пределе измерения на базу триода Т5 поступает логическая единица (+2,4—+5,5 В), триоды Т6, а следовательно, и Т7 отпираются, и резистор R21 оказывается подключенным к земляной шине. В этом случае на выход генератора подается напряжение, уменьшенное в 10 раз делителем R15, R21. Аналогично этому на VI и VII пределах поступают логические единицы на базы триодов Т8 или Т11 соответственно, что приводит к отпираанию триодов Т10 или

$\operatorname{tg} \delta$ — измеренное прибором значение тангенса угла потерь измеряемой реактивности или величина, рассчитываемая по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{G_{\text{изм}}}{\omega C_{\text{изм}}} \quad \text{— при измерениях проводимости и емкости}$$

или

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_{\text{изм}}}{\omega L_{\text{изм}}} \quad \text{— при измерениях сопротивления и индуктивности,}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega C_{\text{изм}}}{G_{\text{изм}}} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L_{\text{изм}}}{R_{\text{изм}}}, \quad \text{где } C_{\text{изм}}, L_{\text{изм}}, R_{\text{изм}},$$

$G_{\text{изм}}$ — в фарадах, генри, омах и сименсах соответственно;

$$\omega = 2 \pi f; \quad f = 1000 \text{ Гц}$$

Таблица 1

| Номер предела | Конечные значения измеряемых величин | | | |
|------------------|--------------------------------------|------------|-----------|------------|
| | C_k | L_k | R_k | G_k |
| I | 99.99 нФ | 999.9 Гн | 9.999 МОм | 999.9 нСм |
| II | 999.9 нФ | 99.99 Гн | 999.9 кОм | 9.999 мкСм |
| III | 9.999 нФ | 9.999 Гн | 99.99 кОм | 99.99 мкСм |
| IV | 99.99 нФ | 999.9 мГн | 9.999 кОм | 999.9 мкСм |
| V | 999.9 нФ | 99.99 мГн | 999.9 Ом | 9.999 мСм |
| VI | 9.999 мкФ | 9.999 мГн | 99.99 Ом | 99.99 мСм |
| VII | 99.99 мкФ | 999.9 мкГн | 9.999 Ом | 999.9 мСм |

2.8. Основные погрешности измерения величин с устройством присоединительным 3.669.014-01 не превышают:

положительной и отрицательной емкости
 $\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 1 \text{ нФ} + 1 \cdot 10^{-4} C_k];$

положительной и отрицательной индуктивности
 $\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \operatorname{tg} \delta) L_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} L_k];$

сопротивления

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \operatorname{tg} \varphi) R_{\text{изм}} + 0,1 \text{ Ом} + 1 \cdot 10^{-4} R_k];$

проводимости

$$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \operatorname{tg} \varphi) G_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} G_{\text{к}}];$$

тангенса угла потерь положительной и отрицательной индуктивности и емкости более 10 нФ:

$$\pm (2 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta).$$

2.9. Основные погрешности измерения величин с кабелем соединительным 4.853.338-01 и устройством присоединительным 3.669.014-01 при подаче поляризирующего напряжения или тока подмагничивания не превышают значений, указанных в пп. 2.7 и 2.8.

2.10. Дополнительные погрешности измерения величин в интервале рабочих температур на каждые 10 °С отклонения температуры от нормальной не превышают:

емкости от 0,01 нФ до 10 мкФ

положительной

$$\pm [2,5 \cdot 10^{-4} (2 + \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}],$$

отрицательной

$$\pm [5 \cdot 10^{-4} (1 + \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}];$$

положительной и отрицательной емкости от 10 до 100 мкФ

$$\pm [7 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-4} \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}];$$

положительной и отрицательной индуктивности

$$\pm [5 \cdot 10^{-4} (1 + \operatorname{tg} \delta) L_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} L_{\text{к}}];$$

сопротивления

$$\pm [5 \cdot 10^{-4} (1 + \operatorname{tg} \varphi) R_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} R_{\text{к}}];$$

проводимости

$$\pm [5 \cdot 10^{-4} (1 + \operatorname{tg} \varphi) G_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} G_{\text{к}}];$$

тангенса угла потерь положительной емкости от 10 нФ до 10 мкФ

$$\pm (2,5 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta);$$

тангенса угла потерь положительной и отрицательной индуктивности больше 100 мкГн, а также положительной емкости от 10 до 100 мкФ и отрицательной емкости

$$\pm (5 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta).$$

МАЛО, ВЕРНО РС или 9999, МАЛО, ВЕРНО АС, а также сигнал «отсутствие опорного», являющиеся командами на переключение предела в сторону увеличения его номера в режиме С, G, теперь будут переключать предел в сторону уменьшения его номера, а команда БАЛАНС, 099 по РС, 099 по АС будет командой на увеличение номера предела. Это легко понять, так как на первых высокоомных пределах измеряются маленькие емкости и большие индуктивности, а пределы с большим номером соответствуют измерению больших емкостей и маленьких индуктивностей.

5.3.2. Выбор пределов измерения в режимах С, $\operatorname{tg} \delta$ или L, $\operatorname{tg} \delta$

В этих режимах выбор пределов измерения определяется информацией только о реактивной составляющей. Команды ПЕРЕГРУЗКА и ОТСУТСТВИЕ ОПОРНОГО сохраняют свои функции, описанные в п. 5.3.1.

Увеличение номера предела в режиме С, $\operatorname{tg} \delta$ происходит, если получена информация 9999, ВЕРНО, МАЛО по РС, формируемая схемой И-15. Уменьшение номера предела осуществляется командой 0990, МНОГО, ВЕРНО РС, поступающей на счетчик пределов со схемы И-3 через ИЛИ-11.

В режиме L, $\operatorname{tg} \delta$ операции, выполняемые этими командами, меняются местами. Схема И-3 при возникновении информации 0990, ВЕРНО РС, $\operatorname{tg} \delta$, МНОГО РС, через схему И-19 запирает схему СЗР и прекращает доступ счетных импульсов на счетчик РС. Указанный запрет снимается через схемы И-17, И-18, ИЛИ-12 в случае работы прибора на I пределе в режиме С, $\operatorname{tg} \delta$ или на VII пределе в режиме L, $\operatorname{tg} \delta$. Если при измерении сложилась ситуация 0990, $\operatorname{tg} \delta$, I предел, VII предел, то схемой И-8 через ИЛИ-7 и ИЛИ-8 производится установка 0999 по реактивной составляющей. Установки верхней и нижней граней предела (9999, 0999) по активной составляющей в режиме $\operatorname{tg} \delta$ не производятся (шины установок разрываются переключателем G, R — $\operatorname{tg} \delta$).

5.3.3. Выбор знака измеряемой реактивности

Определение знака измеряемой реактивности производится как вручную, так и автоматически в режиме С, G и L, R и только вручную в режиме С, $\operatorname{tg} \delta$ или L, $\operatorname{tg} \delta$. В режиме измерений С, G или L, R автоматический выбор знака осуществляется по информации 0000 от реверсивного счетчика РС и

Первая из информации означает, что мост сбалансирован и на цифровом табло по обеим составляющим получен результат меньше 0990. Если цифровой отсчет результата измерения лежит в пределах 0990—0999, смены предела не произойдет, прибор будет выдавать измеренное значение с нулем впереди.

Введение информации об отсутствии опорного напряжения связано с необходимостью исключения возможности неправильного выбора предела в случаях, когда опорное напряжение фазовых детекторов становится недостаточным для их четкой работы.

Из рис. 13а можно видеть, что, если к прибору подключен высокоомный измеряемый объект Z_x , а от предыдущего измерения остался включенным низкоомный предел, то опорное напряжение фазовых детекторов, снимаемое с точки С, может существенно уменьшиться. Фазовые детекторы при этом могут выдать ложную информацию о разбалансе мостовой схемы, поэтому появление информации об отсутствии опорного напряжения в режиме L, R служит командой на переход к более высокоомным пределам измерения (в сторону уменьшения номера). В режиме С, G (см. рис. 13б) опорное напряжение исчезает, если измеряемый объект более низкоомный, чем включенный предел измерения. В этом случае команда «отсутствие опорного» должна приводить к смене предела в сторону увеличения номера. Информация «отсутствие опорного» используется для установки верхней грани предела 9999 на реверсивных счетчиках РСА и РСР (ИЛИ-7, ИЛИ-6).

Информация 099 по РС выдается реверсивным счетчиком реактивной составляющей и формируется схемами НЕ-1, НЕ-2, ИЛИ-3. Информация 099 по АС выдается реверсивным счетчиком активной составляющей и формируется схемами НЕ-3, НЕ-4, ИЛИ-5.

Команда на смену предела со схемы И-7 поступает на реверсивный счетчик пределов через схему ИЛИ-11 и переключатель С, G — L, R. Все команды, управляющие сменой предела, поступают, кроме того, на схему ИЛИ-14 и через нее на И-16, разрешая прохождение счетных импульсов от генератора 50 Гц на вход счетчика пределов.

Измерение объектов в режиме L, R происходит аналогичным образом, за исключением того, что информации 9999,

2.11. Время измерения прибором не превышает 1 с.

2.12. Прибор выдает информационные сигналы о результатах измерения в коде 8-4-2-1 и управляющий сигнал «Запрет-разрешение» (конец измерения).

Прибор может запускаться сигналом «Запрет-разрешение» (Запуск Е7-8) от внешнего устройства.

Уровни сигналов:

логический «0» — (0—0,5) В,

логическая «1» — (2,4—5,5) В,

опорный «0» — (0—0,5) В,

опорная «1» — (2,2—2,6) В,

«Запрет-разрешение» — (2,4—5,5) В.

2.13. Нестабильность результатов измерений одного и того же измеряемого объекта не превышает $\pm(3 \cdot 10^{-4} A_{изм} + 1 \cdot 10^{-4} B_k)$ для емкости, индуктивности, сопротивления и проводимости и $\pm(1 \cdot 10^{-4} + 1,5 \cdot 10^{-8} \text{tg}\delta)$ для тангенса угла потерь, где

$A_{изм}$ — измеренное прибором значение емкости или индуктивности, или сопротивления, или проводимости.

B_k — конечное значение предела измеряемой величины, приведенное в табл. 1.

2.14. Прибор имеет два режима работы: следящий режим и режим одиночного измерения.

2.15. В приборе может быть установлен счетчик времени наработки с предельной величиной отсчета времени не менее 2 500 ч.

2.16. Время установления рабочего режима прибора 1 мин., в условиях повышенной влажности 1 ч.

2.17. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц и содержанием гармоник до 5 %.

2.18. Мощность, потребляемая прибором от сети при номинальном напряжении, не превышает 85 В · А.

2.19. Габаритные размеры прибора 490×216×480 мм. Габаритные размеры прибора в ящике укладочном 640×295×545 мм. Габаритные размеры принадлежностей и ЗИП прибора в ящике укладочном 330×165×240 мм.

Габаритные размеры прибора в ящике транспортном приведены в таблице на рис. 27.

2.20. Масса прибора не более 30 кг.

Масса прибора с ящиком укладочным не более 45 кг.

Масса ЗИП и принадлежностей не более 5 кг.

Масса прибора с тарой транспортной не более 70 кг.

2.21. Прибор допускает непрерывную работу в течение 8 ч в рабочих условиях. После 8 ч работы повторное включение прибора производится с перерывом не менее 1 ч.

2.22. Условия эксплуатации прибора нормальные условия:

температура воздуха, К (°С) 293 ± 5 (20 ± 5);

относительная влажность воздуха, % 65 ± 15 ;

атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) 100 ± 4 (750 ± 30);

напряжение питающей сети, В $220 \pm 4,4$;

частота питающей сети, Гц $50 \pm 0,5$;

содержание гармоник питающей сети, % до 5;

рабочие условия:

температура воздуха, К (°С) от 278 до 313 (от 5 до 40);

относительная влажность воздуха до 95 % при температуре 303 К (30 °С);

предельные условия (прибор в нерабочем состоянии):

температура воздуха, К (°С) от 223 до 333 (от минус 50 до плюс 60).

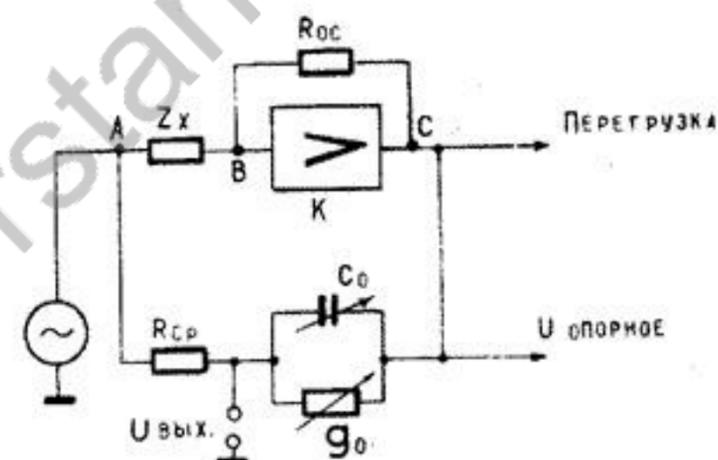
Время выдержки прибора после пребывания в условиях предельных температур не менее 4 ч в выключенном состоянии.

2.23. Нарботка на отказ прибора не менее 3 000 часов.

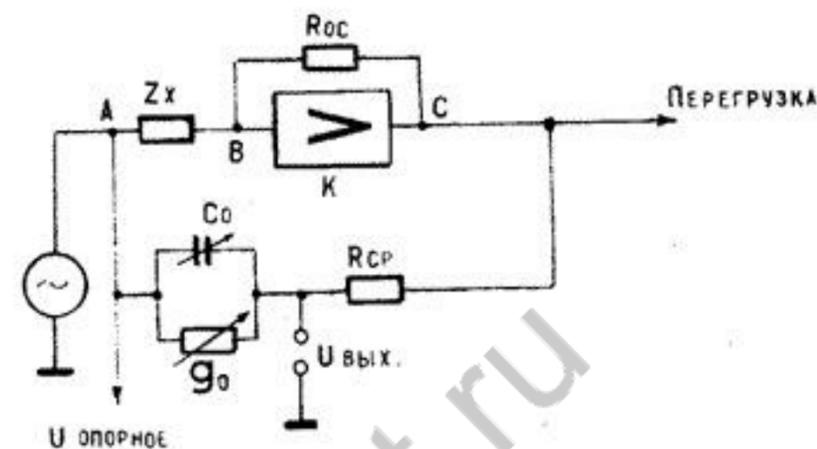
2.24. Срок службы прибора 10 лет.

2.25. Технический ресурс прибора 10 000 часов.

Другие три команды, определяющие переход к пределу с большим номером, поступают на реверсивный счетчик пределов через схему ИЛИ-10, переключатель С, G — L, R и ИЛИ-13. Поступление импульсов с генератора 50 Гц разрешается этими же командами через схемы ИЛИ-14 и И-16.



а) РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ L, R



б) РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ C, G

Рис. 13. Упрощенные схемы моста

Смена предела в сторону уменьшения его номера (к более высокоомному) происходит, если получена одна из информации:

- баланс, 099 по РС, 099 по АС (схема И-7),
- отсутствие ОПОРНОГО в режиме L, R.

— «перегрузка»;

— отсутствие опорного напряжения в режиме С, G.

Команды, 9999, 0999, 0990, 099 связаны с различным состоянием реверсивных счетчиков. $\overline{099}$ означает «меньше 0990». Сигнал «мало» («много») означает, что для достижения баланса моста показания счетчика необходимо увеличить (уменьшить). Сигнал «верно» свидетельствует о правильности сформированных команд «мало», «много», которые могут быть искажены за счет наличия взаимосвязи контуров уравновешивания моста.

Информация 9999 и «мало» по реактивной составляющей формируется схемой И-5, по активной составляющей — схемой И-6, причем информация о переполнении 9999 приходит с соответствующего 4-декадного реверсивного счетчика, а «мало» — с соответствующего триггера реверса ТРР с ключом К-2 или ТРА с ключом К-4. Сигналы «верно РС» или «верно АС» приходят со схем сравнения реактивной составляющей СР или активной составляющей СА соответственно.

Необходимость введения команды «перегрузка» для переключения предела измерения становится очевидной, если рассмотреть схему измерения, представленную на рис. 13.

Если от предыдущего измерения остался включенным высокоомный предел (предел с меньшим порядковым номером), то при подключении низкоомного объекта может возникнуть перегрузка операционного усилителя тока К. Таким образом, появление сигнала о перегрузке операционного усилителя однозначно говорит о том, что нужно увеличить номер включенного предела, то есть перейти на более низкоомный предел измерения, где перегрузка исчезнет. Сигнал перегрузки снимается с выхода операционного усилителя тока и через схему ИЛИ-13 поступает на счетчик пределов и через И-13 и И-14 на схемы установок верхней и нижней граней (ИЛИ-6, ИЛИ-7, ИЛИ-8). Грань 9999 устанавливается при перегрузке в режиме С, G, 0999 — при перегрузке в режиме L, R. При ручном выборе пределов в режиме L, R и возникновении перегрузки схемы И-10 и ИЛИ-8 вырабатывают сигналы установке 0000, что говорит оператору о том, что надо переключить переключатель выбора пределов в сторону увеличения номера.

3. СОСТАВ ПРИБОРА

3.1. Состав прибора приведен в табл. 1а.

Таблица 1а

| Наименование | Обозначение | Кол. | Примечание |
|-------------------------------------|--------------|------|---|
| 1. Измеритель L, C, R цифровой E7-8 | 2.724.007 | 1 | |
| 2. Кабель соединительный | 4.853.338-01 | 1 | |
| 3. Устройство присоединительное | 3.669.014-01 | 1 | |
| 4. Шнур соединительный | 4.860.083 | 1 | |
| 5. Кабель соединительный | 4.853.609* | 2 | Для подсоединения «Компаратора кодов» типа 202 |
| 6. Кабель соединительный | 4.853.426 | 2 | Для подсоединения объектов 4-зажимной конструкции |
| 7. Ящик укладочный | 4.161.033-01 | 1 | Для прибора |
| 8. Ящик | 4.161.053 | 1 | Для ЗИП и принадлежностей |
| 9. Комплект запасных частей: | | | |
| — кабель соединительный | 4.853.338-01 | 1 | |
| — плата коммутационная | 3.662.019-09 | 1 | Для ремонта |
| — плата коммутационная | 3.662.019-17 | 1 | Для ремонта |
| — реле | 4.500.025 | 2 | |
| — вставка плавкая ВП1-1А-250 В | | 2 | |
| — вилка РПМ7-24Ш-ПВ | | 1 | Для подключения к разъему КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ |

Продолжение табл. 1а

| Наименование | Обозначение | Кол. | Примечание |
|--|--------------|------|------------|
| 10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации | 2.724.007 ТО | 1 | Альбом 1 |
| 11. Формуляр | 2.724.007 ФО | 1 | Альбом 2 |
| 12. Измеритель L, C, R цифровой Е7-8. Схемы электрические принципиальные | | 1 | Альбом 3 |

Примечание. Позиция, обозначенная *, поставляется по требованию заказчика.

4. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПРИБОРА

4.1. Схема замещения измеряемых объектов

Конденсаторы, катушки индуктивности и резисторы имеют комплексные сопротивления и могут быть представлены в виде одной из схем замещения (рис. 2а и б).

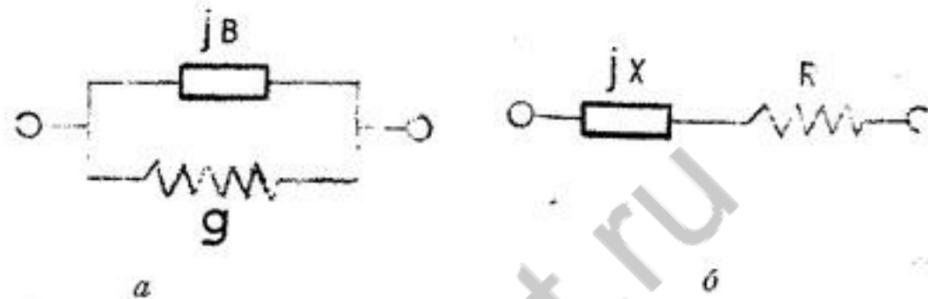


Рис. 2. Схемы замещения измеряемых объектов

При параллельной схеме замещения измеряемый импеданс представляется в виде полной проводимости \bar{y} , составляющие которой (активная проводимость g и реактивная $-jB$) соединены параллельно

$$\bar{y} = g + jB. \quad (1)$$

В режиме слежения запуск прибора осуществляется сигналом разбаланса через ПР2, ИЛИ-1, ИЛИ-4 и И-9. В исходное состояние после достижения мостовой схемой состояния баланса триггер Т2 возвращается через цепь К_г, И-12 и ИЛИ-НЕ.

Переключения реле моста, осуществляющих смену пределов измерения, производится при помощи счетчика пределов, состояние которого определяется положением переключателя «пределы измерений» на передней панели прибора. Информация о номере установленного предела в коде 4-2-1 поступает в блок наименований и блок порядков. Блок наименований выдает сигналы управления индикаторными лампами наименований и лампами — запятыми, с блока порядков снимается информация о порядке измеряемой величины. Оба этих блока представляют собой дешифраторы, структура которых изменяется в зависимости от положений переключателей С, G — L, R; G, R — tgδ и «пределы измерений».

5.3. Измерения в режиме с автоматическим выбором пределов

Автоматический выбор пределов осуществляется реверсивным счетчиком с коэффициентом пересчета, равным 7, путем переключения витков трансформаторов мостовой схемы.

Поиск нужного предела ведется в приборе от того предела, который остался от предыдущего измерения.

Информация о смене предела формируется описываемыми ниже способами.

5.3.1. Выбор пределов измерения в режиме С, G или L, R

В выборе предела измерения в этом режиме участвует информация как об активной, так и о реактивной составляющей измеряемого импеданса.

Для упрощения разбора процесса выбора пределов сначала будет рассмотрен режим измерения С, G, кроме специально оговоренных случаев. Смена предела в сторону увеличения его номера происходит, если получена одна из информации:

- 9999, мало, верно по реактивной составляющей (схема И-15);
- 9999, мало, верно по активной составляющей (схема И-11);

Направление счета РСА и РСР определяется состоянием триггеров реверса ТРР и ТРА, зависящим от полярности напряжений соответствующих фазовых детекторов, поступающих на входы ТРР и ТРА через усилители постоянного тока УПТА и УПТР и пороговые устройства реактивной и активной составляющей ПР1 и ПА1, согласующие по уровням напряжений усилители постоянного тока с триггерами реверса. Сигнал с ТРР и ТРА поступает на ключи К-1, К-2, К-3 и К-4, которые служат для согласования нагрузок триггеров реверса с шинами реверса РСР и РСА, так как триггеры реверса имеют недостаточный коэффициент разветвления.

Поскольку процессы уравнивания мостовой схемы по каждой из составляющих достигаются одинаковыми техническими средствами и происходят одновременно и независимо друг от друга, дальнейшее рассмотрение работы приводится для уравнивания по одной реактивной составляющей, за исключением особо оговоренных случаев.

5.2. Измерения в режиме ручного выбора пределов

Прибор может работать в режимах одиночных измерений (его пуск осуществляется нажатием кнопки ЗАПУСК РУЧНОЙ или от внешнего устройства) и слежения.

При работе в первом из режимов до запуска прибора старт-стопный триггер Т2, воздействуя на схемы СЗА и СЗР, запрещает прохождение счетных импульсов на входы РСР и РСА. При нажатии кнопки ЗАПУСК РУЧНОЙ (или при внешнем запуске) запускающий сигнал через схему ИЛИ-НЕ опрокидывает триггер Т2, и счетные импульсы поступают на входы реверсивных счетчиков декад.

Триггер реверса реактивной составляющей ТРР, ключи К-1, К-2 формируют сигнал, определяющий направление счета. Когда разбаланс мостовой схемы становится меньше половины единицы счета, пороговым устройством ПР2 и схемой ИЛИ-1 формируется сигнал, запрещающий прохождение импульсов через СЗР. Этот же сигнал подается на схему ИЛИ-4 (схемы ИЛИ-1, ИЛИ-2 и ИЛИ-4 выполняют логические функции схем ИЛИ при разрешении запуска и И при формировании команд запрета поступления счетных импульсов).

Если по активной составляющей также достигнут баланс, схема ИЛИ-4 через И-9 устанавливает триггер Т2 в исходное состояние и через ИЛИ-9 гасит индикаторное табло «небаланс».

Если характер реактивной проводимости емкостной, то

$$\bar{y} = g + j\omega C, \quad (2)$$

$$B = \omega C, \quad (3)$$

$\omega = 2\pi f$, где f — частота.

При индуктивном характере реактивной проводимости

$$\bar{y} = g + \frac{1}{j\omega L} = g - j\omega \frac{1}{\omega^2 L}, \quad (4)$$

$$B = -\omega \frac{1}{\omega^2 L} = \omega(-C) \quad (5)$$

и, следовательно, индуктивность при параллельной схеме замещения проявляется в виде отрицательной емкости.

$$-C = -\frac{1}{\omega^2 L}. \quad (6)$$

Таким образом, параллельную схему замещения можно характеризовать активной проводимостью g и положительной или отрицательной емкостью $\pm C$.

При последовательной схеме замещения импеданс \bar{z} представляется в виде последовательного соединения активного R и реактивного сопротивления jX

$$\bar{z} = R + jX. \quad (7)$$

Последовательную схему замещения можно характеризовать активным сопротивлением R и положительной или отрицательной индуктивностью $\pm L$

$$\bar{z} = R \pm j\omega L, \quad (8)$$

причем отрицательная индуктивность означает емкостной характер реактивного сопротивления $\left(-L = -\frac{1}{\omega^2 C}\right)$.

Схемы замещения не всегда соответствуют физической структуре измеряемого объекта, но в основном на частоте 1 кГц физическая структура конденсаторов соответствует параллельной схеме замещения, а катушек индуктивностей — последовательной.

Поэтому прибор Е7-8 измеряет характеристики конденсаторов в виде компонентов параллельной схемы замещения,

а катушек индуктивности — в виде компонентов последовательной схемы.

Очень часто активная составляющая (потери) конденсаторов и катушек индуктивностей характеризуется относительным фактором потерь. Таким фактором для конденсаторов является тангенс угла потерь ($\text{tg}\delta$), а для катушек индуктивностей — добротность (Q).

При введении этих характеристик полная проводимость и полное сопротивление определяются выражениями

$$\bar{y} = \pm j\omega C \left(1 - j \frac{g}{\omega C} \right) = \pm j\omega C (1 - j\text{tg}\delta),$$

где $\text{tg}\delta = \frac{g}{\omega C} = \frac{g}{B},$ (9)

$$\bar{z} = \pm j\omega L \left(1 - j \frac{R}{\omega L} \right) = \pm j\omega L (1 - j\text{tg}\delta),$$

где $\text{tg}\delta = \frac{R}{\omega L} = \frac{1}{Q}.$ (10)

Прибор Е7-8 обеспечивает возможность измерения потерь конденсаторов и катушек индуктивностей как в форме тангенса угла потерь ($\text{tg}\delta$), так и в форме активной проводимости (для конденсаторов) или сопротивления (для катушек индуктивности).

Элементы одной схемы замещения могут быть сосчитаны при известных элементах другой схемы, при этом тангенс угла потерь для каждой из схем одинаков. Формулы пересчета элементов

параллельной схемы
в последовательную

$$\pm X = \mp \frac{B}{g^2 + B^2} = \mp \frac{1}{B(1 + \text{tg}^2\delta)}$$

$$R = \frac{g}{g^2 + B^2}$$

последовательной схемы
в параллельную

$$\pm B = \mp \frac{X}{R^2 + X^2} = \mp \frac{1}{X(1 + \text{tg}^2\delta)}$$

$$g = \frac{R}{R^2 + X^2}$$

Постоянные напряжения с выходов фазовых детекторов, величины которых определяются степенью разбаланса мостовой схемы, а полярности его знаками, поступают на схемы Д1Р и Д1А, выделяющие абсолютные величины составляющих напряжения разбаланса. Эти напряжения проходят через цепь Д2 и сумматоры ΣA и ΣP на входы генераторов счетных импульсов ГИА и ГИР. Генераторы импульсов ГИА и ГИР вырабатывают импульсы, частоты следования которых имеют зависимость от входных напряжений, близкую к показательной функции, так что частоты следования импульсов получаются примерно пропорциональными степеням разбаланса по каждому из параметров. Максимальная частота следования импульсов составляет 500 кГц, вблизи баланса 30 Гц.

Так как усилитель разбаланса УР имеет логарифмическую амплитудную характеристику, выходные напряжения ФДА и ФДР при одновременном разбалансе по обеим составляющим занижены, что может привести к значительному уменьшению частоты следования импульсов ГИА и ГИР и увеличению времени уравнивания.

Для ослабления зависимости напряжения на входе генератора ГИА от разбаланса по реактивной составляющей и на входе ГИР от разбаланса по активной составляющей введена схема, состоящая из Д2, Д1Р, Д1А, ΣP и ΣA .

Схема Д2 выделяет меньший из сигналов, поступающих с Д1Р и Д1А, который в сумматоре ΣP складывается с сигналом разбаланса по реактивной составляющей и в сумматоре ΣA — с сигналом по активной составляющей.

Импульсы генераторов через схемы запрета СЗА и СЗР поступают на 4-декадные реверсивные счетчики РСА и РСР, управляющие коммутацией уравнивающих элементов ИС.

Схемы запрета СЗА и СЗР запрещают прохождение импульсов на реверсивные счетчики в следующих случаях:

- а) на время смены предела измерения;
- б) до нажатия кнопки КН-1 в режиме ручного запуска;
- в) на реверсивные счетчики той составляющей, по которой достигнут баланс, или
 - получена информация 0000 и много (перебаланс), или
 - получена информация 9999 и мало (недобаланс) по соответствующему параметру.

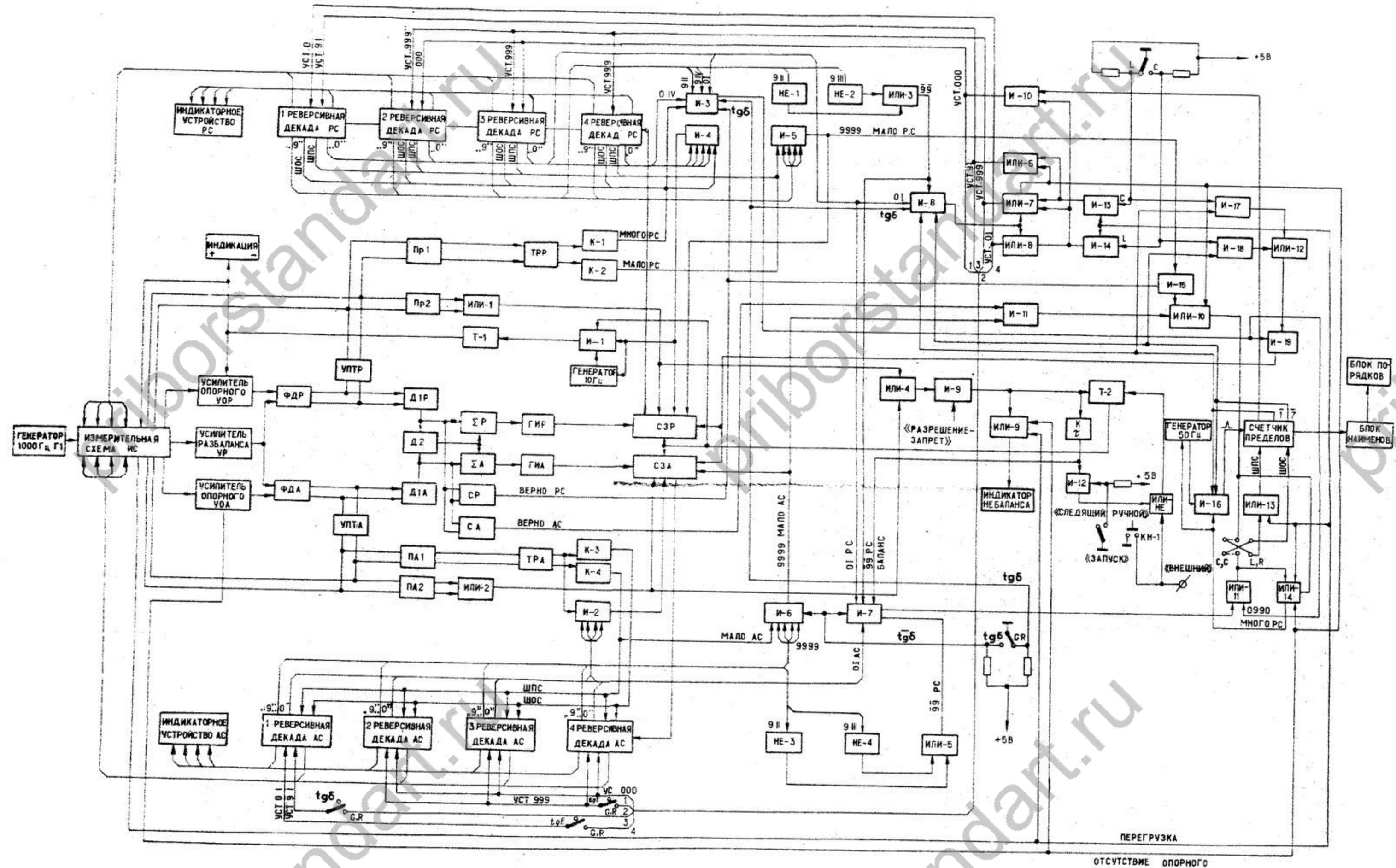


РИС. 12. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПРИБОРА.

Узлы прибора выполнены на печатных платах, которые при ремонте могут быть вынуты из разъемов и включены в схему через придаваемые коммутационные платы.

Для снятия блока питания необходимо вывернуть 4 винта со стороны задней панели и по 2 винта из боковых стенок корпуса, вынуть разъем питания.

Для доступа к разъемам печатных плат, установленных на поворотном шасси, необходимо снять блок питания, вывернуть из боковых стенок каркаса по одному винту и винт, расположенный в центре шасси, после чего повернуть шасси с печатными платами к задней стенке.

Для доступа к блоку моста необходимо снять нижнюю крышку прибора.

Для съема плат усилителя достаточно вывернуть два крепящих плату винта, приподнять ее кверху и вынуть из разъема.

Перед установкой прибора в шкаф вывернуть винты, расположенные между держателями пломб на боковых стенках, и с их помощью закрепить на боковых стенках прибора элементы крепления (угольники) из комплекта системы.

5. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ПРИБОРА

(Рис. 12, вклейная)

5.1. Формирование регулирующих воздействий

Измерительная схема (ИС) питается синусоидальным напряжением частотой 1000 Гц от генератора Г1. Напряжение небаланса усиливается узкополосным услителем с логарифмической амплитудной характеристикой (УР) и поступает на входы фазовых детекторов активной (ФДА) и реактивной (ФДР) составляющих.

Применение усилителя разбаланса с логарифмической амплитудной характеристикой обусловлено тем, что при формировании регулирующих воздействий используется не только информация о фазе напряжения небаланса, но и об амплитуде напряжения небаланса, уровень которой меняется в широких пределах.

Опорные напряжения на фазовые детекторы ФДА и ФДР подаются через усилители УОА и УОР.

4.2. Конструктивное выполнение измеряемых объектов и возможности измерения прибором Е7-8

Конденсаторы, катушки индуктивности и резисторы в основном выполняются в виде двухполюсников. Однако нередки случаи более сложного конструктивного выполнения объектов измерения.

В частности, если конденсатор (катушка индуктивности или резистор) помещен в изолированный от его выводов экран (рис. 3а), то объект представляет трехэлектродную конструкцию с эквивалентной схемой (рис. 3б).

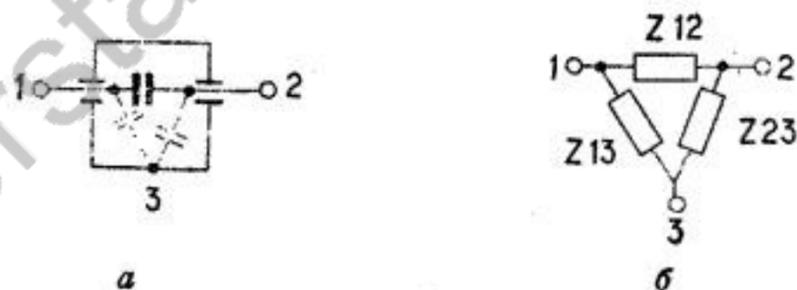


Рис. 3. Схема конденсатора трехэлектродной конструкции

Как правило, потребителя интересует проходной импеданс этой схемы (Z_{12}). Частичные импедансы Z_{13} и Z_{23} могут вносить при этом в измерения Z_{12} некоторую погрешность.

Для устранения влияния выводов резисторы с малым сопротивлением выполняются с четырьмя выводами (токовые J, J' и потенциальные U, U' выводы) и также заключаются в экран (рис. 4а). В этом случае объект представляет пятиэлектродную конструкцию (рис. 4б), в которой интересующим потребителя импедансом является импеданс Z_{12} , а остальные должны быть исключены при измерениях.

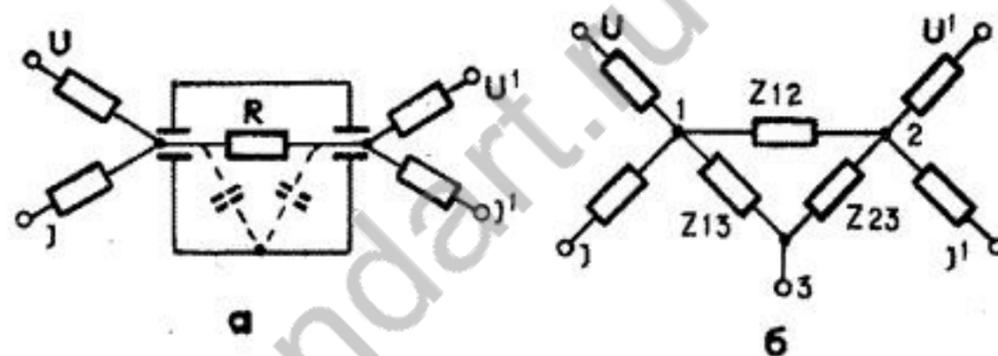


Рис. 4. Эквивалентная схема объекта пятиэлектродной конструкции

В приборе E7-8 обеспечивается возможность измерения импедансов любой из перечисленных конфигураций. При этом при трехэлектродной и пятиэлектродной конструкциях измеряемого объекта обеспечивается возможность измерения проходного импеданса Z_{12} .

4.3. Структурная схема прибора (рис. 5)

В основе измерения прибором лежит мостовой метод с фазочувствительными детекторами уравнивания.

Питание моста осуществляется от генератора 1000 Гц. Напряжение разбаланса мостовой схемы через усилитель сигнала разбаланса поступает на входы фазовых детекторов активной (АС) и реактивной (РС) составляющих. Опорные напряжения фазовых детекторов снимаются с мостовой схемы и выбираются такими, чтобы связь контуров уравнивания была минимальной. Выходные напряжения разбаланса с фазовых детекторов подаются на реверсивные счетчики,

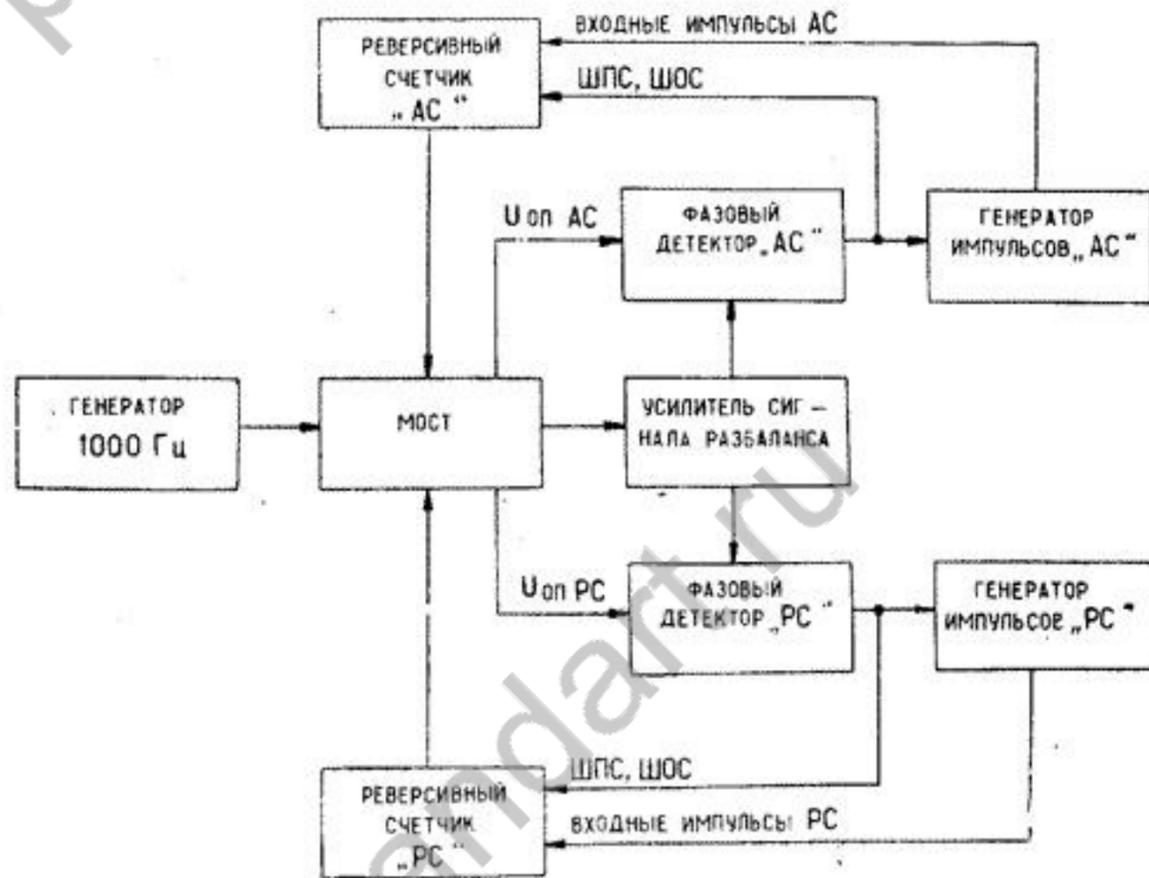


Рис. 5. Структурная схема прибора

— органы запуска прибора: тумблер ЗАПУСК, кнопка одиночного запуска РУЧНОЙ и гнездо внешнего запуска ВНЕШНИЙ;

— два переключателя ВИД ИЗМЕРЕНИЙ, каждый на два положения;

— переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ на 8 положений;

— четыре гнезда J, U, J', U' для включения соответствующих разъемов соединительных кабелей;

— переключатель знака реактивности ЗНАК C, L на 3 положения;

— органы задания измеряемому объекту режимов по постоянному току: стрелочный прибор, переключатель U ПОЛЯР., J ПОДМАГН. на три положения и переменный резистор для регулировки напряжения поляризации и тока подмагничивания;

— тумблер СЕТЬ;

— клемма защитного заземления.

На задней панели прибора расположены:

— разъемы ВЫХОДЫ НА РЕГИСТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО по реактивной и активной составляющей;

— разъем КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ;

— гнездо ЗАПУСК для внешнего запуска прибора при работе в системе;

— органы регулировки образцового конденсатора C, тангенса угла потерь измеряемых реактивностей $\text{tg} \delta$ и частоты генератора 1000 Гц;

— вставки плавкие на 1 А;

— разъем кабеля питания 220 В 50 Гц;

— клемма корпусная;

— электрохимический счетчик машинного времени ЭСВ-2,5-12,6-1, который может быть сменен после наработки 2500 часов путем отвинчивания двух крепящих гаек и перепайки с соблюдением полярности проводов питания.

Корпус прибора закрыт верхней, нижней и боковыми крышками. Для вскрытия прибора необходимо снять боковые крышки и вывернуть из боковых стенок каркаса винты, стопорящие пружины, удерживающие верхнюю и нижнюю крышки. Затем, одновременно нажав на фиксирующие пружины одной из крышек, свободно снять ее.

большие погрешности измерения. На пределах 3—7 ток подмагничивания протекает максимум через 10 витков и практически не создает погрешностей измерения.

Контроль поляризующего напряжения и тока подмагничивания осуществляется встроенным прибором с пределами измерения напряжения до 20 В и тока до 20 мА.

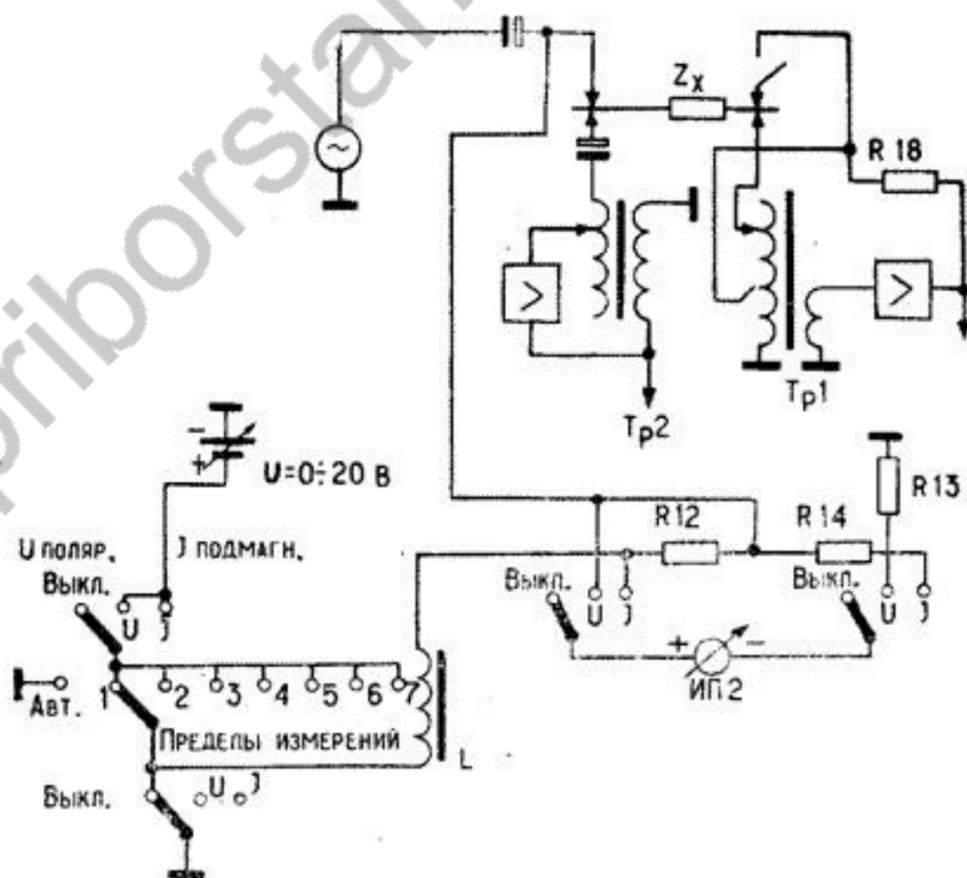


Рис. 11. Подача поляризующего напряжения или тока подмагничивания

4.5. Конструкция

Прибор выполнен в настольном переносном варианте в бесфутлярном оформлении. Предусмотрена возможность установки прибора в шкаф системы.

Органы управления и отсчета прибора, расположенные на передней панели:

— цифровое табло, на котором выдаются результаты измерения;

управляющие состоянием органов уравнивания мостовой схемы, и на генераторы импульсов, задающие скорость счета реверсивных счетчиков. Направление счета реверсивных счетчиков определяется знаком напряжения разбаланса фазового детектора, скорость счета — величиной этого напряжения. Чем дальше мост от состояния равновесия, то есть больше напряжение разбаланса, тем больше частота следования импульсов от генераторов АС и РС, тем больше скорость счета реверсивного счетчика и, следовательно, быстрее процесс уравнивания моста. По мере приближения к балансу напряжение разбаланса уменьшается, вследствие чего замедляется скорость уравнивания моста. Для пуска и остановки системы дискретного уравнивания имеется вспомогательная система аналогового уравнивания (САУ), плавно уравнивающая мост в пределах $\pm 0,6$ единицы дискретности (на рис. 5 она для простоты опущена). При наличии разбаланса большего 0,6 единицы дискретности САУ находится в состоянии ограничения и происходит дискретное уравнивание моста. По достижении разбаланса, не превышающего $\pm 0,6$ единицы дискретности, САУ выходит из состояния ограничения и останавливает работу схемы дискретного уравнивания моста.

4.4. Измерительная схема прибора

4.4.1. Упрощенная схема моста (рис. 6)

Измерительная схема прибора представляет собой четырехплечий мост с трансформаторами с тесной индуктивной связью и операционными усилителями К1, К2, К3. Изменение схемы, обеспечивающее переход от измерения объектов с емкостным характером реактивности к измерению объектов индуктивного характера, достигается сменой положения переключателя С, G — L, R. Измерение потерь в виде активной составляющей (G, R) или тангенса угла потерь ($\operatorname{tg}\delta$) определяется установкой переключателя G, R — $\operatorname{tg}\delta$.

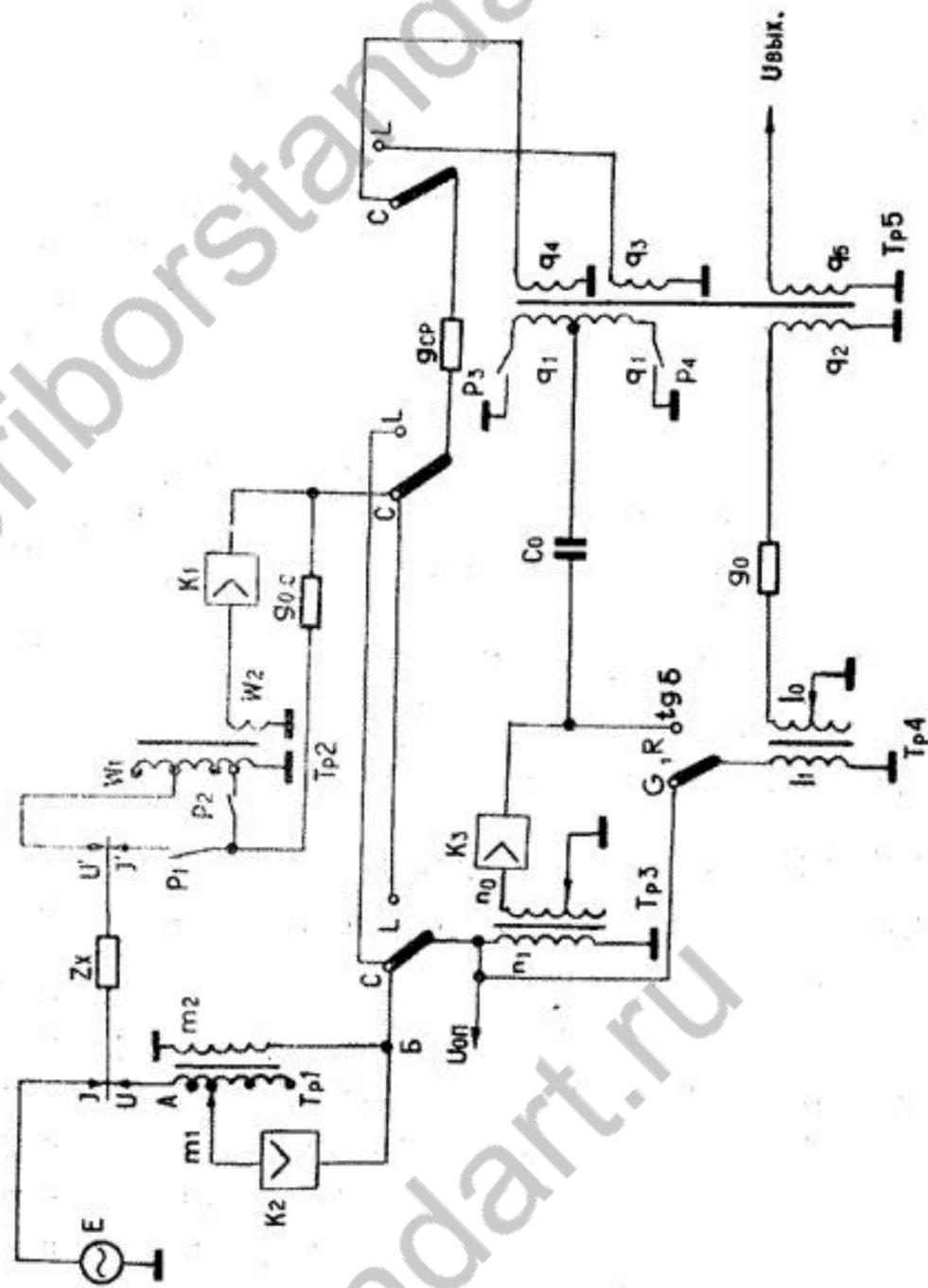


Рис. 6. Упрощенная схема моста

Несоответствие сопротивления резистора обратной связи операционного усилителя тока R5 своему номинальному значению исключается цепочкой R6, R12, реактивность резистора компенсируется цепочкой C5, C6, R11. Погрешность образцового конденсатора C4 по емкости устраняется подбором емкости конденсатора C3, цепями C1, R3 и C2, R4 (резистор R3 выведен на заднюю панель и используется для внешней калибровки эталонного конденсатора C4), а влияние потерь исключается цепочкой R7, R8, связанной со знакопеременной обмоткой q_4 . Аналогично модульная и фазовая погрешности образцового резистора R9 устраняются цепями R10, R13 и C8, R14.

Другим источником погрешностей мостовой схемы являются фазовые сдвиги напряжений, вводимых в обмотки первых декад образцовых элементов, обусловленные сопротивлением обмоток и индуктивностью масштабного трансформатора, связывающего вторую декаду с первой.

Для компенсации фазовой погрешности, появляющейся в ветви образцового резистора, введен конденсатор C7, связанный с масштабным трансформатором Tr4. Аналогичную роль в ветви с образцовым конденсатором выполняет цепь C1, R3, подключенная к трансформатору Tr1.

4.4.5. Подпитка измеряемого объекта

В приборе при ручном выборе пределов измерения обеспечивается возможность подачи на измеряемый объект поляризирующего напряжения или пропускания через него тока подмагничивания. Схема подачи поляризирующего напряжения или тока подмагничивания представлена на рис. 11.

Источником поляризирующего напряжения или тока подмагничивания является внутренний источник с регулируемым от 0 до 20 В напряжением и внутренним сопротивлением 1 кОм.

Подача поляризирующего напряжения на измеряемый объект в режиме измерения емкостей осуществляется на всех пределах измерения, подпитка же объектов индуктивного характера током подмагничивания возможна лишь на 3, 4, 5, 6 и 7 пределах измерения. Это объясняется тем, что если пропускать ток подмагничивания на 1 и 2 пределах измерения, то он, протекая через 1000 и 100 витков трансформатора Tr2, резко снижал бы его индуктивность, создавая тем самым

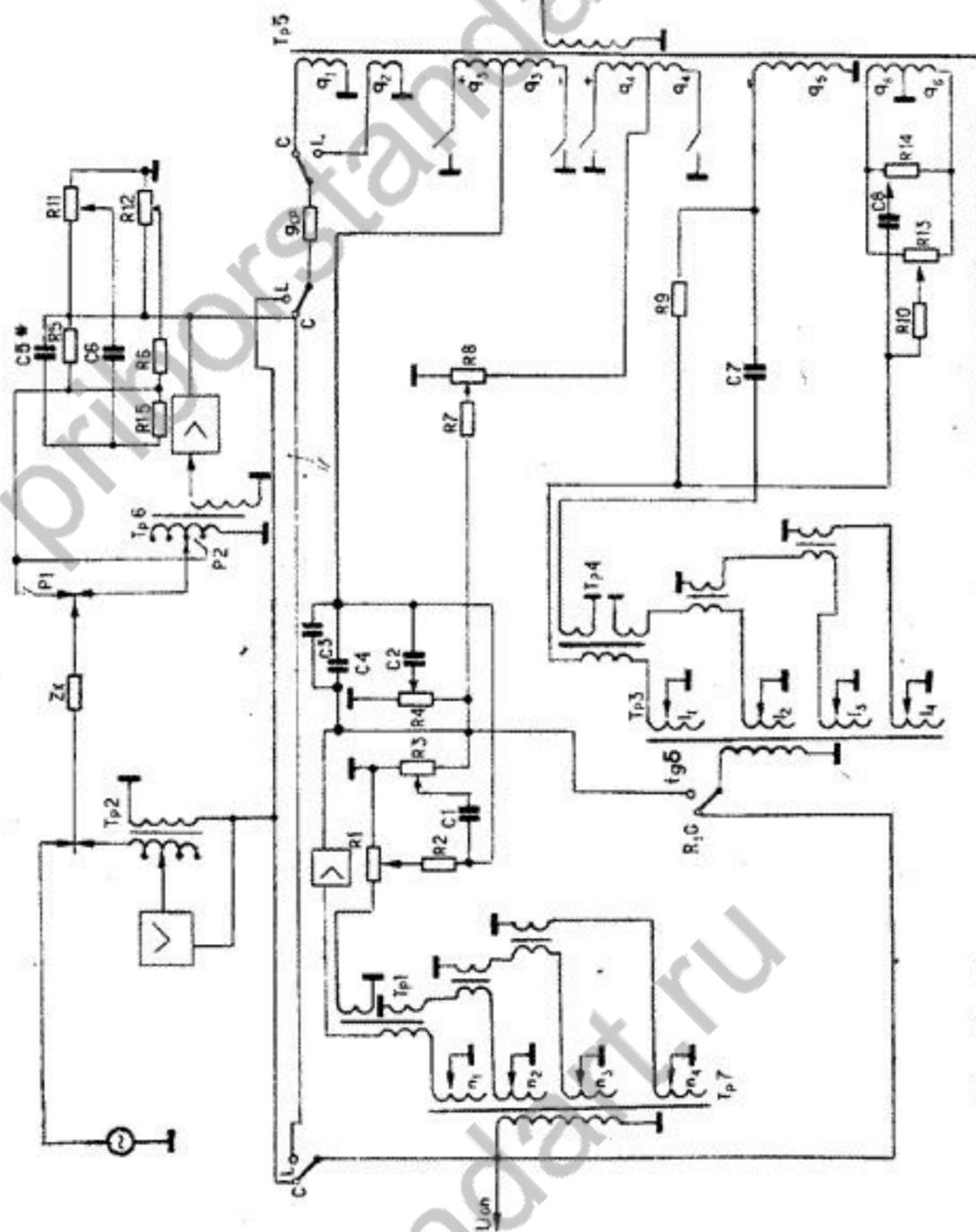


Рис. 10. Схема моста с элементами компенсации погрешностей измерения

Условия баланса моста для случая измерения C_x и g_x будут:

$$C_x = \frac{g_{oc} w_2 m_2 q_1 n_0}{g_{cp} w_1 m_1 q_4 n_1} \cdot C_0, \quad (11)$$

$$g_x = \frac{g_{oc} w_2 m_2 q_2 l_0}{g_{cp} w_1 m_1 q_4 l_1} \cdot g_0, \quad (12)$$

где w, m, q, l, n — числа витков обмоток трансформаторов $Tr_2, Tr_1, Tr_5, Tr_4, Tr_3$ соответственно.

Для случая измерения C_x и $tg\delta_x$ условие (11) не изменится, а (12) примет вид:

$$tg\delta_x = \frac{g_0 q_2 l_0}{\omega C_0 q_1 l_1} = tg\delta_0 \frac{q_2 l_0}{q_1 l_1}. \quad (13)$$

При измерении объектов с индуктивным характером в виде L_x и R_x условия баланса моста записываются следующим образом:

$$L_x = \frac{w_1 m_1 q_1 n_0}{w_2 m_2 q_3 n_1} \cdot \frac{C_0}{g_{oc} g_{cp}}, \quad (14)$$

$$R_x = \frac{w_1 m_1 q_2 l_0}{w_2 m_2 q_3 l_1} \cdot \frac{g_0}{g_{oc} g_{cp}} \quad (15)$$

или

$$tg\delta_x = \frac{q_2 l_0}{q_1 l_1} \cdot tg\delta_0. \quad (16)$$

Равенства 11—16 выведены в предположении, что операционные усилители имеют бесконечно большой коэффициент усиления, а трансформаторы схемы идеальны.

Раздельный отсчет достигается благодаря уравниванию моста по реактивной составляющей изменением числа витков n_0 трансформатора Tr_3 и по активной составляющей — изменением числа витков l_0 трансформатора Tr_4 .

Возможность уравнивания моста изменением числа витков обмоток трансформаторов обеспечивает высокие метрологические свойства схемы, так как при этом сокращается число образцовых элементов, а отношение чисел витков выполняется с очень высокой степенью точности и стабильно во времени и при изменении температуры. Использование

трансформаторов значительно расширяет пределы измерения моста, поскольку смена пределов может также производиться сменой числа витков трансформаторов (смена пределов с 1 по 4 в мосте осуществляется изменением числа витков w_1 и с 5 по 7 — изменением витков m_1). Существенное расширение возможностей измерения мостом достигается введением знакопеременной обмотки q_1 трансформатора Тр5. Эта обмотка выполнена знакопеременной для обеспечения измерения реактивностей как положительного, так и отрицательного знаков.

Операционный усилитель К3 введен в схему для устранения шунтирующего влияния трансформатора Тр4 на трансформатор Тр3 при измерении тангенса угла потерь.

Весь диапазон измеряемых величин разбит на 7 пределов измерения. В зависимости от предела измерения мостовая схема обеспечивает трех-, четырех- и пятизажимные измерения. Измерения высокоомных объектов (1—3 пределы) производятся по трехзажимной схеме включения (реле Р1 разомкнуто, Р2 — замкнуто). При измерении низкоомных объектов, когда нужно исключить влияние подводящих проводов, используется четырех- или пятизажимное включение (на 4—7 пределах реле Р1 замкнуто, Р2 — разомкнуто). В этом случае сопротивление подводящих проводов входит как составная часть сопротивления обратной связи g_{oc} или входного сопротивления операционного усилителя, где его влияние пренебрежимо мало.

В табл. 2 приведены состояния реле, осуществляющих переключение пределов измерения, и расположение их по платам прибора. Смена пределов 1—4 производится переключением витков трансформатора Тр1 с помощью деле Р1 — Р4, расположенных в плате 5.283.856, и 5—7 — переключением витков трансформатора Тр2 с помощью реле Р1 — Р4, расположенных в плате 5.283.862.

На выходе генератора 1000 Гц поставлен делитель из сопротивлений R15, R21, R25 и R29 (см. рис. 7), который посредством транзисторных ключей Т7, Т10, Т13 уменьшает подаваемое на измеряемый объект напряжение в 10, 100 и 1000 раз соответственно на 5, 6 и 7 пределах измерения. Чувствительность моста, однако, остается неизменной, поскольку напряжение на выходе трансформатора Тр2 сохраняется за счет увеличивающегося пропорционально коэффициенту трансформации.

моста не течет. Если мост разбалансирован, напряжение на одном выходе УПТ растет, на другом падает. В соответствии с этим сопротивление одного транзистора уменьшается, другого увеличивается, что приводит к увеличению напряжения в точке А и появлению тока через g_a , стремящегося привести мост к балансу. В зависимости от знака разбаланса напряжение в точке А синфазно или противофазно с напряжением на образцовой проводимости g_0 .

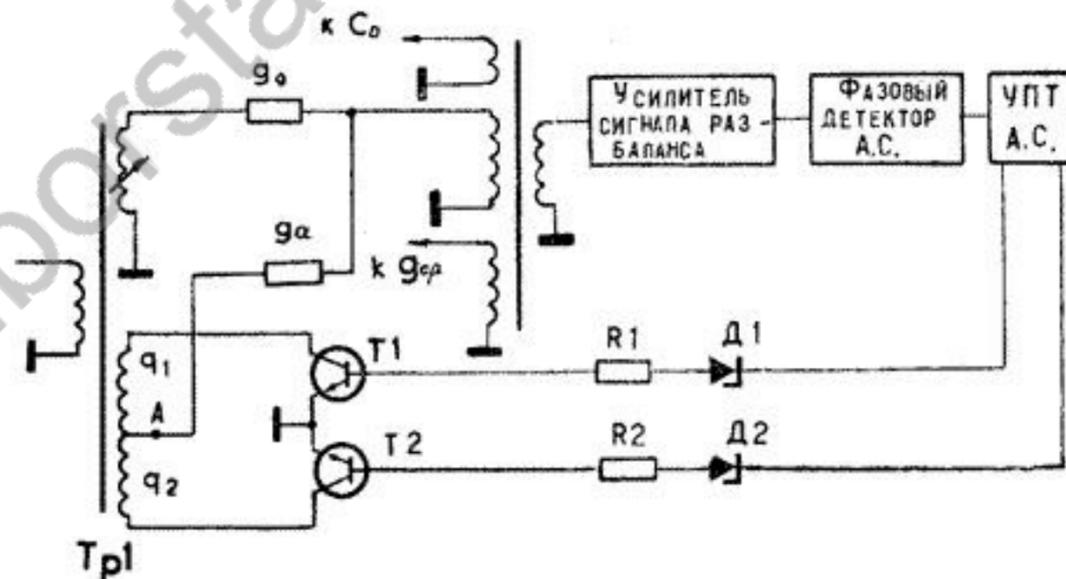


Рис. 9. Упрощенная схема аналогового уравнивания моста по активной составляющей

Если разбаланс моста превышает 0,6 знака дискретности, УПТ находится в состоянии ограничения, в результате чего один транзистор открыт, другой заперт, и система аналогового уравнивания перестает участвовать в процессе балансирования.

Аналоговое уравнивание по реактивной составляющей происходит подобным же образом, только вместо проводимости g_a ставится конденсатор.

4.4.4. Компенсация погрешностей элементов мостовой схемы (рис. 10)

Одним из источников погрешностей мостовой схемы являются остаточные параметры и неточность номинальных значений образцовых элементов моста. Для устранения этих погрешностей в мосте предусмотрена компенсация фазовой и модульной погрешности образцовых элементов.

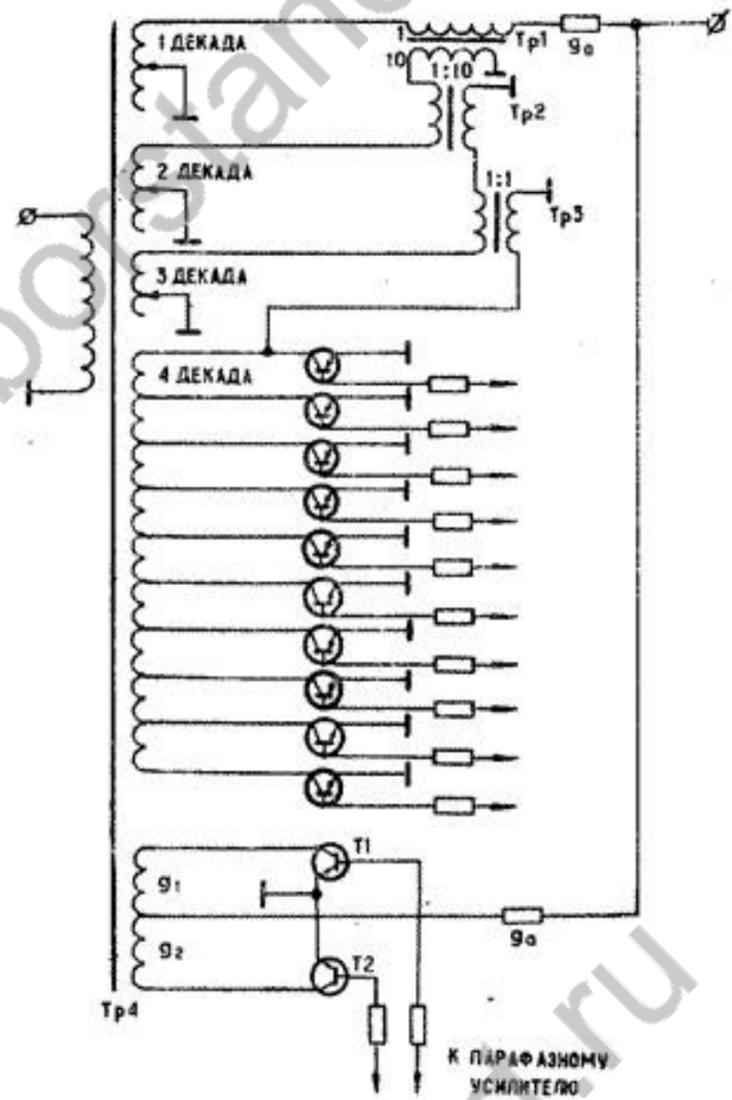


Рис. 8. Упрощенная схема образцового плеча уравновешивания по активной составляющей

Таблица 2

| | 5.265.020 | | | 5.283.862 | | | 5.283.856 | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----|-----------|----|----|-----------|----|----|----|----|----|
| | T7 | T10 | T13 | P4 | P3 | P2 | P1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 |
| I | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| II | | | | | | | ■ | | ■ | | | |
| III | | | | | | | ■ | | | ■ | | |
| IV | | | | | | | ■ | | | | ■ | ■ |
| V | ■ | | | | | ■ | | | | | | ■ |
| VI | | ■ | | | ■ | | | | | | ■ | ■ |
| VII | | | ■ | ■ | | | | | | | ■ | ■ |

РАСПОЛОЖЕНИЕ ПО ПЛАТАМ И СОСТОЯНИЯ РЕЛЕ, ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ
 (■ — РЕЛЕ ЗАМКНУТО, □ — РЕЛЕ РАЗОМКНУТО)

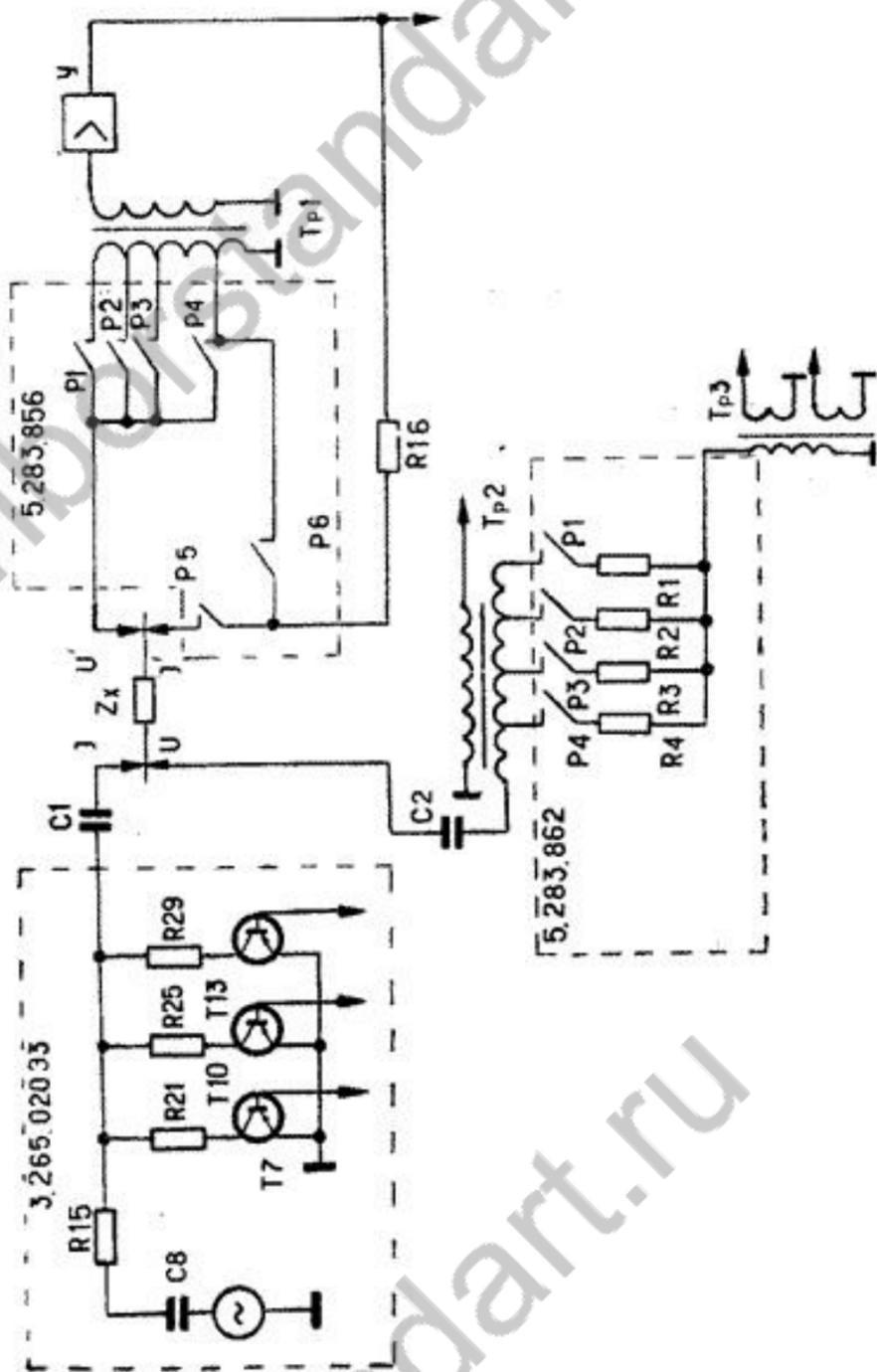


Рис. 7. Схема включения реле, переключающих пределы измерения

4.4.2. Упрощенная схема органов уравнивания

Образцовые плечи моста (рис. 6) с переменным числом витков p_0 и l_0 имеют одинаковое выполнение. На рис. 8 показана упрощенная схема образцового плеча активной составляющей. Введение декадных и масштабных трансформаторов (Tr1 — Tr3) в образцовое плечо позволило уменьшить число образцовых элементов, что значительно облегчает регулировку моста и повышает его точность.

Трансформаторы Tr1 и Tr2 идентичные с коэффициентом трансформации 10:1. У трансформатора Tr3 коэффициент трансформации 1:1. Секционированные обмотки 1-й, 2-й и 3-й декады выполнены одинаково и имеют по 20 витков в секции. Секции обмотки 4-й декады содержат по 2 витка. Секционированные обмотки декад переключаются полупроводниковыми ключами. Включение ключей, коммутирующих секции, показано на рис. 8 на примере 4-й декады. Каждый транзистор работает в ключевом режиме и отдельно управляется по цепи базы. При этом в проводящем положении находится только один транзистор, другие в это время закрыты. Переключение витков в других декадах осуществляется аналогичным образом.

4.4.3. Аналоговое уравнивание

Для уравнивания мостовой схемы при разбалансе, не превышающем 0,6 знака младшей декады, использована схема аналогового уравнивания. Применение аналогового уравнивания устраняет колебания вблизи положения равновесия моста и повышает точность балансирования.

Упрощенная схема аналогового уравнивания моста по активной составляющей представлена на рис. 9. Уравнивание осуществляется транзисторными ключами T1 и T2, управляемыми базовыми токами, поступающими с парафазных выходов УПТ АС через цепи R1, Д1 и R2, Д2. Коллекторы транзисторных ключей подключены к противофазным обмоткам q_1 и q_2 трансформатора Tr1.

Напряжение аналогового уравнивания в точке А линейно зависит от разности базовых токов транзисторов T1 и T2. Если мост сбалансирован, напряжения на выходах УПТ АС равны, транзисторы открыты одинаковыми базовыми токами и имеют, следовательно, одинаковое сопротивление. В силу этого точка А эквипотенциальна земле, и ток уравнивания через резистор g_a в образцовое плечо

Значение В устанавливается в секции МНОЖИТЕЛЬ ПОРЯДКА.

Примеры:

1. Значение границы 5671 нФ , $5671 \text{ нФ} = 5671 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}$ на переключателях МАНТИССА и МНОЖИТЕЛЬ ПОРЯДКА устанавливается

$$[00005671] \cdot 10^{-[6]}.$$

2. Значение границы $51,2 \text{ мкГ}$

$$51,2 \text{ мкГ} = 51,2 \cdot 10^{-6} \text{ Г} = 512 \cdot 10^{-7} \text{ Г};$$

на переключателях МАНТИССА и МНОЖИТЕЛЬ ПОРЯДКА устанавливается

$$[00000512] \times 10^{-[7]}.$$

Примечание. Значение границы возможно установить не только в четырех правых секциях переключателя МАНТИССА.

Так, в примере 1 значение границы можно представить как

$56710 \cdot 10^{-7} = 567100 \cdot 10^{-8} = \dots = 56710000 \cdot 10^{-10} \text{ мкФ}$ и, следовательно, на переключателях МАНТИССА и МНОЖИТЕЛЬ ПОРЯДКА могут быть установлены значения

$$[00056710] \times 10^{-[7]}$$

$$[00567100] \times 10^{-[8]}$$

$$[56710000] \times 10^{-[10]}$$

3. Значения границ по тангенсу угла потерь $25 \cdot 10^{-4}$ и $8512 \cdot 10^{-4}$ на переключателях МАНТИССА и МНОЖИТЕЛЬ ПОРЯДКА устанавливаются

$$[00000025] \times 10^{-[4]}$$

$$[00008512] \times 10^{-[4]}$$

На секциях ЗНАК переключателей ВЕРХНИЙ и НИЖНИЙ ПРЕДЕЛ компаратора устанавливаются:

«+» — на компараторе активной составляющей;

«+» или «-» в зависимости от знака реактивности на компараторе реактивной составляющей.

Совместно работа прибора Е7-8 и компаратора кодов типа 202 производится в следующем порядке:

— подключите с помощью кабелей 4.853.609 (из комплекта Е7-8) компараторы к соответствующим разъемам прибора Е7-8;

лах его можно рекомендовать лишь для сравнительных измерений.

Измерения с присоединительным устройством проводятся в следующем порядке:

— вставьте кабели присоединительного устройства в гнезда Z_x (J, U, J', U') и ВНЕШНИЙ ЗАПУСК прибора;

— тумблер ЗАПУСК поставьте в положение ВНЕШНИЙ;

— вставьте зажимы присоединительного устройства в гнезда на его горизонтальной панели;

— вставьте в зажимы устройства измеряемый объект;

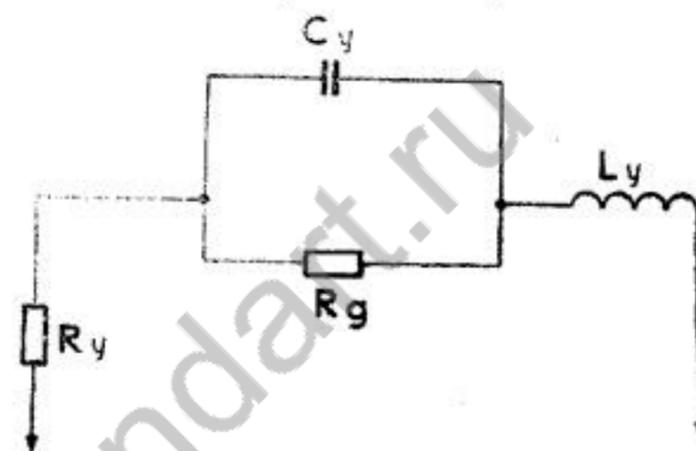
— нажмите педаль устройства и прочтите результат измерения на табло прибора.

Погрешности, вносимые устройством в измерения, вызваны такими его параметрами, как емкость между его зажимами C_y , сопротивление и индуктивность его кабелей R_y и L_y , то есть присоединительное устройство может быть представлено эквивалентной схемой (рис. 23).

Трудность исключения погрешностей, обусловленных устройством, объясняется не только громоздкостью поправочных формул, но, главным образом, тем, что параметры его непостоянны; емкость C_y зависит от расстояния между зажимами и может измениться при подключении измеряемого объекта, R_y — определяется нестабильными переходными сопротивлениями контактов.

Максимальные значения этих параметров не превышают величин:

$$L_y = 1 \text{ мкГ}, C_y = 1 \text{ нФ}, R_y = 0,1 \text{ Ом}.$$



к прибору Е7-8

Рис. 23. Эквивалентная схема замещения устройства присоединительного

При необходимости оператор может уточнить эти значения:

— для определения емкости C_y установите между его зажимами такое расстояние, каким оно должно быть при измерении объектов, и измерьте прибором Е7-8 эту емкость (при включении объекта за счет перераспределения емкостей она может несколько измениться);

— для измерения сопротивления R_y и индуктивности L_y установите зажимы на необходимое расстояние, закоротите их между собой и измерьте прибором R_y и L_y .

Источником погрешностей на 1 и 2 пределах измерения является емкость C_y . Она не вносит погрешностей лишь в измерения активной проводимости в режиме С, G, но завышает результаты измерения емкостей, эффективного значения измеряемой индуктивности и активного сопротивления.

Погрешности измерений на 6 и 7 пределах вызваны сопротивлением R_y и индуктивностью L_y ; сопротивление R_y в основном завышает значение измеряемого активного сопротивления и тангенса угла потерь измеряемых реактивностей, а индуктивность увеличивает результат измерения как емкости, так и индуктивности.

Поскольку на 1, 2, 6 и 7 пределах при сравнительных измерениях измеряются близкие по значению параметры объектов, погрешности легче всего исключить практическим путем. Для этого один из измеряемых объектов должен быть измерен с кабелем соединительным 4.853.338-01 и устройством присоединительным 3.669.014-01. Разница в измерениях и составляет погрешность, вносимую присоединительным устройством. При измерении объектов, однотипных с измеренным и близких к нему по значению импеданса, величина погрешности сохраняет свое значение и на нее может быть внесена поправка в результаты измерений.

11.2.12. Работа прибора с компаратором кодов типа 202

Прибор Е7-8 совместно с компаратором кодов типа 202 может быть использован для проведения допускового контроля величин, измеряемых прибором Е7-8.

При этом компаратор для допускового контроля по емкости (С) и индуктивности (L) подключается к разъему Выход на регистрирующее устройство — РЕАКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ прибора Е7-8 и компаратор для допускового контроля по проводимости (G), сопротивле-

нию (R) или тангенсу угла потерь ($tg\delta$) подключается к разъему АКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ прибора Е7-8.

Результат автоматического сравнения информации, поступающей от прибора Е7-8, с допусковыми пределами (верхним и нижним), задаваемыми переключателями компаратора, выдается на 3 индикаторные лампочки: ВЫШЕ, НОРМА и НИЖЕ, одновременно с которыми срабатывают контакты реле, выведенные на разъем компаратора РЕЗУЛЬТАТ СРАВНЕНИЯ (С РЕЛЕ).

Описание и принцип работы компаратора подробно изложены в техническом описании и инструкции по эксплуатации его.

Значение верхней и нижней границы измеряемой величины устанавливается на переключателях ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛ и НИЖНИЙ ПРЕДЕЛ компаратора в электрических единицах в соответствии с табл. 18.

Таблица 18

| Измеряемая величина | Электрическая единица |
|---------------------|-----------------------|
| Емкость | Микрофарада |
| Индуктивность | Генри |
| Сопротивление | Килоом |
| Проводимость | Миллисменс |

Наименования секций переключателей ВЕРХНИЙ и НИЖНИЙ предел представлены на рис. 24.

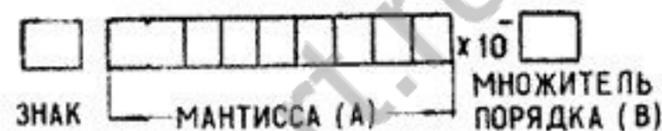


Рис. 24. Значение границы выражается в виде $A \cdot 10^{-B}$, где А — числовое значение границы, устанавливаемое в четырех правых секциях переключателя МАНТИССА; В — значение показателя степени, обеспечивающее представление числа в нужных электрических единицах.

Для тангенса угла потерь $B = 4$.

Для проведения калибровки необходимо иметь в распоряжении электронный частотомер-периодомер, обеспечивающий измерение периода колебаний частотой 1 кГц с погрешностью не больше $\pm 0,01\%$ при пятизначном отсчете измеряемой величины (рекомендуемый тип частотомера ЧЗ-38) и конденсатор с емкостью 4500—5500 пФ или 45—55 нФ с хорошей кратковременной стабильностью и тангенсом угла потерь не более $15 \cdot 10^{-4}$ (конденсаторы типов КСО, СГМЗ, ССГ; для получения нужного значения емкости можно использовать параллельное или последовательное соединение конденсаторов).

Калибровка производится в следующем порядке:

— подключите к выводу 1 разъема КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ частотомер в режиме измерения периода;

— проведите измерение конденсатора в следящем режиме в форме емкости и проводимости (С, G), если потери конденсатора малы и прибор не уравнивает активную составляющую (п. 11.2.66), присоедините параллельно конденсатору резистор, но при этом тангенс угла потерь цепи не должен превышать $15 \cdot 10^{-4}$;

— запишите измеренное значение емкости — C_1 ;

— проведите измерение конденсатора в форме отрицательной индуктивности и сопротивления ($-L, R$) и одновременно частотомером измерьте период колебаний генератора прибора;

— L — измеренное значение отрицательной индуктивности,

— T — период, измеренный частотомером;

— определите расчетное значение отрицательной индуктивности по формуле

$$L_p = \frac{25,3302 T^2}{C_1}, \quad (20)$$

где L_p — в миллигенри,

T — в миллисекундах,

C_1 — в микрофарадах;

— рассчитайте величину $\delta L = \frac{|L| - L_p}{L_p} \cdot 100\%$;

— если значение δL превышает $\pm 0,07\%$, то проведите подрегулировку прибора в следующем порядке:

— подключите испытуемый трехполюсник и резистор к прибору в соответствии с рис. 22 и вновь проведите измерения: новое измеренное значение $R_2 \pm j\omega L_2$ (или $G_2 \pm j\omega C_2$);

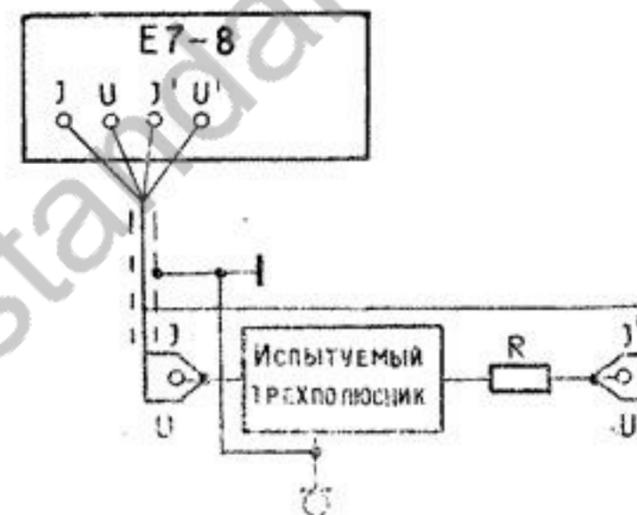


Рис. 22. Схема подключения трехполюсников к прибору E7-8

— рассчитайте модуль и фазовый угол коэффициента передачи по формулам:

$$\text{модуль коэффициента передачи } K = \sqrt{\frac{R_1^2 + \omega^2 L_1^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}} = \sqrt{\frac{G_2^2 + \omega^2 C_2^2}{G_1^2 + \omega^2 C_1^2}} \quad (18)$$

фазовый угол

$$\varphi = \arctg \frac{\omega(\pm L_1 R_2 \pm L_2 R_1)}{R_1 R_2 + L_1 L_2 \omega^2} = \arctg \frac{(\pm C_2 G_1 \pm C_1 G_2)}{G_1 G_2 + \omega^2 C_1 C_2} \quad (19)$$

✓ 11.2.10. Особенности измерения с подачей поляризующего напряжения или тока подмагничивания

При измерениях с подачей на измеряемый объект поляризующего напряжения или тока подмагничивания следует учесть:

— измерения производятся только при ручном выборе пределов измерений;

— измерения конденсаторов производятся на всех пределах, измерения индуктивностей только на 3—7 пределах (до 10 Г);

— при необходимости измерения индуктивности свыше 10 Г следует производить на 3 пределе в форме отрицательной емкости при отсчете с нулями впереди;

— значение постоянного тока через измеряемый объект до 20 мА устанавливается при сопротивлении измеряемого объекта постоянному току не более 100 Ом, а напряжение до 20 В — при сопротивлении свыше 10 кОм;

— при положении АВТ переключателя ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ подача напряжения или тока на объект измерения отключена;

— если переключатель U ПОЛЯР., J ПОДМАГН. выведен из положения ВЫКЛ., прибор при положении АВТ переключателя ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ не производит измерений.

Измерения производятся в следящем режиме или режиме одиночного запуска в следующем порядке:

— присоедините измеряемый объект в соответствии с п. 11.1;

— установите переключатель U ПОЛЯР., J ПОДМАГН. в положение U ПОЛЯР., если измеряется конденсатор, и в положение J ПОДМАГН., если измеряется катушка индуктивности;

— плавно вращая потенциометр по часовой стрелке, установите нужную величину тока или напряжения по гальванометру прибора;

— при измерениях конденсаторов с большой емкостью время установления результатов измерения может достигнуть 30—40 с; при измерениях катушек индуктивности результаты измерения устанавливаются практически сразу после установления тока;

— произведите измерения объекта по п. 11.2.5.

11.2.11. Измерения с устройством присоединительным 3.669.014-01

Это устройство может быть использовано для работы во всех вышеописанных режимах измерений прибором. Оно значительно ускоряет процесс подключения к прибору объектов с осевыми выводами, создавая удобства при измерении их в больших количествах.

Следует, однако, отметить, что устройство вносит погрешности в измерения, которыми можно пренебречь и не учитывать лишь на 3, 4, 5 пределах измерения. На 1, 2, 6, 7 преде-

— установите на компараторах значения верхней и нижней границ;

— включите переключатели АВТ и РАБОТА компараторов;

— установите все тумблеры на задней стенке компараторов в верхнее положение;

— включите тумблер СЕТЬ;

— приведите прибор Е7-8 в рабочее состояние в режиме ручного либо следящего запуска;

— проведите измерение объекта;

— по окончании измерительного цикла прибора Е7-8 проследите за результатом сравнения на компараторах 202.

Примечания: 1. В случае контроля только по одному параметру (активной либо реактивной составляющей), компаратор для контроля по другому параметру должен быть отключен от соответствующего разъема прибора Е7-8, так как компаратор, находящийся в нерабочем состоянии и подключенный к Е7-8, приводит к нарушению функционирования системы.

2. Для разбраковки объектов измерения по нескольким допусковым пределам возможна работа с несколькими, одновременно последовательно подключаемыми компараторами (каждый со своим допусковым полем).

При этом первый компаратор подключается к соответствующему разъему прибора Е7-8 кабелем 4.853.609 (из комплекта Е7-8), а каждый следующий к разъему НА РЕГИСТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО предыдущего компаратора кабелем с разъемом из комплекта компаратора).

Так как время сравнения каждого компаратора 1,5 мс, то время выдачи информации о результате сравнения для n -го компаратора будет составлять $n \times 1,5$ мс.

11.2.13. Калибровка прибора

В приборе предусмотрена возможность проведения калибровки без применения образцовых мер.

Целью калибровки является устранение погрешности измерений, обусловленной временной нестабильностью образцового конденсатора мостовой измерительной схемы (С1 на плате 5.283.861 на схеме 2.724.007).

Калибровку следует производить не чаще одного раза в 3 месяца, а при выявлении отсутствия или малости временных уходов значительно реже.

12. ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Таблица 19

| Наименование неисправности. Внешнее проявление и дополнительные признаки | Вероятная причина неисправности | Метод устранения |
|---|--|--|
| 1. При включении прибора табло не засвечивается | Сгорел предохранитель | Заменить предохранитель. |
| 2. При измерении объектов все время горит лампочка НЕБАЛАНС | Обрыв кабеля. Отказ одного из реле, переключающих предел измерения | Устранить обрыв или заменить кабель другим. Найти и заменить другим неисправный КЭМ; нужно снять нижнюю крышку прибора, закрывающую узлы У21 и У22 (рис. 2, прил. 1). |
| 3. На табло прибора вместо одного значения светится одновременно несколько значений | Неисправна лампа | Сменить лампу. Для этого снять верхнюю крышку прибора, вынуть соответствующую лампе плату реверсивного счетчика. |
| 4. Нет индикации или засветка одновременно нескольких цифр одной из декад по РС или АС. Прибор при этом балансируется | Выход из строя индикатора ИН-12А либо микросхемы МС8 133ИД1 на плате 3.065.009 | Заменить ИН-12А, если дефект остался заменить МС8 |
| 5. Нет измерения по АС либо по РС. Горит лампа НЕБАЛАНС | Загрязнение ламелей печатных плат | Извлечь платы из разъемов и промыть ламели спиртом |

Примечание. В формуляр прибора должна быть внесена запись о распломбировании прибора и его повторном пломбировании.

Погрешности измерения индуктивности в расширенном диапазоне (с учетом возрастающего влияния погрешности дискретности) приведены в табл. 16.

Таблица 16

| Измеряемая прибором —С (отсчет $n\Phi$) | 09,99—01,00 | 00,99—00,10 | 00,09—00,02 |
|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Соответствующее значение (Γ) | $(2,5—25) \cdot 10^3$ | $(25—250) \cdot 10^3$ | $(250—1250) \cdot 10^3$ |
| Погрешность, $\pm\%$ | 0,3—2 | 2—20 | 20—100 |

11.2.9. Особенности измерений объектов трехэлектродной конструкции

Ограничения значений частичных импедансов (см. п. 4.2). Частичные импедансы объектов трехэлектродной конструкции шунтируют цепи мостовой измерительной схемы и в случае малости их значений могут вызвать снижение скорости измерений прибором (частичные импедансы, подключенные к зажиму, связанному с гнездами J и U прибора), или к увеличению погрешности измерений (частичные импедансы, подключенные к зажиму, связанному с гнездами J' и U').

В табл. 17 приведены допустимые значения модуля частичных импедансов, не приводящие к нарушениям функционирования и метрологических свойств прибора.

Таблица 17

| Номер предела измерения | Импеданс со стороны гнезд J, U | Импеданс со стороны гнезд J', U' |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 10 кОм | 1 МОм |
| 2 | 10 кОм | 10 кОм |
| 3 | 10 кОм | 100 Ом |
| 4 | 10 кОм | 10 Ом |
| 5 | 1000 Ом | 10 Ом |
| 6 | 100 Ом | 10 Ом |
| 7 | 10 Ом | 10 Ом |

Эти же требования к частичным импедансам сохраняются при измерениях пятиэлектродных объектов.

Возможные практические случаи

Измерение качества экранирования трансформаторов. Схема включения трансформатора к прибору показана на рис. 20.

Прибор в этом случае измеряет емкость между вторичной и первичной обмотками трансформатора С12.

Измерение междуэлектродных емкостей ламп

Схема измерения междуэлектродной емкости анод-катод триода представлена на рис. 21.

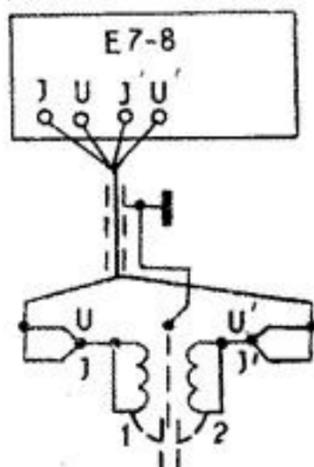


Рис. 20. Схема подключения экранированных трансформаторов

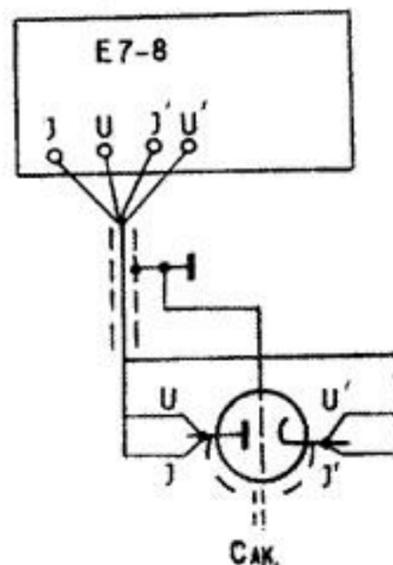


Рис. 21. Схема подключения ламп

Измерение коэффициента передачи трехполюсников (например, трансформаторов)

Измерения производятся в следующем порядке:

— возьмите резистор (или конденсатор), полное сопротивление которого много больше выходного сопротивления измеряемого трехполюсника;

— измерьте его на приборе в любой из форм; измеренное значение импеданса $R_1 \pm j\omega L_1$ (или $G_1 \pm j\omega C_1$).

— вновь измерьте конденсатор в режиме С, G и, если δL положительна, вращением шлица С (на задней стенке прибора) добейтесь уменьшения показаний прибора по емкости на $\frac{\delta L}{2} \%$ или, если δL отрицательна, вращением того же шлица добейтесь увеличения показаний на ту же величину;

— проведите измерения конденсатора в форме отрицательной индуктивности, рассчитайте новое значение δL и убедитесь, что значение δL не превышает $\pm 0,07 \%$.

Если после первоначальных измерений значение δL не превышает $\pm 0,07 \%$, подрегулировка прибора не производится.

11.2.14. Особенности работы прибора в интервале рабочих температур, в условиях повышенной влажности и после длительного хранения

При работе в интервале рабочих температур, вследствие температурных зависимостей элементов схемы, погрешности измерения прибором возрастают и при их оценке следует учитывать дополнительную погрешность, величина которой составляет половину основной погрешности на каждые 10° отклонения температуры от 20°C для каждого из измеряемых параметров.

Так, если измерения производятся при температуре $+40^\circ \text{C}$, то есть изменение температуры составляет 20° , погрешности измерения могут достигать удвоенного значения основной погрешности.

При работе в условиях повышенной влажности до 90—95 % время самопрогрева прибора должно быть увеличено до 60 мин.

После длительного хранения прибор должен быть поверен по п. 14 настоящей инструкции. Если при этом выясняется, что погрешности измерения прибором превышают значения, указанные в п. 2.7, необходимо провести подрегулировку прибора по п. 11.2.13.

| Наименование средства поверки | Рекомендуемое средство поверки | | Основные технические характеристики средств поверки | Примечание |
|--|--------------------------------|-----------------|---|------------|
| | образцовое | вспомогательное | | |
| 1. Частотомер электронно-счетный | | ЧЗ-38 | (0—50) МГц | ±0,005 % |
| 2. Меры емкости образцовые | P597 | | 1 пФ — 1 мкФ | ±0,03 % |
| 3. Меры индуктивности образцовые | P596 | | 1 мкГн — 0,4 Гн | ±0,03 % |
| 4. Кагушки сопротивления безреактивные | P361 | | 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом, 1000 Ом | ±0,02 % |
| 5. Мост сопротивлений постоянного тока | | P369 | 10 кОм — 10 МОм | ±0,02 % |
| 6. Омметр цифровой | | Щ34А | (10 ⁻³ — 10 ⁹) Ом | ±0,1 % |
| 7. Набор резисторов | | МРХ | 10 кОм — 1,2 МОм (см. табл. 22) | ±0,03 % |
| 8. Набор резисторов | | МЛТ | (см. табл. 22) | |
| 9. Измеритель емкости цифровой | | Е8-2 | 0,001 пФ — 11,1 мкФ | ±0,25 % |

Примечания: 1. При поверке допускается использование другой аппаратуры, обеспечивающей измерение параметров с требуемой точностью.

2. Вся контрольно-измерительная аппаратура, используемая при испытаниях, должна быть поверена в соответствии с требованиями ГОСТ 8.002-71.

Для реализации полной точности измерения (до 0,1 %) в формулах необходимо использовать действительное значение частоты, которое можно измерить на выходе 1 разъема **КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ**. Эти измерения нужно проводить в процессе работы прибора с погрешностью не хуже ±0,01 %.

Рекомендуемый тип частотомера ЧЗ-38. Для ускорения процесса измерения с необходимой точностью рекомендуется производить измерение периода колебаний с пятью-шестью знаками отсчета.

11.2.8. Рекомендации по выбору формы результата измерения

Измерение сопротивления при проводимости в обратной форме:

а) измеряя сопротивление с малой реактивностью в форме проводимости, можно расширить пределы измерения активного сопротивления до 10 000 МОм. При ручном выборе пределов эти измерения проводятся на пределе измерения 1. Отсчет активной составляющей свыше 10 МОм ниже 100 нСм производится с нулями впереди и в этой связи ошибка дискретности на ±1 ед. счета определяет возрастание относительной погрешности измерения. Расчет значения сопротивления производится по формуле

$$R = \frac{1}{G}. \quad (17)$$

Погрешности измерения в расширенном диапазоне сопротивлений (в форме проводимости) приведены в табл. 14.

Таблица 14

| Измеряемая прибором проводимость (отсчет, нСм) | 099,9—010,0 | 009,9—001,0 | 000,9—000,1 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Значение измеряемого сопротивления (МОм) | 10—100 | 100—1000 | 1000—10000 |
| Погрешность, ±% | 0,2—1,1 | 1,1—10 | 10—100 |

б) Изменяя сопротивление или проводимость в обратной форме, можно уменьшить влияние погрешности дискретности.

Например, измеряется резистор с сопротивлением 1,002 кОм. Погрешность дискретности (± 1 ед. счета) составляет $\pm 0,1\%$ и суммарная погрешность может достигать $\pm 0,2\%$. В форме проводимости отсчет измеряемой величины составит 999,8 мкСм и влияние погрешности дискретности снизится до $\pm 0,01\%$.

Измерения емкости в форме отрицательной индуктивности и индуктивности в форме отрицательной емкости с нулями впереди:

а) прибор позволяет производить измерение емкости свыше 100 мкФ в форме отрицательной индуктивности по последовательной схеме замещения при отсчете измеряемой величины с нулями впереди. При ручном выборе пределов эти измерения производят на пределе измерения 7.

♦ Расчет измеряемых значений емкости и активной составляющей для разных схем замещения производят по формулам 5 и 6 табл. 13, а измерения проводят в соответствии с указаниями п. 11.2.7.

Погрешности измерения емкости в расширенном диапазоне (с учетом возрастающего влияния погрешности дискретности) приведены в табл. 15.

Таблица 15

| Измеряемая прибором $-L$ (отсчет мкГ) | 099,9—010,0 | 009,9—001,0 | 000,9—000,2 |
|--|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Соответствующее значение C (мкФ) | 250—2500 | $(2,5—25) \cdot 10^3$ | $(25—125) \cdot 10^3$ |
| Погрешность, $\pm\%$ | 0,3—2 | 2—20 | 20—100 |

б) Прибор позволяет производить измерение индуктивности свыше 1000 Г в форме отрицательной емкости по параллельной схеме замещения при отсчете измеряемой величины с нулями впереди. При ручном выборе пределов эти измерения проводят на пределе измерения 1.

Значение измеренных индуктивности и активной составляющей рассчитывают по формулам 11 и 12, а измерения проводятся в соответствии с указаниями п. 11.2.7.

13. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Осмотр внутреннего и внешнего состояния монтажа и узлов прибора производится после истечения гарантийного срока один раз в два года. Проверяется крепление узлов, состояние паек, контактов, качество работы переключателей, удаляется пыль и коррозия. Зачищенные места покрываются смазкой (например, ЦИАТИМ-201).

Порядок проведения профилактических работ:

- снимите с прибора верхнюю и нижнюю крышки и струей сжатого воздуха удалите пыль;
- освободите от крепления и выньте печатные платы;
- промойте спиртом контакты печатных плат (промывку производить мягкой кистью);
- поставьте платы на место и закройте крышки прибора.

14. ПОВЕРКА ПРИБОРА

Межповерочный интервал прибора Е7-8 устанавливается в соответствии с требованиями раздела 3 ГОСТ 8.002-71.

Рекомендуемый интервал поверки 1 раз в 12 месяцев.

14.1. Операции поверки

При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в табл. 20.

Таблица 20

| Наименование операций | Номера пунктов раздела |
|--|------------------------------------|
| 1. Внешний осмотр | 14.4.1 |
| 2. Опробование | 14.4.2 |
| 3. Определение метрологических параметров | 14.4.3 |
| — определение погрешностей рабочей частоты | 14.4.3а |
| — определение основных погрешностей измерения емкости, индуктивности, сопротивления, проводимости и тангенса угла потерь с кабелем соединительным 4.853.338-01 | 14.4.3б, 14.4.3в, 14.4.3г, 14.4.3д |
| — определение основных погрешностей измерения величин с устройством присоединительным 3.669.014-01 | 14.4.3е |

14.2. Средства поверки

При проведении поверки должны применяться средства поверки, указанные в табл. 21.

14.4.3. Определение метрологических параметров

а) определение погрешности установки рабочей частоты прибора производится методом непосредственного измерения ее на гнезде I разъема КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ с помощью частотомера ЧЗ-38.

Погрешность рабочей частоты прибора вычисляется по формуле

$$\Delta f = \frac{f_{\text{изм}} - 1000 \text{ Гц}}{1000 \text{ Гц}} \cdot 100 \%, \quad (21)$$

где $f_{\text{изм}}$ — измеренное значение частоты в Гц.

Погрешность установки рабочей частоты прибора должна быть не более $\pm 1 \%$.

б) определение основных погрешностей измерения емкости, индуктивности, сопротивления, проводимости и тангенса угла потерь с кабелем соединительным 4.853.338-01 производится путем измерения образцовых мер емкости, индуктивности и сопротивления, значения которых приведены в табл. 22.

Погрешности аттестации мер емкости не должны превышать:

$$- \text{ по емкости до } 1 \text{ мкФ } \pm \left(0,03 + \frac{0,2}{C_d} \right) \%,$$

где C_d — действительное значение емкости конденсатора в пикофарадах;

$$- \text{ по тангенсу угла потерь } \pm 1 \cdot 10^{-4}.$$

В качестве мер емкости могут быть использованы конденсаторы двухэлектродной и трехэлектродной конструкции (п. 2 табл. 21).

Погрешности аттестации мер индуктивности не должны превышать:

$$\pm \left(0,03 + \frac{2}{L_d} \right) \%,$$

где L_d — действительное значение индуктивности меры в микрогенри (п. 3 табл. 21).

Таблица 13

| № формулы | Расчетные формулы | Желаемая форма результата | Форма результата измерения | Вид объекта |
|-----------|--|------------------------------------|----------------------------|--------------|
| 1 | $R = \frac{g}{G^2 + \omega^2 C^2}; \quad \pm L = \frac{-C}{-\omega^2 C^2 + G^2}$ | R; $\pm L$ | G; $\pm C$ | Реакторы |
| 2 | $g = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2}; \quad \pm C = \frac{-L}{-R^2 + \omega^2 L^2}$ | G; $\pm C$ | R; $\pm L$ | |
| 3 | $C_{\text{посл}} = C \left(1 + \frac{G^2}{\omega^2 C^2} \right); \quad R_{\text{посл}} = \frac{G}{\omega^2 C^2 + G^2}$ | $C_{\text{посл}}; R_{\text{посл}}$ | C; G | Конденсаторы |
| 4 | $C_{\text{посл}} = C(1 + \text{tg}^2 \delta); \quad R_{\text{посл}} = \frac{\text{tg} \delta}{\omega C(1 + \text{tg}^2 \delta)}$ | $C_{\text{посл}}; R_{\text{посл}}$ | C; $\text{tg} \delta$ | |
| 5 | $C = \frac{L}{R^2 + \omega^2 L^2}; \quad g = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2}$ | C; G | - L, R | |
| 6 | $C_{\text{посл}} = \frac{1}{\omega^2 L}; \quad R$ | $C_{\text{посл}}; R$ | | |
| 7 | $C = \frac{1}{\omega^2 L(1 + \text{tg}^2 \delta)}; \quad G = \frac{\text{tg} \delta}{\omega L(1 + \text{tg}^2 \delta)}$ | C; G | - L; $\text{tg} \delta$ | |
| 8 | $C_{\text{посл}} = \frac{1}{\omega^2 L}; \quad R = \omega L \cdot \text{tg} \delta$ | $C_{\text{посл}}; R$ | | |

| Вид объекта | Форма результата измерения | Желаемая форма результата | Расчетные формулы | № формулы |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|---|-----------|
| Катушки индуктивности | L, R | $L_{\text{нар}}, G$ | $L_{\text{нар}} = L \left(1 + \frac{R^2}{\omega^2 L^2} \right); G = \frac{R}{\omega^2 L^2 + R^2}$ | 9 |
| | L, $\text{tg} \delta$ | $L_{\text{нар}}, G$ | $L_{\text{нар}} = L(1 + \text{tg}^2 \delta); G = \frac{\text{tg} \delta}{\omega L(1 + \text{tg}^2 \delta)}$ | 10 |
| | C, G | $L_{\text{нар}}, G$ | $L_{\text{нар}} = \frac{1}{\omega^2 C}; G$ | 11 |
| | | L, R | $L = \frac{C}{\omega^2 C^2 + G^2}; R = \frac{G}{\omega^2 C^2 + G^2}$ | 12 |
| | | $L_{\text{нар}}, G$ | $L_{\text{нар}} = \frac{1}{\omega^2 C}; G = \frac{\text{tg} \delta}{\omega C(1 + \text{tg}^2 \delta)}$ | 13 |
| | | L, R | $L = \frac{1}{\omega^2 C(1 + \text{tg}^2 \delta)}; R = \frac{\text{tg} \delta}{\omega C(1 + \text{tg}^2 \delta)}$ | 14 |

14.3. Условия поверки и подготовка к ней

14.3.1. При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура воздуха, К (°С) 293 ± 5 (20 ± 5);
- относительная влажность воздуха, % 65 ± 15 ;
- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) 100 ± 4 (750 ± 30);
- напряжение питающей сети, В $220 \pm 4,4$;
- частота питающей сети, Гц $50 \pm 0,5$;
- содержание гармоник питающей сети, % до 5.

14.3.2. Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- выполнить подготовительные работы, указанные в разделе 10 настоящего описания;
- тумблер ЗАПУСК установить в положение СЛЕДЯЩИЙ;
- включить прибор и прогреть в течение 1 мин.

14.4. Проведение поверки

14.4.1. Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть проверено:

- отсутствие механических повреждений корпуса;
- наличие и прочность крепления органов управления;
- наличие предохранителей;
- чистота гнезд, разъемов и клемм;
- состояние измерительных кабелей, проводов;
- состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировок.

При наличии дефектов прибор подлежит забракованию и направлению в ремонт.

14.4.2. Опробование

Для опробования прибора в работе необходимо осуществить проверку на функционирование по п. 11.1 настоящего описания.

При обнаружении неисправности прибор подлежит забракованию и направлению в ремонт.

Продолжение табл. 22

| Условный номер меры | Значение меры С, L или R | Дополнительный резистор | Вид соединения | Тип дополнительного резистора |
|---------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|
| 7 | 900—990 нФ | 150—300 Ом | Последовательное | МЛТ-0,25 |
| 8 | 1,01—1,1 нФ | 150—300 Ом | » | МЛТ-0,25 |
| 9 | 2,8—3,2 нФ | 130—150 Ом | » | МЛТ-0,25 |
| 10 | 9,0—9,9 нФ | 9—11 МОм | параллельное | МЛТ-1 |
| 11 | 10,01—11 нФ | 9—11 МОм | » | МЛТ-1 |
| 12 | 28—32 нФ | 3—4 МОм | » | МЛТ-0,5 |
| 13 | 28—32 нФ | 5,7—6 кОм | » | МРХ |
| 14 | 90—99 нФ | 1—2 МОм | » | МЛТ-0,25 |
| 15 | 100,1—110 нФ | 1—2 МОм | » | МЛТ-0,25 |
| 16 | 280—320 нФ | 300—400 кОм | » | МЛТ-0,25 |
| 17 | 0,9—0,99 мкФ | 100—200 кОм | » | МЛТ-0,25 |
| 18 | 0,9—1,1 мкГ | — | — | — |
| 19 | 290—310 мкГ | — | — | — |
| 20 | 2,9—3,1 мГ | — | — | — |
| 21 | 29—31 мГ | — | — | — |
| 22 | 290—310 мГ | — | — | — |
| 23 | 1 Ом | — | — | — |
| 24 | 9,980—9,990 Ом | 5,1 кОм ± 5 % | параллельное | МЛТ-0,25 |
| 25 | 99,80—99,90 Ом | 51 кОм ± 5 % | » | МЛТ-0,25 |
| 26 | 998,0—999,0 Ом | 510 кОм ± 5 % | » | МЛТ-0,25 |
| 27 | 11—12 кОм | — | — | МРХ-0,25 ± ± 0,05 % |
| 28 | 80—90 кОм | — | — | МРХ-0,25 ± ± 0,02 % |
| 29 | 110—120 кОм | — | — | МРХ-0,25 ± ± 0,02 % |
| 30 | 1,1—1,2 МОм | — | — | МРХ-0,25 ± ± 0,02 % |

в) определение основных погрешностей измерения положительной и отрицательной емкости и тангенса угла потерь.

Номера мер и параметры, подлежащие измерению, приведены в табл. 23.

з) при измерениях с автоматическим выбором предела измерения основные составляющие измеряемого импеданса с числовыми значениями в пределах 9900—9999 могут быть измерены с нулем впереди и тремя значащими цифрами, то есть как 0990—0999. При необходимости уточнения результата измерения объект следует измерить в режиме ручного выбора пределов (см. п. 11.2.5);

к) при измерениях нелинейных объектов важно знать значение переменного напряжения на измеряемом объекте или ток через него.

В табл. 12 приведены амплитудные значения напряжения и тока на разных пределах измерения.

Таблица 12

| Номер предела | Амплитудные значения | |
|---------------|------------------------|-------------------|
| | напряжения В, не более | тока мА, не более |
| 1 | 4,3 | 0,01 |
| 2 | 4,3 | 0,1 |
| 3 | 4,3 | 1 |
| 4 | 4,3 | 4,3 |
| 5 | 0,43 | 4,3 |
| 6 | 0,043 | 4,3 |
| 7 | 0,0043 | 4,3 |

11.2.7. Обработка результатов и особенности измерений при исследовании импедансов в различных схемах замещения.

В ряде случаев схема замещения измеренного прибором импеданса может не соответствовать физической структуре объекта.

В частности, схема замещения электролитического конденсатора ближе к последовательной, в то время как прибором с прямым отсчетом измеряются компоненты параллельной схемы. Точно также измеренные составляющие последовательной схемы замещения не будут характеризовать схему замещения катушки индуктивности с большими потерями в сердечнике, близкую к параллельной.

Для исследования импедансов в нужной схеме замещения можно использовать следующие рекомендации:

а) производить пересчет составляющих импеданса в нужную схему замещения;

б) производить измерения в режиме, соответствующем нужной схеме замещения с последующим расчетом компонентов. В этом случае расчетные формулы упрощаются. В частности, если необходимо исследовать конденсатор при последовательной схеме замещения, его составляющие можно измерять в форме отрицательной индуктивности и сопротивления (или тангенса угла потерь), а затем рассчитать только его емкость.

В табл. 13 приведены формулы для пересчета составляющих импеданса в желаемую схему замещения для возможных практических случаев измерений резисторов, конденсаторов и катушек индуктивностей.

В таблице приняты обозначения:

$\pm C, G$ — составляющие параллельной схемы замещения, измеряемые прибором (см. п. 4.1);

$\pm L, R$ — составляющие последовательной схемы замещения;

$L_{\text{пар}}$ — индуктивность в параллельной схеме замещения;

$C_{\text{посл}}$ — емкость в последовательной схеме замещения.

Дополнительно могут быть использованы формулы для расчета:

— постоянной времени резисторов $\tau = \pm \frac{C}{G}$ или $\tau =$

$$= \pm \frac{L}{R},$$

— тангенса угла потерь $\text{tg}\delta = \frac{G}{\omega C}$ или $\text{tg}\delta = \frac{R}{\omega L}$.

Кроме того, могут быть использованы общие формулы пересчета, приведенные в п. 4.1.

Если при расчете использовать значение частоты, равное 1000 Гц, ошибка в расчетных значениях может достигнуть $\pm 3\%$, что обусловлено отклонением частоты от этого значения на погрешность ее установки ($\pm 1\%$).

Погрешности аттестации мер сопротивления не должны превышать $\pm 0,03\%$. Значение постоянной времени меры 24 должно быть известно с погрешностью $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ (п. 4 табл. 21).

В качестве мер 24—26 используются катушки сопротивления Р361 (п. 4 табл. 21) со значениями сопротивления 1, 10, 100 и 1000 Ом и параллельно включенными дополнительными резисторами, сопротивления которых приведены в табл. 22.

При этом значение сопротивления меры R рассчитывается по формуле

$$R = \frac{R_d \cdot R_{\text{доп}}}{R_d + R_{\text{доп}}}, \quad (22)$$

где R_d — действительное значение сопротивления меры,

$R_{\text{доп}}$ — значение сопротивления дополнительного резистора.

В качестве мер сопротивления 27—30 могут быть использованы резисторы МРХ (п. 7 табл. 21), измеренные на мосте постоянного тока (п. 5 табл. 21) с погрешностью $\pm 0,03\%$.

Значения сопротивления дополнительных резисторов определяются по мосту постоянного тока (п. 6 табл. 21) с погрешностью:

— не более $\pm 1\%$ для мер 2—12, 14—17 и 24—26;

— не более $\pm 0,1\%$ для меры 13.

Таблица 22

| Условный номер меры | Значение меры, С, L или R | Дополнительный резистор | Вид соединения | Тип дополнительного резистора |
|---------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 0,9—1,1 пФ | — | — | — |
| 2 | 10—15 пФ | 15—30 кОм | последовательное | МЛТ-0,25 |
| 3 | 28—32 пФ | 5—15 кОм | > | МЛТ-0,25 |
| 4 | 95—99 пФ | 1,5—3 кОм | > | МЛТ-0,25 |
| 5 | 101—120 пФ | 1,5—3 кОм | > | МЛТ-0,25 |
| 6 | 280—320 пФ | 500 Ом— 1,5 кОм | > | МЛТ-0,25 |

где $\operatorname{tg}\delta_{\text{изм}}$ — измеренное прибором значение тангенса угла потерь,

$$\operatorname{tg}\delta_{\text{м}} = \operatorname{tg}\delta_{\text{д}} + \operatorname{tg}\delta_{\text{расч}},$$

где $\operatorname{tg}\delta_{\text{д}}$ — действительное значение тангенса угла потерь образцового конденсатора,

$\operatorname{tg}\delta_{\text{расч}} = \frac{1}{\omega C_{\text{д}} R_{\text{пар}}}$ — для параллельного соединения резистора с конденсаторами обеих конструкций,

$\operatorname{tg}\delta_{\text{расч}} = \omega C_{\text{д}} R_{\text{посл}}$ — для последовательного соединения резистора с конденсатором двухэлектродной конструкции и

$\operatorname{tg}\delta_{\text{расч}} = \omega R_{\text{посл}} (C_{\text{д}} + C_{13})$ — для последовательного соединения резистора с конденсатором трехэлектродной конструкции.

Примечание. Если значение емкости C_{13} неизвестно, его следует измерить на любом приборе, обеспечивающем трехзажимные измерения емкости с погрешностью не более $\pm 1\%$ (E8-2).

Определение основной погрешности измерения отрицательной емкости производится в следующем порядке:

— к гнезду 1 разъема **КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ** подключается частотомер (п. 1 табл. 21) в режиме измерения периода. Период колебаний измеряется с пятизначным отсчетом;

— производятся измерения мер в соответствии с табл. 23;

— погрешность измерения отрицательной емкости рассчитывается по формуле

$$\Delta(-C) = |C_{\text{изм}}| - C'_{\text{д}}, \quad (25)$$

где $|C_{\text{изм}}|$ — абсолютное значение отрицательной емкости, измеренное прибором;

$C'_{\text{д}}$ — действительное значение отрицательной емкости, рассчитываемое по формуле

$$C'_{\text{д}} = \frac{25,3302 T^2}{L_{\text{д}} (1 + T^2 \operatorname{tg}^2 \delta_{\text{изм}})}, \quad (26)$$

где T — измеренный период колебаний в миллисекундах;

$C'_{\text{д}}$ — в микрофарадах,

$L_{\text{д}}$ — в миллигенри.

Расчет $C'_{\text{д}}$ проводится с погрешностью до пятого знака.

— установите переключатель **ЗАПУСК** в положение **СЛЕДЯЩИЙ**;

— установите переключатели **ВИД ИЗМЕРЕНИЙ** и **ЗНАК C, L** в соответствии с п. 11.2.2а;

— установите переключатель **ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЙ** в положение 4;

— присоедините измеряемый объект к прибору;

— если при этом на табло прибора установятся или колеблются показания 9999 хотя бы по одной из составляющих и будет гореть табло **НЕБАЛАНС**, то при положении переключателя **C, G — L, R** в **C, G** установите переключатель **ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ** последовательно в положения с большим номером предела до исчезновения сигнала **НЕБАЛАНС** при четырехзначном отсчете хотя бы по одной из составляющих; если переключатель **C, G — L, R** установлен в положение **L, R**, добейтесь тех же результатов, устанавливая переключатель **ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ** в положения с меньшим номером предела;

— если в положении 4 переключателя **ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ** на табло прибора устанавливаются или колеблются показания по обоим составляющим с нулями впереди и сигнал **НЕБАЛАНС** отсутствует, то при положении переключателя **C, G — L, R** в **C, G** добейтесь устойчивого четырехзначного отсчета хотя бы по одной из составляющих, устанавливая переключатель **ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ** последовательно в сторону младших пределов; если переключатель **C, G — L, R** установлен в положение **L, R**, добейтесь тех же результатов, увеличивая номер предела;

— при необходимости добейтесь нужной формы результата измерения в соответствии с п. 11.2.2б.

11.2.6. Указания по технике измерений и работе с прибором:

а) емкость между присоединительными зажимами соединительного кабеля прибора при их непосредственном сближении может достигнуть 0,03—0,05 $n\Phi$, поэтому при измерении малых емкостей для реализации полной точности прибора следует выдерживать расстояние между зажимами не менее 2—3 см;

б) критерием правильности показаний является погасание табло **НЕБАЛАНС** после установления показаний прибора.

Однако при измерениях качественных конденсаторов с малыми потерями прибор может выдать нулевой отсчет по активной составляющей (проводимости или тангенса угла потерь), но сигнал НЕБАЛАНС при этом не исчезает.

Эти измерения не являются ошибочными. Их результат говорит о том, что потери измеряемого конденсатора меньше потерь образцового конденсатора прибора;

в) если при измерениях активной составляющей в форме тангенса угла потерь показания на табло активной составляющей составляют 9999, сигнал НЕБАЛАНС не гаснет и уравновешивание происходит с заметно меньшей скоростью, это означает, что тангенс угла потерь измеряемого объекта больше 1 и измерения потерь необходимо производить в форме проводимости или сопротивления;

г) измерение потерь емкости меньше 10 пФ и индуктивности меньше 100 мкГ рекомендуется проводить только в форме активной проводимости или сопротивления.

При измерениях потерь таких объектов в форме тангенса угла потерь уравновешивание производится с малой скоростью и время измерения может значительно превышать 1 с;

д) измерение потерь в форме тангенса угла потерь с автоматическим выбором знака реактивности (переключатель ЗНАК С, L в положении АВТ) сопровождается длительными колебательными процессами, приводящими к увеличению времени измерения.

Поэтому измерение потерь в этой форме следует проводить только при установленном вручную знаке реактивности (о выборе знака реактивности см. п. 11.2.2);

е) если знак реактивности установлен ошибочно (например, установлен «+» вместо «-» или наоборот), на приборе могут установиться нулевые показания по реактивной составляющей при сигнале НЕБАЛАНС или возможны длительные колебательные явления;

ж) если хотя бы по одной из составляющих устанавливаются показания 9999 при сигнале НЕБАЛАНС, значение импеданса измеряемого объекта превышает пределы измерения прибора (при измерениях с автоматическим выбором пределов) или установленный предел измерения (при ручном выборе пределов);

Таблица 28

| Номера мер | Измеряемые параметры | Режимы измерения |
|--|--|------------------|
| 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17 | Положительная емкость, тангенс угла потерь | C, tgδ |
| 19—22 | Отрицательная емкость, тангенс угла потерь | -C, tgδ |

Определение основной погрешности измерения положительной емкости производится в следующем порядке:

— из табл. 22 по значению емкости конденсатора, подлежащего измерению, определяется сопротивление дополнительного резистора и вид его соединения с конденсатором.

Примечание. В случае измерения конденсатора трехэлектродной конструкции с последовательным резистором, полученное из табл. 22 значение сопротивления резистора должно быть уменьшено в $\left(1 + \frac{C_{13}}{C_d}\right)$ раз, где C_{13} — действительное значение емкости вывода 1 образцового конденсатора на экран;

— резистор присоединяют к конденсатору и измеряют полученную цепь на приборе Е7-8. Если тангенс угла потерь образцового конденсатора не менее $6 \cdot 10^{-4}$, подключать дополнительный резистор не следует.

Схемы подключения цепи к прибору для конденсаторов двухэлектродной конструкции представлены на рис. 25 и трехэлектродной — на рис. 26;

— основная погрешность измерения емкости подсчитывается по формуле

$$\Delta C = C_{\text{изм}} - C_d, \quad (23)$$

где $C_{\text{изм}}$ — измеренное прибором значение емкости образцового конденсатора.

— Основная погрешность измерения тангенса угла потерь определяется по формуле

$$\Delta \text{tg} \delta = \text{tg} \delta_{\text{изм}} - \text{tg} \delta_m, \quad (24)$$

отрицательной
 $\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 0,01 \text{ пФ} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}]$;
 отрицательной и положительной емкости от 10 мкФ до
 100 мкФ

$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1,5 + \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}]$;
 тангенса угла потерь положительной емкости

$\pm (5 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta)$ до 10 мкФ,

$\pm (1 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg} \delta)$ свыше 10 мкФ;

г) определение основных погрешностей измерений положительной и отрицательной индуктивности и тангенса угла потерь. Номера мер и параметры, подлежащие измерению, приведены в табл. 24.

Таблица 24

| Номера мер | Измеряемые параметры | Режимы измерения |
|-----------------|---|------------------|
| 18—22 | Положительная индуктивность | L, tgδ |
| 3, 6, 9, 13, 16 | Отрицательная индуктивность и тангенс угла потерь | -L, tgδ |

Основная погрешность измерения положительной индуктивности подсчитывается по формуле

$$\Delta L = L_{\text{изм}} - L_{\text{д}}, \quad (27)$$

где $L_{\text{изм}}$ — измеренное прибором значение индуктивности.

Измерение отрицательной индуктивности производится в порядке, изложенном в п. 14.4.3в, для отрицательной емкости при контроле периода колебаний генератора частотомером ЧЗ-38 на гнезде 1 разъема КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ.

Основная погрешность измерения отрицательной индуктивности рассчитывается по формуле

$$\Delta(-L) = |L_{\text{изм}}| - L'_{\text{д}}, \quad (28)$$

где $|L_{\text{изм}}|$ — абсолютное значение отрицательной индуктивности, измеренное прибором;

в) Если измерению подлежит объект с известным характером реактивности, то в зависимости от желаемой формы результатов измерения установите переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЯ и ЗНАК С, L в положения, соответствующие табл. 10.

11.2.3. Измерения в следящем режиме с автоматическим выбором пределов измерения.

Этот вид измерения используется тогда, когда необходимо проследить изменения параметров измеряемого объекта (например, при климатических испытаниях или при определении пределов изменения регулируемого элемента). Этот режим, однако, может быть использован и при одиночных измерениях.

Порядок проведения измерений следующий:

— установите переключатель ЗАПУСК в положение СЛЕДЯЩИЙ;

— установите переключатели ЗНАК С, L и ВИД ИЗМЕРЕНИЯ в соответствии с п. 11.2.2;

— присоедините измеряемый объект в соответствии с п. 11.2.1; прибор без участия оператора сразу начинает измерения, в процессе измерений на табло прибора высвечивается надпись НЕБАЛАНС;

— по окончании измерений (надпись НЕБАЛАНС гаснет) прочтите результаты измерения на табло прибора.

Примечание. При наличии внешних влияющих факторов, вызывающих нестабильность измерений, лампочка НЕБАЛАНС при балансе моста может полностью не погаснуть. При этом результат измерения следует отсчитывать как среднее арифметическое от крайних значений, высвечивающихся на табло прибора.

Если необходимо, добейтесь нужной формы результата в соответствии с указаниями п. 11.2.2.

11.2.4. Измерения в режиме одиночного запуска с автоматическим выбором пределов измерения.

Режим используется для проведения измерений с ручным или внешним запуском прибора (например, при работе с устройством присоединительным 3.669.014-01).

Порядок работы следующий:

— установите переключатель ЗАПУСК в положение РУЧНОЙ;

— установите переключатели **ЗНАК С, L** и **ВИД ИЗМЕРЕНИЯ** в соответствии с п. 11.2.2;

— присоедините измеряемый объект в соответствии с п. 11.2.1, на табло прибора должна появиться надпись **НЕБАЛАНС**;

— нажмите кнопку **ЗАПУСК РУЧНОЙ** (при внешнем запуске прибора пуск осуществляется замыканием гнезда **ВНЕШНИЙ** на корпус);

— по окончании измерений (надпись **НЕБАЛАНС** гаснет) прочтите результаты измерения на табло прибора;

— если необходимо, добейтесь нужной формы результата в соответствии с указаниями п. 11.2.2.

11.2.5. Измерения с ручным выбором пределов.

Измерения с ручным выбором пределов являются режимом, обеспечивающим наибольшую сохранность прибора. Его следует применять при измерениях большого количества объектов с близкими по значению импедансами, в частности, при разбраковке с использованием компаратора кодов типа 202 (п. 11.2.12).

Если значения составляющих измеряемого импеданса известны, то перед измерениями, пользуясь табл. 11, где приведены значения измеряемых величин на каждом из пределов измерения, установите переключатель **ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ** в нужное положение и проведите измерения в любом из режимов, описанных в пп. 11.2.3 и 11.2.4.

Таблица 11

| Предел | Емкость | Проводимость | Индуктивность | Сопротивление |
|--------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|
| 1 | $\pm 99,99$ пФ | 999,9 нСм | $\pm 999,9$ Г | 9,999 МОм |
| 2 | $\pm 999,9$ пФ | 9,999 мкСм | $\pm 99,99$ Г | 999,9 кОм |
| 3 | $\pm 9,999$ нФ | 99,99 мкСм | $\pm 9,999$ Г | 99,99 кОм |
| 4 | $\pm 99,99$ нФ | 999,9 мкСм | $\pm 999,9$ мГ | 9,999 кОм |
| 5 | $\pm 999,9$ нФ | 9,999 мСм | $\pm 99,99$ мГ | 999,9 Ом |
| 6 | $\pm 9,999$ мкФ | 99,99 мСм | $\pm 9,999$ мГ | 99,99 Ом |
| 7 | $\pm 99,99$ мкФ | 999,9 мСм | $\pm 999,9$ мкГ | 9,999 Ом |

Если измерению подлежит импеданс с неизвестными значениями составляющих, то рекомендуется следующий порядок измерений:

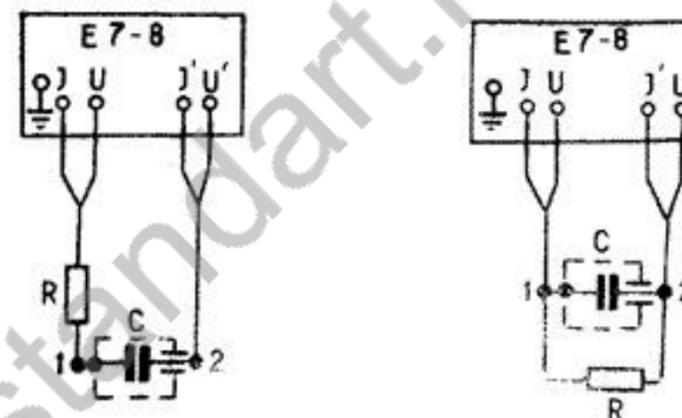


Рис. 25. Схема подключения двухэлектродных конденсаторов с резисторами к прибору E7-8

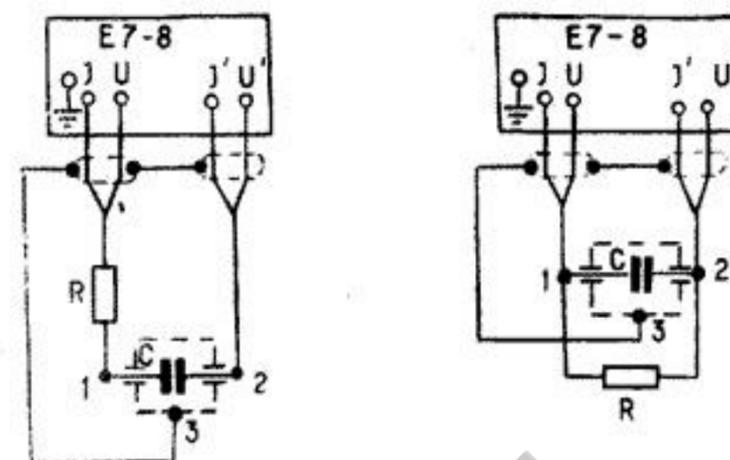


Рис. 26. Схема подключения трехэлектродных конденсаторов с резисторами к прибору E7-8

Погрешности измерений не должны превышать:

емкости от 0,01 пФ до 10 мкФ

положительной

$$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + 0,5 \operatorname{tg} \delta) C_{\text{изм}} + 0,01 \text{ пФ} + 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{к}}];$$

Основные погрешности измерения сопротивления и проводимости рассчитываются соответственно по формулам:

$$\Delta R = R_{\text{изм}} - R_{\text{д}}, \quad (30)$$

$$\Delta G = G_{\text{изм}} - G_{\text{д}}, \quad (31)$$

где $R_{\text{изм}}$ и $G_{\text{изм}}$ — измеренные прибором значения сопротивления и проводимости;

$$G_{\text{д}} = \frac{1}{R_{\text{д}}}. \quad (32)$$

Погрешности измерения не должны превышать:

— сопротивления

$$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \text{tg} \varphi) R_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} R_{\text{к}}];$$

— проводимости

$$\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \text{tg} \varphi) G_{\text{изм}} + 1 \cdot 10^{-4} G_{\text{к}}]$$

и измеренное значение реактивной составляющей меры 24 должно быть не более:

$$\pm 0,012 \text{ мкФ при измерениях проводимости и}$$

$$\pm 1,2 \text{ мкГн при измерении сопротивления;}$$

е) определение основных погрешностей измерения величин с устройством присоединительным 3.669.014-01 производится в следующем порядке:

— к прибору подключается устройство присоединительное, зажимы которого установлены на минимально возможном расстоянии;

— переключатель ЗАПУСК устанавливается в положение РУЧНОЙ;

— переключатели прибора устанавливаются в режим работы С, G;

— нажимается педаль устройства и измеряется его начальная емкость, значение которой не должно превышать 1,0 пФ;

— зажимы устройства замыкаются медной или латунной пластиной шириной порядка 1 см;

— переключатели прибора переводятся в режим работы L, R и G, R;

— нажимается педаль устройства и измеряются его последовательное сопротивление и индуктивность, значения которых не должны превышать 0,1 Ом и 1,0 мкГн соответственно.

ному выводам измеряемого объекта (например, выводы одного из кабелей соединяются с выводами J, U, второго — с J', U'). Присоедините зажимы кабеля соединительного прибора E7-8 к связанным выводам каждого из кабелей.

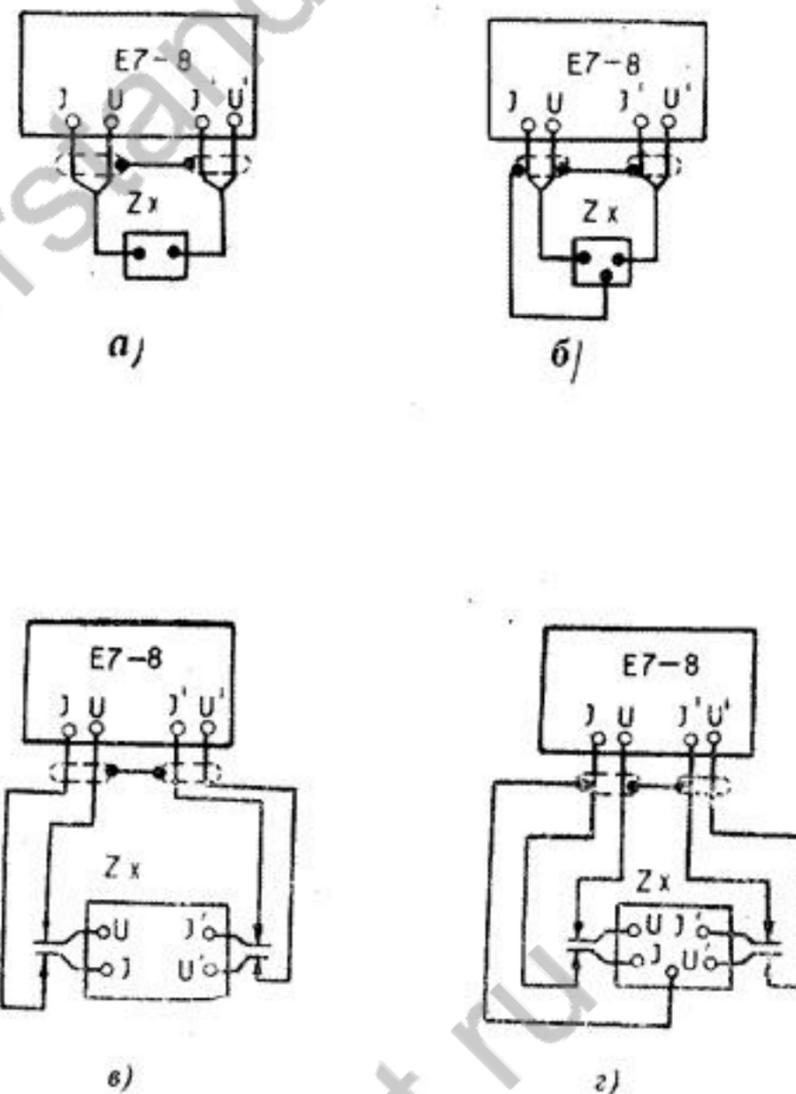


Рис. 19. Подсоединение к прибору E7-8 измеряемых объектов 2-, 3-, 4- и 5-зажимной конструкции

Если объект имеет пятый вывод (экран), присоедините его к корпусному зажиму соединительного кабеля прибора (рис. 19в, г).

11.2.2. Установка переключателей ВИД ИЗМЕРЕНИЯ и ЗНАК С, L при измерениях с автоматическим выбором пределов.

- а) Если измерению подлежит резистор, то установите:
 — переключатель ЗНАК С, L в положение АВТ;
 — переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЯ в положения G, R — для переключателя G, R — $\operatorname{tg}\delta$;

С, G или L, R для переключателя С, G — L, R, в зависимости от желаемой формы результата измерения сопротивления резистора (в виде проводимости для положения С, G или сопротивления для положения L, R).

Следует также помнить, что при измерениях проводимости G реактивная составляющая будет измерена прибором в виде параллельной положительной или отрицательной емкости; при измерениях сопротивления — в форме положительной или отрицательной индуктивности.

- б) Если измерению подлежит объект с неизвестным характером реактивности, установите переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЯ и ЗНАК С, L в те же положения, что и по п. 11.2.2а.

После проведения измерений и определения характера реактивности добейтесь желаемой формы результата измерения, установив переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЯ и ЗНАК С, L в соответствии с табл. 10.

Таблица 10

| Характер измеряемой реактивности | Желаемая форма результата измерения | Положение переключателей | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------|----------------------------------|
| | | знак С, L | С, G—L, R | G, R — $\operatorname{tg}\delta$ |
| Емкость | С, G | «+» или АВТ | С, G | G, R |
| | С, $\operatorname{tg}\delta$ | «+» | С, G | $\operatorname{tg}\delta$ |
| | —L, R | «—» или АВТ | L, R | G, R |
| | —L, $\operatorname{tg}\delta$ | «—» | L, R | $\operatorname{tg}\delta$ |
| Индуктивность | L, R | «+» или АВТ | L, R | G, R |
| | L, $\operatorname{tg}\delta$ | «+» | L, R | $\operatorname{tg}\delta$ |
| | —С, G | «—» или АВТ | С, G | G, R |
| | —С, $\operatorname{tg}\delta$ | «—» | С, G | $\operatorname{tg}\delta$ |

L'_d — действительное значение отрицательной индуктивности, рассчитываемое по формуле

$$L'_d = \frac{25,3302 T^2}{C_d (1 + T^2 \operatorname{tg}^2 \delta_{\text{расч}})}, \quad (29)$$

где T — период колебаний в миллисекундах;

L'_d — в миллигенри;

C_d — в микрофарадах;

$\operatorname{tg}\delta_{\text{расч}}$ — определяется по методике п. 14.4.3в.

Требования к погрешностям определения периода и расчета те же, что в п. 14.4.3в.

Основная погрешность измерения тангенса угла потерь определяется по формуле (24).

Погрешности измерения не должны превышать:

— положительной и отрицательной индуктивности $\pm [1 \cdot 10^{-3} (1 + \operatorname{tg}\delta) L_{\text{изм}} + 0,1 \text{ мкГн} + 1 \cdot 10^{-4} L_{\text{к}}]$;

— тангенса угла потерь отрицательной индуктивности $\pm (1 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} \operatorname{tg}\delta)$;

д) определение основных погрешностей измерения сопротивления и проводимости.

Номера мер и параметры, подлежащие измерению, приведены в табл. 25.

Таблица 25

| Номера мер | Измеряемые параметры | Режимы измерения |
|------------|---|----------------------|
| 23 | Сопротивление | $\pm L, R$ |
| 25—30 | Сопротивление, проводимость | $\pm L, R; \pm C, G$ |
| 24 | Сопротивление и положительная или отрицательная индуктивность; проводимость и положительная или отрицательная емкость | $\pm L, R; \pm C, G$ |

— перед консервацией необходимо проверить исправность прибора в нормальных условиях согласно п. 11.1 раздела ПОРЯДОК РАБОТЫ и провести 8-часовую приработку прибора;

— внешние и внутренние (после истечения гарантийного срока) поверхности прибора очистить от механических загрязнений;

— металлические неокрашенные поверхности прибора освободить от старой консервационной смазки, удалить следы коррозии, обезжирить с помощью бензина авиационного ГОСТ 1012-72 и хлопчатобумажной салфетки и затем просушить.

Для обезжиривания допускается применять другие органические растворители, не содержащие токсических веществ;

— внешние и внутренние металлические неокрашенные поверхности (детали) прибора покрыть смазкой консервационной К-17 ГОСТ 10877-74 или смазкой пластичной ПВК ГОСТ 19537-74.

15.4. В формуляре прибора указать дату консервации.

15.5. Работа по консервации должна производиться в соответствии с правилами и нормами по технике безопасности.

15.6. При длительном хранении прибора необходимо один раз в год производить проверку его работоспособности и приработку в течение 8 часов.

15.7. После длительного хранения в условиях, отличных от нормальных, прибор перед включением необходимо выдерживать в распакованном и расконсервированном виде в течение 12 часов в нормальных условиях.

16. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

16.1. Тара, упаковка и маркирование упаковки

16.1.1. Прибор вместе с эксплуатационной документацией укладывается в укладочный ящик 4.161.033-01. Комплект ЗИП и принадлежности укладываются в ящик 4.161.053. Перед укладкой в ящики прибор, ЗИП и принадлежности оберываются бумагой парафинированной или подпергаментом. Для поглощения ударных и вибрационных нагрузок в укладочном ящике 4.161.033-01 применяются прокладки из пластины губчатой и войлока. Ящики с уложенными в них изделиями пломбируются.

9.4. Лица, допущенные к работе, должны проходить ежегодно проверку знаний техники безопасности.

9.5. В процессе профилактических работ и ремонта воспрещается:

а) производить ремонт и смену радиоэлементов под напряжением;

б) определять наличие напряжения в схеме на ощупь или на искру;

в) оставлять без надзора прибор под напряжением.

9.6. В целях защиты оператора корпус прибора при работе должен быть заземлен (занулен).

10. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Перед включением прибора в сеть необходимо ознакомиться с техническим описанием, инструкцией по эксплуатации, расположением органов управления и выходных устройств.

Чтобы подготовить прибор к работе, произведите следующие операции:

— подключите к прибору кабель питания;

— заземлите прибор с помощью клеммы защитного заземления;

— проверьте правильность установки и номиналы предохранителей;

— установите тумблер СЕТЬ в нижнее положение и включите в сеть кабель питания прибора;

— к гнездам Zx (J, U, J', U') подсоедините кабель соединительный 4.853.338-01;

— установите переключатель U ПОЛЯР., J ПОДМАГН. в положение ВЫКЛ., переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ — в АВТ., переключатель ЗНАК С, L — в положение АВТ.

11. ПОРЯДОК РАБОТЫ

11.1. Подготовка к проведению измерений

Включите тумблер СЕТЬ и дайте прибору прогреться в течение 1 минуты (если прибор работает в условиях, отличающихся от нормальных, следует учесть особенности работы, описанные в подразделе 11.2.14).

Убедитесь в правильном функционировании прибора. Проверка производится в следующем порядке:

— установите переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЙ в положение С, G и G, R, а тумблер ЗАПУСК — в положение СЛЕДЯЩИЙ;

— при разведенных концах соединительного кабеля на табло прибора должны появиться показания по обеим составляющим $00,00 \text{ pF}$ или $00,01 \text{ pF}$ и $000,0 \text{ nS}$;

— закоротите концы соединительного кабеля с помощью медной или латунной пластины шириной порядка 1 см и длиной 2 см , на табло прибора по обеим составляющим должны установиться показания $99,99 \text{ }\mu\text{F}$ и $999,9 \text{ mS}$;

— переведите переключатель С, G — L, R в положение L, R.

При замкнутых концах соединительного кабеля на табло прибора должны быть показания $000,0$ или $000,1 \text{ }\mu\text{H}$ и $0,000 \text{ }\Omega$, при разомкнутых — $999,9 \text{ H}$ и $9,999 \text{ M}\Omega$.

Подготовка прибора к измерению при работе его с устройством присоединительным 3.669.014-01 или компаратором кодов 202 описаны в подразделах 11.2.11 и 11.2.12.

Для повышения устойчивости показаний прибора при измерениях необходимо измеряемый объект и прибор размещать вдали от источников электромагнитных полей.

11.2. Проведение измерений

11.2.1. Присоединение измеряемых объектов:

а) при измерениях объектов двухэлектродной конструкции выводы соединительного кабеля прибора Е7-8 присоедините к выводам измеряемого объекта. Если объект измерения заключен в экран, соединенный с одним из его выводов, то этот вывод должен быть присоединен к выводу кабеля прибора Е7-8, включенному в гнезда J, U (рис. 19а);

б) при измерениях проходного импеданса объектов трехэлектродной конструкции выводы кабеля соединительного прибора Е7-8 присоедините к тем зажимам объекта, импеданс между которыми следует измерить. Третий электрод присоедините к корпусному зажиму кабеля (типа крокодил) (рис. 19б).

Об особенностях измерений объектов этого вида подробно изложено в п. 11.2.9 настоящей инструкции;

в) для присоединения объектов четырех- и пятиэлектродной конструкции используйте кабели соединительные 4.853.426, входящие в комплект прибора.

Присоедините несвязанные концы с плоскими зажимами каждого из кабелей к одноименным токовому и потенциаль-

14.5. Оформление результатов поверки

14.5.1. Положительные результаты поверки оформляются путем:

— клеймения прибора в предусмотренных для этого местах и записи результатов поверки в формуляр или выдачи свидетельства о ведомственной поверке;

— выдачи свидетельства о государственной поверке в случае государственной поверки.

Результаты измерений заносятся в протокол, форма которого соответствует табл. 9 раздела «Периодическая поверка основных нормативно-технических характеристик» формуляра 2.724.007 ФО.

14.5.2. Прибор, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. В этом случае выдается справка о его непригодности к применению с записью в ней параметров, по которым прибор не соответствует техническим условиям.

15. ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ

15.1. Прибор при хранении должен размещаться на стеллажах на уровне $1,5 \text{ м}$ от пола и не ближе 2 м от дверей, вентиляционных отверстий, отопительных устройств в рабочем положении в следующих условиях:

а) в отапливаемых хранилищах при температуре окружающей среды от 278 до 313 К (от 5 до плюс $40 \text{ }^\circ\text{C}$) и относительной влажности до 80% при температуре 298 К ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) и ниже без конденсации влаги. Срок хранения 5 лет;

б) в неотапливаемых хранилищах при температуре окружающей среды от 223 до 313 К (от минус 50 до плюс $40 \text{ }^\circ\text{C}$) и относительной влажности до 95% при температуре 298 К ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) и ниже без конденсации влаги. Срок хранения 3 года.

Приборы, поступающие на склад потребителя, могут храниться в укладочном ящике не более 12 месяцев.

15.2. В помещении для хранения не должно быть пыли, паров кислот и щелочей, а также газов, вызывающих коррозию.

15.3. Прибор перед закладкой на длительное хранение (на срок более $2,5$ лет) должен быть законсервирован. При этом:

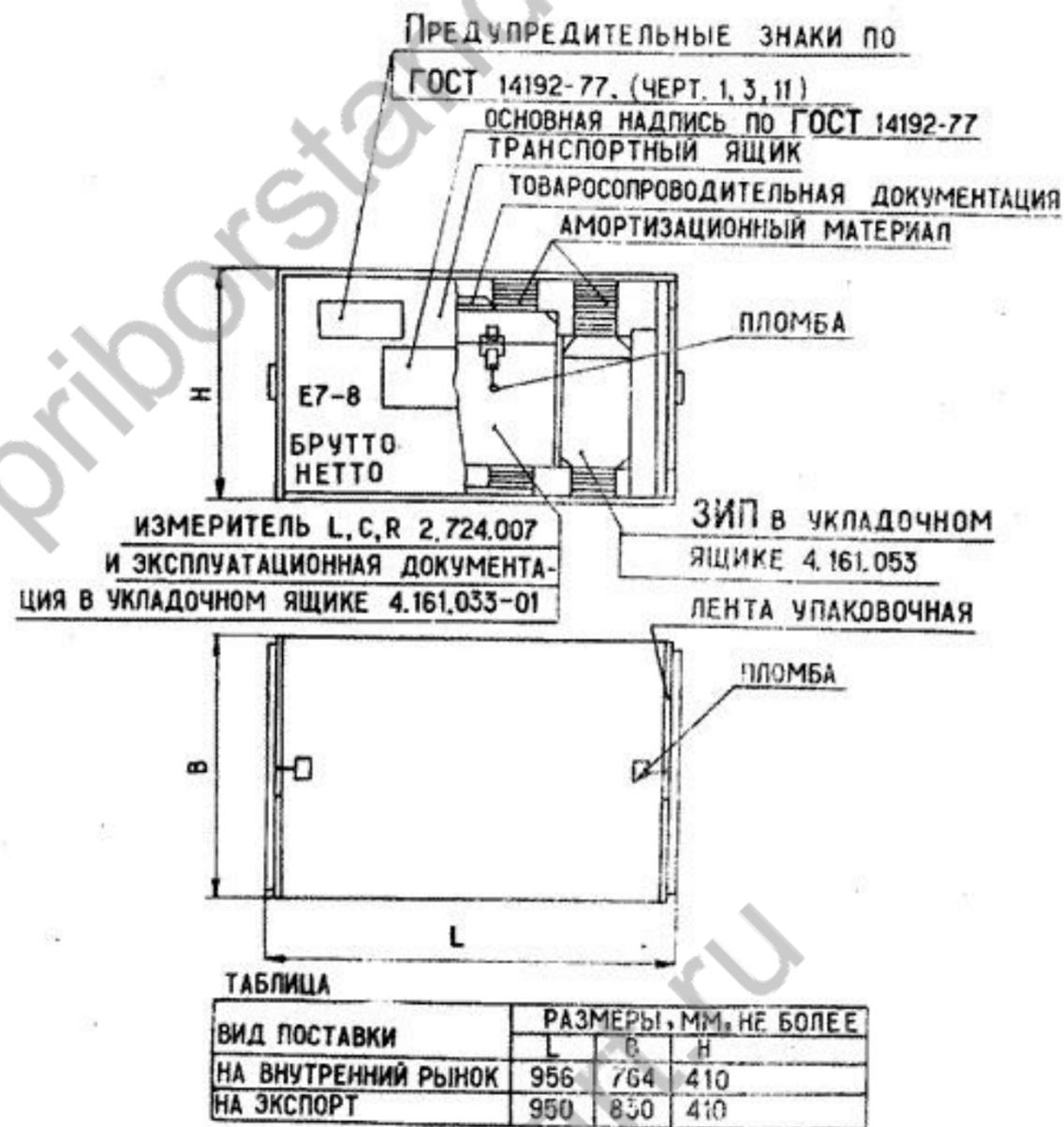


Рис. 27. Схема упаковки и маркирования упаковки

служат для подстройки образцового конденсатора С1 при регулировке прибора. Резистор R5 и конденсатор С4 с мостиком термокомпенсации R6 — R12 (5.283.861) обеспечивают термокомпенсацию образцового конденсатора С1. Ток с термокомпенсационного мостика протекает по обмотке 12—13 компаратора токов Тр6 и транзистор Т4 (5.283.858) при отрицательном знаке измеряемой реактивности и по обмотке 12—11 и транзистор Т3 (5.283.858) при положительном знаке. К выводам 44 и 46 трансформатора Тр12 подсоединены ключи аналогового уравнивания (Т1, Т2 блока У30), вывод 45 соединен с конденсатором аналогового уравнивания (У30). Величина емкости конденсатора 120 нФ, что обеспечивает плавное уравнивание моста по реактивной составляющей в пределах 0,6 единицы дискретности.

Обмотка 1—2 трансформатора Тр12 содержит 318 витков; при таком количестве витков обеспечивается измерение в режимах G, R и tgδ при помощи одного и того же образцового конденсатора. Каждая секция обмоток 4—13, 14—23 и 24—33 содержит по 20 витков, каждая секция 34—43 состоит из 2 витков. Секции обмотки 44—46 содержат по одному витку.

Уравнивание моста по активной составляющей производится аналогичным образом с помощью трансформаторов Тр11, Тр9, Тр7, Тр4. Масштабные трансформаторы активной составляющей идентичны трансформаторам реактивной составляющей. Трансформатор Тр11 отличается от Тр12 тем, что обмотка 1—2 содержит 200 витков. Суммированное напряжение активной составляющей подается на образцовый резистор (R1 платы 5.283.858). Элементы подстройки резистора С2, R3 и R2, R4. Конденсатор С1 компенсирует сдвиг напряжения второй декады трансформатором Тр4. Управление ключами реверса знака реактивной составляющей Т2, Т3 и Т1, Т4 (5.283.858) происходит с блока управления У10 (выводы 13, 0 разъема Ш10). Кроме токов активной и реактивной составляющих, в компаратор токов Тр6 подается ток, проходящий через резистор R16 (обмотки 7—6 в режиме С, G и 5—4 в режиме L, R). При переводе моста из режима измерения G, R и tgδ точка 1 трансформатора Тр11 переключается с точки 1 трансформатора Тр12 к образцовому конденсатору (вывод 3 У24).

Выходное напряжение разбаланса моста поступает на вход усилителя разбаланса У19 (вывод 4 Ш19).

7. МАРКИРОВАНИЕ И ПЛОМБИРОВАНИЕ

7.1. На передней панели прибора нанесены наименование прибора и его условное обозначение. Условное обозначение также нанесено на правой стенке прибора.

На задней панели нанесены заводской номер и год изготовления прибора.

7.2. Пломбирование прибора производится четырьмя пломбами, расположенными на боковых стенках корпуса прибора.

8. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

8.1. После распаковки прибор установите на рабочее место, произведите внешний осмотр, проверьте комплектность путем сличения с данными табл. 1а технического описания.

Если хранение или транспортирование прибора производилось в условиях, отличающихся от нормальных, то перед его включением необходима выдержка в нормальных условиях в соответствии с п. 2.22 технического описания.

После длительного хранения в соответствии с разделом 15 прибор подлежит проверке в объеме раздела 14.

8.2. В приборе установлен электрохимический счетчик ЭСВ, который при включении тумблера СЕТЬ начинает отсчет времени его наработки. Необходимо ежемесячно снимать показания счетчика и данные заносить в формуляр прибора. При достижении мениском столбика ртути конца шкалы счетчик должен быть снят с прибора и заменен.

9. УКАЗАНИЯ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

9.1. При работе с прибором обслуживающим персоналом должны выполняться общие правила работы с электрическими установками.

9.2. Лица, допущенные к работе, должны иметь соответствующую техническую квалификацию и подготовку, а также уметь своевременно и четко оказывать первую помощь пострадавшим от электрического тока.

9.3. При работе с прибором без крышек следует соблюдать особую осторожность, так как отдельные точки схемы имеют переменное напряжение 220 В (VI), постоянное 200 В (У2—У6, У14), опасные для жизни (приложение 1, рис. 1).

Упаковка прибора проводится в нормальных условиях.

16.1.2. Укладочные ящики с уложенными изделиями упаковываются в транспортный ящик.

Внутренние поверхности ящика выстилаются водонепроницаемой бумагой ГОСТ 8828-61 или ГОСТ 515-56. Свободный объем в транспортном ящике плотно заполняется древесной стружкой или другим амортизационным материалом. Крышка ящика закрепляется гвоздями, ящик по торцам плотно обтягивается упаковочной лентой и пломбируется.

16.1.3. Маркирование упаковки производится по ГОСТ 14192-77. Предупредительные знаки, имеющие значение ВЕРХ, НЕ КАНТОВАТЬ, ОСТОРОЖНО, ХРУПКОЕ, БОИТСЯ СЫРОСТИ, наносятся на двух стенках ящика.

Схема упаковки, маркирования и пломбирования приведена на рис. 27.

16.2. Условия транспортирования

16.2.1. Транспортирование прибора может производиться только в транспортной таре всеми видами транспорта при температуре окружающей среды от 223 до 333 К (от минус 50 до плюс 60 °С) и относительной влажности до 95 % при температуре 303 К (30 °С) и ниже без конденсации влаги.

При транспортировании воздушным транспортом приборы должны быть размещены в герметизированных отсеках.

16.2.2. При транспортировании должна быть предусмотрена защита от попадания атмосферных осадков и пыли. Не допускается кантование прибора.

При транспортировании морским транспортом внутренняя (барьерная) упаковка должна быть герметичной (прибор перед укладкой в укладочный ящик поместить в чехол из полиэтиленовой пленки, который герметично закрывается). В чехол уложить сумки, наполненные не более 0,4 кг силикагеля марки КСМГ ГОСТ 3956-76. Общее количество силикагеля берется из расчета 1,0 кг на каждый 1 м² поверхности чехла.

16.2.3. При повторной упаковке необходимо обеспечить промежутки между стенками транспортного и укладочного ящиков в пределах 50—70 мм, которые должны быть заполнены амортизирующим материалом. Упаковка и маркирование производится в соответствии с пунктом 16.1.

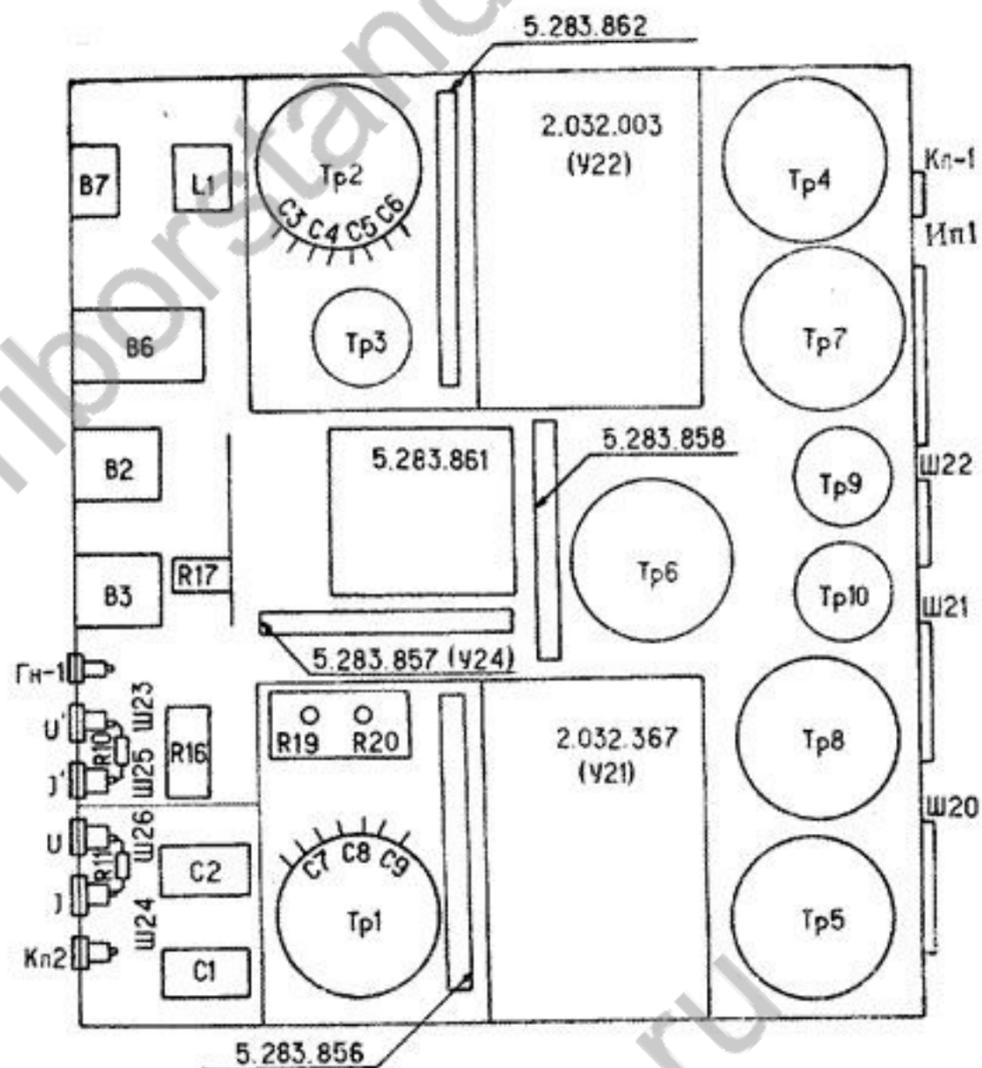


Рис. 2. Расположение элементов со стороны монтажа
(Вид снизу)

Напряжение генератора поступает через конденсатор С1. Ток через измеряемый объект на I—III пределах проходит через Ш23 и через одно из реле Р1—Р3 (5.283.856) на трансформатор Tr1 (выводы 4, 5, 6). Резистор обратной связи R18 через реле Р6 подключен к одному витку трансформатора Tr1 (вывод 7). Реле Р5 разомкнуто. На IV—VII пределах резистор R18 подключен через Ш25 к измеряемому объекту (реле Р5, Р4 замкнуты, реле Р1, Р2, Р3, Р6 разомкнуты). Элементы С14*, С15*, R19—R21 служат для подстройки резистора R18 по модулю и по фазе. Резистор R22 включен для устранения влияния конденсаторов С14* и С15* на устойчивость усилителя операционного У21. Транзисторы Т1—Т6 (5.283.856) управляют состояниями реле Р1—Р6. Управляющие сигналы поступают на базы транзисторов с блока индикации наименований (выходы 14, 13, 12, 2, Б разъема Ш8). Выход операционного усилителя подключается через переключатель В3/3 в режиме С, G к образцовому резистору R16, в режиме L, R — к первичной обмотке трансформатора Tr12. Конденсаторы С7*—С9* (2.724.007) и катушка индуктивности L1 (5.283.856) служат для калибровки моста по $\text{tg} \delta$ на I, II и III пределах. Резисторы R7 и R8 обеспечивают автоматическое смещение выключенных транзисторов. Резистор R6 снижает нагрузку на микросхему, с которой подается управляющий сигнал на базы транзисторов Т4 и Т5. Резисторы R2 и R9 гасящие обеспечивают подачу на обмотки реле необходимого напряжения. При ручном выборе пределов питание с обмоток реле Р1—Р4 снимается переключателем В6/2 и В6/3, и работа реле Р1—Р4 дублируется переключателем В6/1. Это сделано для защиты контактов при измерениях электролитических конденсаторов с подпиткой. Резисторы R10 и R11 служат для снижения перегрузок операционных усилителей У21 и У22 при размыкании губок присоединительного устройства во время подключения измеряемого объекта. Напряжение на выходе операционного усилителя У21 пропорционально току, протекающему через измеряемый объект (внутри каждого из пределов).

Напряжение, приложенное к измеряемому объекту, через разъем Ш26 и конденсатор С2 поступает на вывод 7 трансформатора Tr2. Выводы 3, 4, 5, 6 через одно из реле Р1—Р4 (5.283.862) и резисторы R1—R4 подключены к согласующему трансформатору Tr3. Резисторы R1—R4 обеспечивают постоянство глубины обратной связи операционного усилителя.

теля У22 при смене пределов с IV по VII. Реле Р1 включено на I—IV пределах, Р2 — на V, Р3 — на VI, Р4 — на VII. Обмотки реле коммутируются транзисторами Т1 — Т4, управляющие сигналы на их базы поступают с блока индикации наименований (выводы 9, 10, 11, 1 Ш8). Конденсатор С1 (5.283.862) разделительный и служит для обеспечения режима по постоянному току выходной микросхемы операционного усилителя У22. При ручном выборе пределов реле Р1 — Р4, так же как и реле платы 5.283.856 дублируются переключателем В6/2, В6/3, при этом обмотки реле обесточиваются. При переходе с IV предела на V, VI, VII обратная связь усилителя уменьшается в 10, 100 и 1000 раз, и коэффициент передачи усилителя становится на V пределе — 10, на VI — 100, на VII — 1000. Поскольку синхронно с переключением витков трансформатора Тр2 выходное напряжение генератора на V, VI и VII пределах падает соответственно в 10, 100 и 1000 раз, напряжение на выходе усилителя У22 при переключении пределов измерения изменяется не более $\pm 30\%$. В режиме С, G выход усилителя У22 подключен к первичной обмотке трансформатора Тр12, в режиме L, R — к образцовому резистору R16.

Уравновешивание моста по реактивной составляющей производится при помощи коммутации секций обмоток трансформатора Тр12. Обмотка 4—13 служит для уравновешивания моста по первой декаде, 14—23 — по второй, 24—33 — по третьей, 34—43 — по четвертой. Транзисторные ключи, переключающие секции обмоток трансформатора Тр12, расположены в блоках У25, У27, У29, У33. Управление ключами происходит от соответствующих декад реверсивных счетчиков У3 — У6 (выводы 28, 12, 1, 14 и т. д. разъемов Ш3 — Ш6). Уравновешивающие напряжения IV, III и II декад приводятся к необходимому масштабу и складываются с напряжением первой декады. Суммарное напряжение через буферный усилитель У24 с коэффициентом передачи I подается на образцовый конденсатор С1 (5.283.861). Ток конденсатора С1 протекает через обмотку 9—10 компаратора токов Тр6 и транзистор Т2 (5.283.858) при измерении положительной реактивности или через обмотку 9—8 Тр6 и транзистор Т1 (5.283.858) при измерении отрицательной реактивности. Для подстройки образцового конденсатора С1 по емкости и $\text{tg}\delta$ служат цепочки С17, R23 и R24, R25. Шлицы резисторов R23 и R25 выведены на заднюю панель. Элементы R1, С2, С3, R4 (5.283.861)

СХЕМЫ ПОЗИЦИОННЫХ МАРКИРОВОК ЭЛЕМЕНТОВ

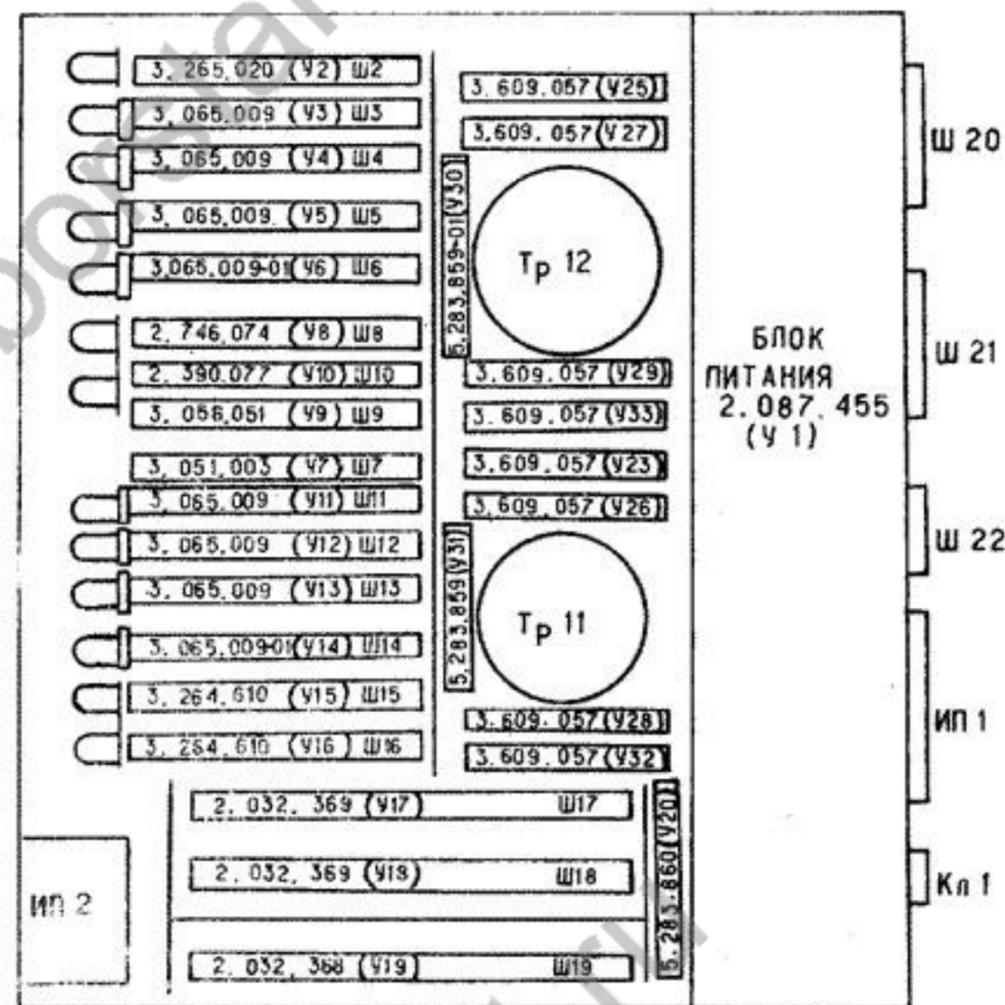


Рис. 1. Расположение элементов со стороны монтажа (Вид сверху)

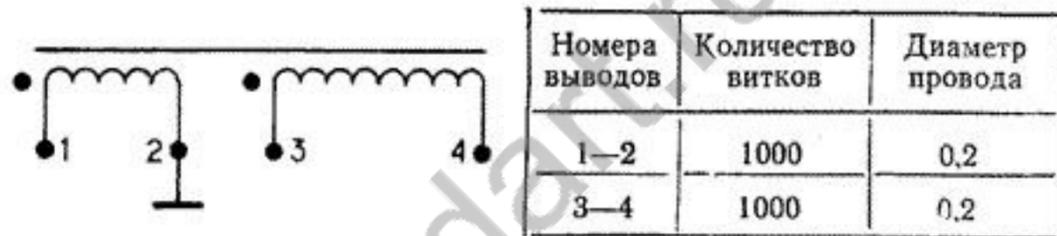


Рис. 4. Электрическая схема и данные намотки трансформаторов Tr9 и Tr10 (4.728.010)

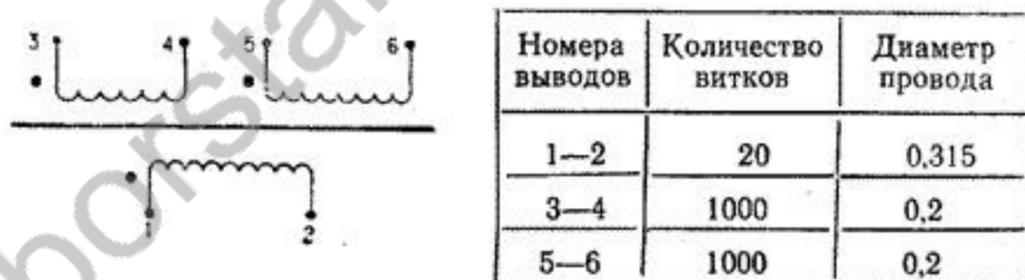
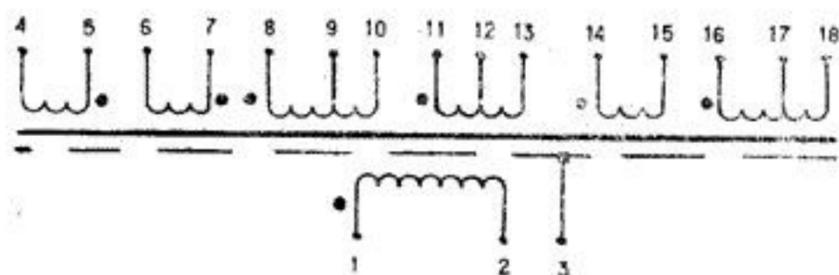


Рис. 5. Электрическая схема и данные намотки трансформатора Tr3 (4.728.010-02)



| Номера выводов | Количество витков | Диаметр провода |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 1—2 | 200 | 0,2 |
| 4—5 | 20 | 0,355 |
| 6—7 | 200 | 0,355 |
| 8—9—10 | 2×200 | 0,355 |
| 11—12—13 | 2×4 | 0,2 |
| 14—15 | 200 | 0,355 |
| 16—17—18 | 2×2 | 0,2 |

Рис. 6. Электрическая схема и данные намотки трансформатора Tr6 (4.728.009)

стабильность задержки обеспечивается полевым транзистором Т5, быстрое время восстановления кипи-реле — R13, Д2, регулировка длительности задержки — R16, блокировка входной цепи от прохождения сигналов помехи — R17, потенциальное управление срывом задержки 1, 2 с — R21, входные дифференцирующие цепи запуска С6, Д3, R20 (при запуске прибора от кнопки на передней панели) либо С7, Д3, R20 (при запуске прибора внешним сигналом). Импульс конца измерения формируется триггером, собранным на МС2. Растяжка выходного импульса конца измерения до 2 мс обеспечивается задержками на С10, Д5 и R22, С8, С9, а также МС1.

6.14. Плата 5.283.857 ЭЗ

На плате 5.283.857 собран буферный усилитель, задачей которого является развязка трансформатора уравнивания реактивной составляющей Tr12 (2.724.007) от нагрузки образцовым конденсатором С1 (5.283.861) и трансформатором Tr11 (2.724.007) в режиме tgδ. Отсутствие такой развязки приводило бы к увеличенной погрешности измерения по углу потерь. Буферный усилитель собран на одной микросхеме МС1 и выходном эмиттерном повторителе на транзисторе Т1. Коэффициент передачи разомкнутого усилителя равен коэффициенту усиления микросхемы 140УД1А и составляет примерно 1000, что дает погрешность в передаче входного напряжения при замкнутой обратной связи порядка 0,1 %. Данная погрешность учитывается при калибровке величины емкости образцового конденсатора. Цепи R2, С1, Д1 и R5, С3, Д2 формируют необходимые напряжения питания микросхемы и необходимую их фильтрацию. Цепь R6, R1, С5 компенсирует фазовый сдвиг выходного напряжения усилителя относительно входного напряжения трансформатора уравнивания моста по реактивной составляющей и обеспечивает отрицательную обратную связь усилителю по постоянному току. Резистор R3 и конденсатор С2 служат для обеспечения усилителю необходимого запаса устойчивости. Резистор R4 является нагрузкой выходного эмиттерного повторителя по постоянному току. Конденсатор С4 препятствует прохождению постоянной составляющей тока эмиттерного повторителя через обмотку трансформатора Tr11 (2.724.007) в режиме tgδ.

6.15. Блок питания 2.087.455 ЭЗ

С выходного разъема блока питания снимаются напряжения и токи, указанные в табл. 9.

Таблица 9

| Напряжение | | Ток нагрузки, не более | Нестабильность, %, не более | Напряжение пульсаций, мВ, не более |
|------------|--------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| +200 В | постоянное | 70 мА | | 30 000 |
| +20 В | постоянное | 0,3 А | 2 | 1 |
| +12,6 В | постоянное | 0,23 А | 2 | 30 |
| +5 В | постоянное | 1,8 А | 2 | 50 |
| (0—20) В | регулируемое | 0—25) мА | 2 | 20 |
| —10 В | постоянное | 0,15 А | 2 | 50 |

Все схемы источников напряжения, кроме +20 В и +200 В, выполнены по схеме последовательного эмиттерного повторителя без усилителя обратной связи с опорными напряжениями на полупроводниковых стабилитронах. Выходные напряжения регулируются переменными резисторами, подключенными к опорным напряжениям.

Источник +20 В выполнен по схеме последовательного повторителя с усилителем обратной связи УОС (Т4) и токостабилизирующим двухполюсником Т2. Регулирующим элементом является транзистор Т1. Стабилизирующими элементами служат стабилитроны ДЗ — Д6.

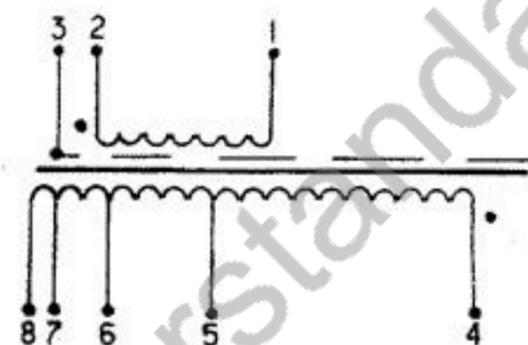
6.16. Измеритель L, C, R цифровой E7-8 2.724.007 ЭЗ

На листе 1 изображены связи между узлами прибора и выходы информационных и управляющих сигналов (Ш20 и Ш21). На разъем Ш22 выведены контрольные напряжения, используемые при ремонте и настройке прибора. На листе 2 представлена развернутая измерительная схема прибора.

Напряжение частотой 1000 Гц генерируется генератором У2. Точная установка частоты производится потенциометром R2.

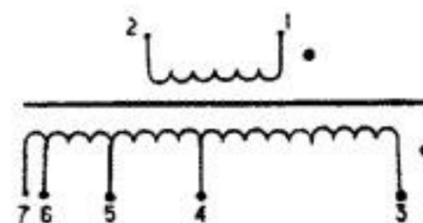
Команды, управляющие амплитудой напряжения генератора, поступают через контакты 4, 3 и 6 разъема Ш2 с блока индикации наименований (У8). На измеряемый объект на-

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И НАМОТОЧНЫЕ ДАННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ



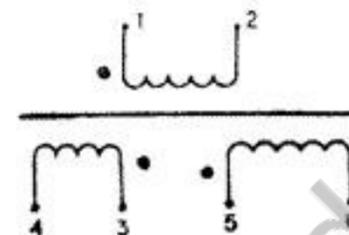
| Номера выводов | Количество витков | Диаметр провода |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 1—2 | 2000 | 0,1 |
| 4—5 | 900 | 0,2 |
| 5—6 | 90 | 0,315 |
| 6—7 | 9 | 0,45 |
| 7—8 | 1 | 0,45 |

Рис. 1. Электрическая схема и данные намотки трансформатора Tr1 (4.728.007-01)



| Номера выводов | Количество витков | Диаметр провода |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 1—2 | 1000 | 0,28 |
| 3—4 | 900 | 0,2 |
| 4—5 | 90 | 0,2 |
| 5—6 | 9 | 0,28 |
| 6—7 | 1 | 0,28 |

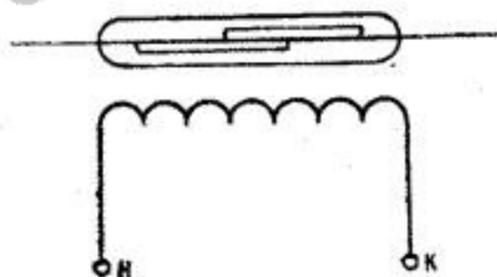
Рис. 2. Электрическая схема и данные намотки трансформатора Tr2 (4.728.007-02)



| Номера выводов | Количество витков | Диаметр провода |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 1—2 | ~ 1400 | 0,315 |
| 3—4 | ~ 140 | 0,71 |
| 5—6 | 14 | 0,315 |

Рис. 3. Электрическая схема и данные намотки трансформаторов Tr4, Tr5, Tr7 и Tr8 (4.728.007)

СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ



| Контакт | Кол-во витков обмотки | Марка провода | Сопротивление обмотки постоянному току, Ом |
|---------|-----------------------|--------------------|--|
| КЭМ-2А | 5000 | ПЭТВ-939 Ø 0,08 | 460 ± 65 |

Рис. 8. Намоточные данные катушки реле (4.500.025)

пользуется для формирования размерностей и запятых МС1-4, МС2-3, МС2-4, МС3-1, МС3-2, МС5 — МС7, МС10 — МС13, МС14-1, МС14-2, МС14-3. Кроме того, десятичное значение номера предела подается на мостовую схему для коммутации пределов и в блок порядков.

Выходы логических схем, формирующих размерности, через резисторы R1 — R11 подсоединены к высоковольтным транзисторам T1 — T11, коллекторы которых управляют лампами ИН-15. Исключение составляют транзисторы T10 и T11, в цепи коллекторов которых включены стабилитроны Д2, Д4, Д6; Д3, Д5, Д7. Эти транзисторы используются для гашения размерностей при Н на 1, 2, 3 пределах и при Ω на 5, 6, 7 пределах.

6.11. Блок ключей 3.609.057 ЭЗ

Блок ключей представляет собой десять одинаковых ключевых каскадов (T1, T11; T2, T12; T3, T13 и т. д.). Каждый ключевой каскад состоит из ключа (транзисторы T1 — T10 типа МП11А) и буферного усилителя (транзисторы T11 — T20 типа МП20).

Эмиттеры ключевых триодов подключены к соответствующим виткам трансформаторов Tr11 или Tr12 (2.724.007 ЭЗ). Базы триодов T11 — T20 через резисторы R11 — R20 соединены с выходами реверсивных декад. Одновременно в открытом состоянии находится только один из ключей, остальные заперты.

Для отпирания какого-либо из ключей на один из выводов 10—20 подается логический нуль. На остальные выводы поступает логическая единица. Рассмотрим состояния транзисторов в частном случае, когда открыт, например, третий ключ T3. На вывод 12 подается нулевой потенциал (0—0,5 В). Триод T13 работает как эмиттерный повторитель и потенциал эмиттера примерно равен потенциалу базы. Общей нагрузкой эмиттерных повторителей служит резистор R21. Некоторая часть тока коллектора ответвляется в резистор R3, остальной ток протекает по переходу база — коллектор триода T3 и открывает его. Остальные буферные транзисторы закрыты, так как на их входах присутствуют положительные потенциалы, а эмиттерная нагрузка буферных каскадов общая. Вследствие того, что заперты остальные буферные каскады, оказываются закрытыми и остальные ключи, так как к их базам через резисторы R1, R2, R4, R5 и т. д. приклады-

вается запирающее отрицательное напряжение от источника — 10 В. Резисторы R11 — R20 предотвращают повышенное потребление тока от микросхем реверсивных декад и обеспечивают постоянство тока, отпирающего ключ, когда буферный транзистор насыщен.

6.12. Плата 5.283.859 ЭЗ

На плате расположены элементы аналогового уравнивания (У30 по реактивной составляющей и У31 по активной). Управление транзисторными ключами Т1 и Т2 осуществляется с выходов УПТ АС и УПТ РС, расположенных в платах усилителей опорного напряжения (2.032.369 ЭЗ). Диапазон аналогового уравнивания $\pm 0,6$ единицы дискретности определяется конденсатором С3 по реактивной составляющей и резистором R1 по активной.

6.13. Плата 5.283.860 ЭЗ

На плате расположен генератор 50 Гц, генератор 10 Гц и ключ «конец измерения» (Т5). Генератор 50 Гц собран на транзисторах Т1, Т3 и представляет собой управляемый мультивибратор. Управление генерацией осуществляется транзистором Т2. Выходные импульсы генератора дифференцируются С4, R10, нормируются и инвертируются транзистором Т4.

Генератор 10 Гц собран на Т7, Т8. Управление генерацией осуществляется по цепи эмиттера Т7.

Импульсы 10 Гц дифференцируются С14, R28, нормируются и инвертируются транзистором Т9.

На МС1, МС2, R12 — R22, Т5, Т6, Д2 — Д5, С5 — С10 собрана схема для формирования импульса конца измерения в следующих режимах:

— при внешнем (ручном) запуске прибора:

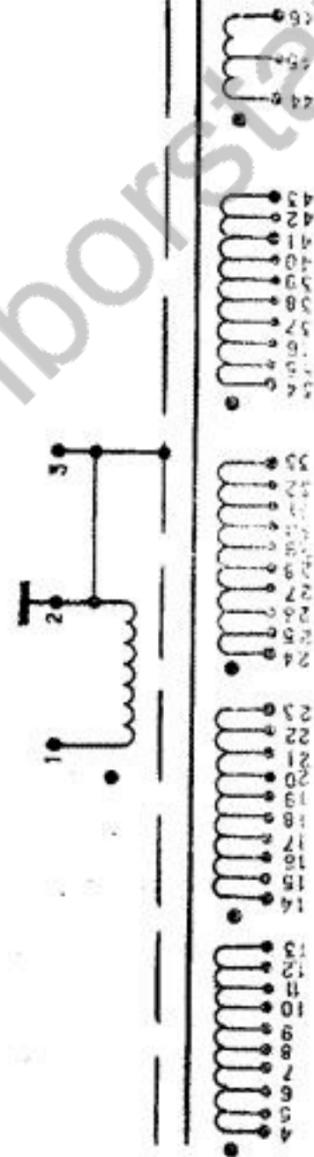
а) по окончании внешнего импульса запуска (в случае отсутствия разбаланса моста);

б) после окончания измерительного цикла прибора (в случае отработки разбаланса моста);

в) через время 1, 2 с в случае, если мост несбалансирован;

— при следящем запуске прибора.

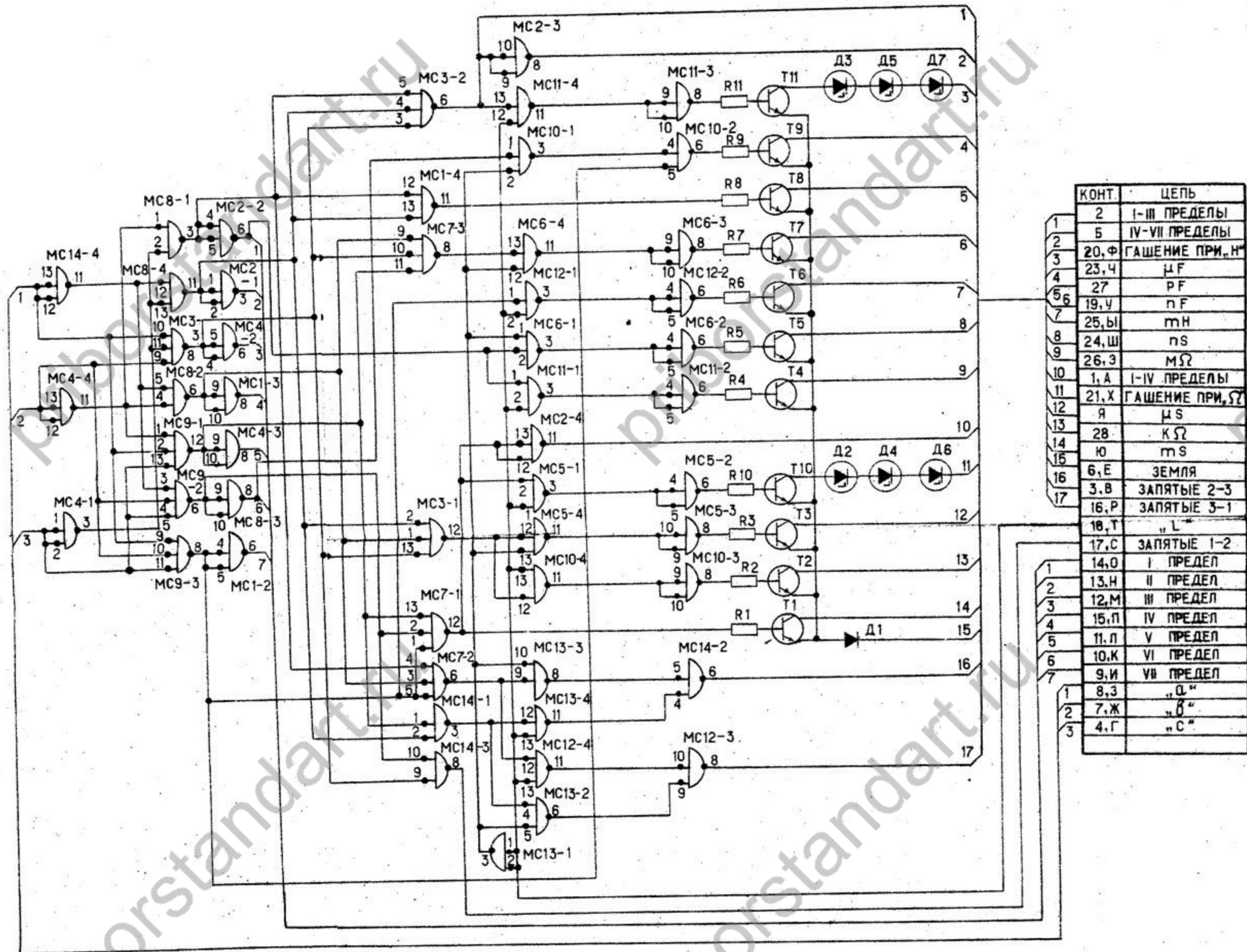
Временная задержка 1, 2 с обеспечивается RC элементами (R12 и С5) кпп-реле, собранного на Т5, Т6. При этом



| Обозначение | Номера выводов | Кол-во витков | Диаметр провода | Обозначение | Номера выводов | Кол-во витков | Диаметр провода |
|----------------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Тр11 4.728.008-01 | 1—2 | 200 | 0,45 | Тр12 4.728.008 | 1—2 | 318 | 0,45 |
| | 4—13 | 9×20 | 0,40 | | 4—13 | 9×20 | 0,40 |
| | 14—23 | | | | 14—23 | | |
| | 24—33 | 9×2 | 0,2 | | 24—33 | 9×2 | 0,2 |
| | 34—43 | | | | 34—43 | | |
| | | 44—46 | 2×1 | | | 44—46 | 2×1 |

Примечание. Сомножители в графах «Количество витков» соответственно обозначают: число одинаковых секций и число витков в каждой секции (например, 9×20 означает: 9 секций по 20 витков).

Рис. 7. Электрическая схема и данные намотки трансформаторов Тр11 и Тр12 (4.728.008-01 и 4.728.008)



| КОНТ. | ЦЕПЬ |
|-------|-------|
| 1 | 2 |
| 2 | 5 |
| 3 | 20, Ф |
| 4 | 23, Ч |
| 5 | 27 |
| 6 | 19, У |
| 7 | 25, Ы |
| 8 | 24, Ш |
| 9 | 26, Э |
| 10 | 1, А |
| 11 | 21, Х |
| 12 | Я |
| 13 | 28 |
| 14 | Ю |
| 15 | 6, Е |
| 16 | 3, В |
| 17 | 16, Р |
| 1 | 18, Т |
| 2 | 17, С |
| 3 | 14, О |
| 4 | 13, Н |
| 5 | 12, М |
| 6 | 15, П |
| 7 | 11, Л |
| 1 | 10, К |
| 2 | 9, И |
| 3 | 8, З |
| 4 | 7, Ж |
| 5 | 4, Г |

РИС. 18. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА БЛОКА ИНДИКАЦИИ НАИМЕНОВАНИЙ.

ТАБЛИЦА РЕЖИМОВ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Таблица

| Обозначение по схеме | Напряжение, В | | |
|-------------------------|---------------|---------|-------|
| | коллектор | эмиттер | база |
| 3.265.020 ЭЗ (У2) | | | |
| T1 | +0,08 | +8,0 | +8,1 |
| T2 | 0 | +8,1 | +8,0 |
| T3 | +15,6 | +8,0 | +8,1 |
| T4 | 0 | +8,1 | +8,0 |
| T5, T8, T11 | +12,6 | -0,1 | 0 |
| T6, T9, T12 | +12,6 | -0,74 | -1,5 |
| T7, T10, T13 | 0 | 0 | +12,6 |
| 2.032.368 ЭЗ (У19) | | | |
| T1 | +13,5 | +5,4 | +6,0 |
| T2 | +13,5 | +5,6 | +6,2 |
| T3 | +16,5 | +6,8 | +6,7 |
| T4 | 0 | +6,8 | +6,7 |
| 3.264.610 ЭЗ (У15, У16) | | | |
| T1 | +7,0 | +0,8 | +1,4 |
| T2 | +7,0 | +0,3 | +0,9 |
| T3 | -6,8 | -0,4 | -0,05 |
| T8 | +0,1 | 0 | +0,7 |
| 2.032.369 ЭЗ (У17, У18) | | | |
| T1 | 0 | 0 | +0,4 |
| T2 | 0 | 0 | -10,0 |
| T3 | +6,1 | +6,0 | +6,1 |
| T4 | +6,1 | +6,2 | +6,1 |
| T5 | -(0-0,7) | +6,1 | +11,0 |
| T6 | +0,8 | +1,8 | +1,5 |
| T7 | +(0-6,0) | 0 | -0,62 |
| T8 | +(0-6,0) | 0 | +0,78 |
| T9 | -(0-0,7) | +11,0 | +11,5 |
| T10 | +0,82 | +1,7 | +1,5 |
| T11 | +(0-6,0) | 0 | -0,64 |
| T12 | +(0-6,0) | 0 | +0,8 |

Таблица 5

| Номер предела | С | | | G | | | tgδ | | | |
|---------------|---------|--------------|--------------|------------------|---------|--------------|------------------|---------|------------------|--------------|
| | порядок | код по-рядка | наименование | код наименования | порядок | наименование | код наименования | порядок | код наименования | код по-рядка |
| I | 2 | 1000 | мкФ | 1011 | 7 | мСм | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |
| II | 7 | 0111 | | 1011 | 6 | | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |
| III | 6 | 0110 | | 1011 | 5 | | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |
| IV | 5 | 0101 | | 1011 | 4 | | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |
| V | 4 | 0100 | | 1011 | 3 | | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |
| VI | 3 | 0011 | | 1011 | 2 | | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |
| VII | 2 | 0010 | | 1011 | 1 | | 0011 | 4 | 1111 | 0100 |

Таблица 6

| Номер предела | L | | | | R | | | | tgδ | | |
|---------------|---------|--------------|--------------|------------------|---------|--------------|--------------|------------------|---------|------------------|--------------|
| | порядок | код по-рядка | наименование | код наименования | порядок | код по-рядка | наименование | код наименования | порядок | код наименования | код по-рядка |
| I | 1 | 0001 | Гн | 1100 | 0 | 0000 | кОм | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |
| II | 2 | 0010 | | 1100 | 1 | 0001 | | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |
| III | 3 | 0011 | | 1100 | 2 | 0010 | | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |
| IV | 4 | 0100 | | 1100 | 3 | 0011 | | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |
| V | 5 | 0101 | | 1100 | 4 | 0100 | | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |
| VI | 6 | 0110 | | 1100 | 5 | 0101 | | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |
| VII | 7 | 0111 | | 1100 | 6 | 0110 | | 0111 | 4 | 1111 | 0100 |

Структурная схема, поясняющая работу блока порядков, показана на рис. 17 (вклейная).

6.10. Блок индикации наименований 2.746.074 ЭЗ

Блок индикации наименований управляет лампами индикации размерности величины и лампами — «запятые» на отсчетном устройстве результата измерения. Размерность и положение запятой в зависимости от вида измерения показаны в табл. 7 и 8.

Таблица 7

| Номер предела | C | | G | | tgδ | |
|---------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-----------------------|
| | результат измерения | размерность | результат измерения | размерность | результат измерения | размерность |
| I | 99.99 | pF | 999.9 | nS | .9999 | Безразмерная величина |
| II | 999.9 | pF | 9.999 | μS | .9999 | |
| III | 9.999 | nF | 99.99 | μS | .9999 | |
| IV | 99.99 | nF | 999.9 | μS | .9999 | |
| V | 999.9 | nF | 9.999 | mS | .9999 | |
| VI | 9.999 | μF | 99.99 | mS | .9999 | |
| VII | 99.99 | μF | 999.9 | mS | .9999 | |

Таблица 8

| Номер предела | L | | R | | tgδ | |
|---------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-----------------------|
| | результат измерения | размерность | результат измерения | размерность | результат измерения | размерность |
| I | 999.9 | H | 9.999 | MΩ | .9999 | Безразмерная величина |
| II | 99.99 | H | 999.9 | кΩ | .9999 | |
| III | 9.999 | H | 99.99 | кΩ | .9999 | |
| IV | 999.9 | mH | 9.999 | кΩ | .9999 | |
| V | 99.99 | mH | 999.9 | Ω | .9999 | |
| VI | 9.999 | mH | 99.99 | Ω | .9999 | |
| VII | 999.9 | μH | 9.999 | Ω | .9999 | |

Структурная схема, поясняющая работу блока индикации наименований, представлена на рис. 18 (вклеивая).

На вход блока индикации со счетчика пределов поступает кодированный сигнал номера предела в двоично-десятичной системе исчисления.

Дешифратор, собранный на MC1-2, MC1-3, MC2-1, MC2-2, MC3-3, MC4, MC8, MC9, MC14-4, преобразует двоично-десятичное значение номера предела в десятичное, которое ис-



| Номера выводов | Количество витков | Диаметр провода |
|----------------|-------------------|-----------------|
| 1—2 | 855 | 0,40 |
| 4—5 | 58 | 0,28 |
| 5—6 | 58 | 0,28 |
| 12—13 | 684 | 0,28 |
| 14—15 | 83 | 0,14 |
| 15—16 | 83 | 0,14 |
| 21—22 | 37 | 1,00 |
| 22—23 | 37 | 1,00 |
| 24—25 | 62 | 0,40 |
| 25—26 | 62 | 0,40 |
| 31—32 | 100 | 0,40 |
| 32—33 | 100 | 0,40 |
| 34—35 | 83 | 0,10 |

Намотка рядовая проводом марки ПЭТВ — 939.
Магнитопровод ШЛ 20 × 40 Э330 — 0,35.

Рис. 9. Электрическая схема и данные намотки трансформатора 4.700.487

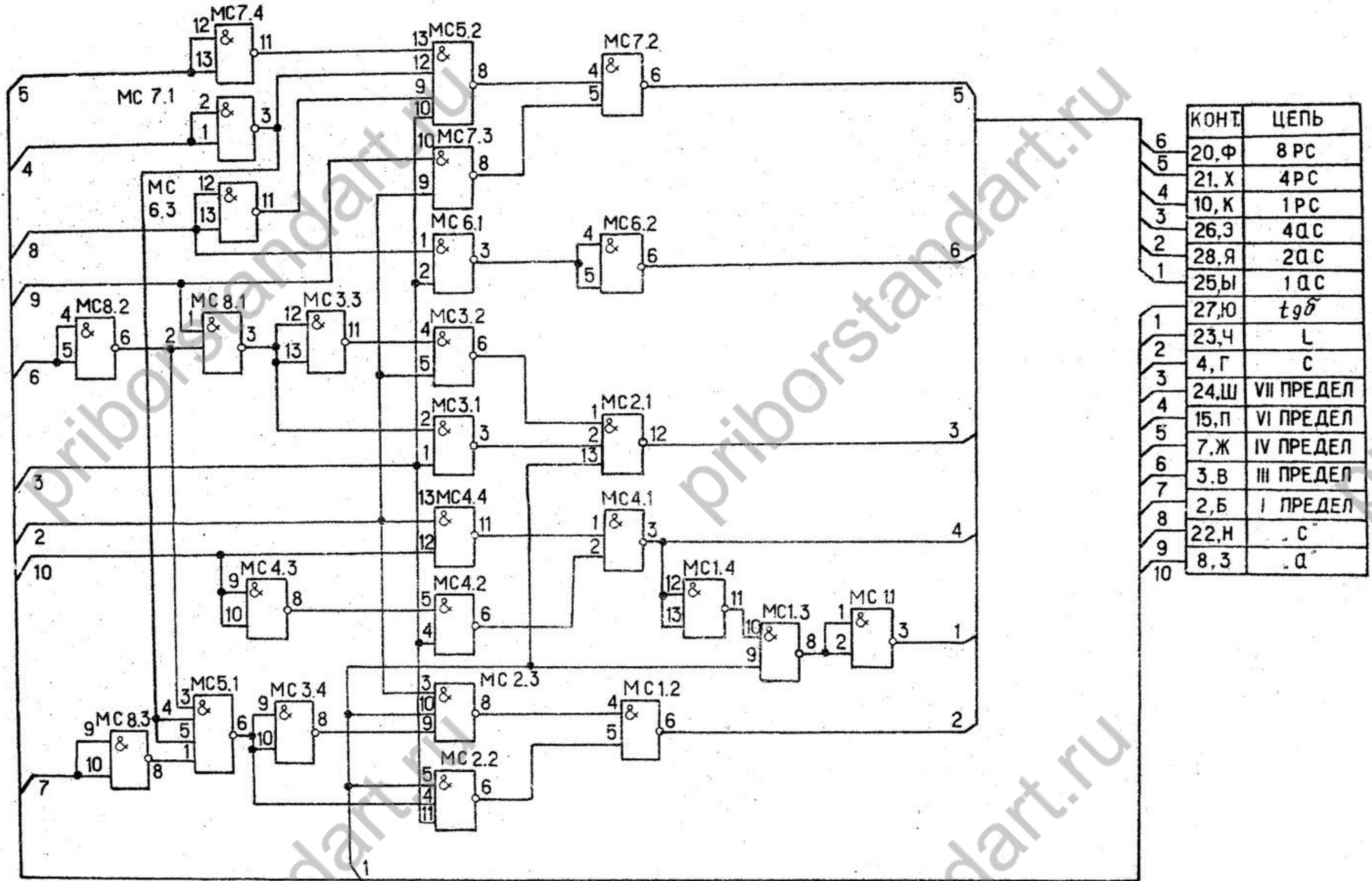


Рис. 17 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА БЛОКА ПОРЯДКОВ