

~~6-43~~  
Б  
А-43

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Новосибирский электротехнический  
институт

На правах рукописи

С. Д. АМРОМИН

МОДУЛЯЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДОПУСКОВОГО  
КОНТРОЛЯ С ВЕНТИЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ  
( № 246- электроизмерительная техника )

Автореферат диссертации, представленной  
на соискание учёной степени кандидата технических  
наук

г. Новосибирск,  
1968 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

---

Новосибирский электротехнический  
институт

На правах рукописи

С. Д. АМРОМИН

МОДУЛЯЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДОПУСКОВОГО  
КОНТРОЛЯ С ВЕНТИЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

( № 246 – электроизмерительная техника )

Автореферат диссертации, представленной  
на соискание учёной степени кандидата технических  
наук

г. Новосибирск,  
1968 г.

Известно, что одной из основных задач информационно-памятных систем является обнаружение отклонений контролируемых параметров от нормы и соответствующая их индикация. Для решения этой задачи используются автоматические устройства допускового контроля (УДК), которые включают в себя ряд блоков, в частности, устройства обнаружения отклонений, усилители, входящие в систему индикации.

Задача устройств обнаружения отклонений состоит в сравнении параметра с установленными допустимыми границами зон и выдаче сигнала при переходе параметра через границу зоны.

В ряде случаев автоматического контроля сравнение выполняется в аналоговой форме: контролируемый параметр представляется напряжением  $U_x$ , граница зоны — напряжением  $U_r$ . Число напряжений  $U_r$  равно числу сигнализируемых значений параметров. Сравнение двух напряжений сводится к образованию их разности и оценке ее знака. Устройство, оценивающее знак разности — нуль-орган (НО), работает достаточно точно в том случае, если к нему подводятся достаточно большие напряжения. Поэтому необходимо предварительное усиление контролируемого напряжения  $U_x$  либо разности  $\Delta U = U_x - U_r$ , что особенно осложняется при  $U_x$  и  $\Delta U$  постоянного тока. В первом случае требуется один усилитель постоянного тока и два нуль-органа для сравнения с двумя установками, которые задаются напряжениями  $U_{r1}$  и  $U_{r2}$ . УПТ при этом должен обладать не только малым дрейфом нуля, но и стабильным коэффициентом усиления. Во втором случае для усиления разностей  $U_x - U_{r1}$  и  $U_x - U_{r2}$  обычно

используются два УПТ, от которых требуется лишь малый дрейф нуля. Вообще в этом случае число УПТ равно числу сигнализирующих уровней параметров. Обе эти системы обнаружения достаточно громоздки и требуют сложных схем УПТ.

В ряде случаев используют специальные релейные элементы типа триггеров, параметронов и т.п., которые, однако, при простой реализации не обеспечивают малых порогов.

Применение элементов с большой нелинейностью в области малых напряжений, например, туннельных диодов, позволяет обеспечить более низкие пороги, однако, при этом необходимо предпринимать меры по ограничению возможных перегрузок нелинейного элемента. Кроме того высокая чувствительность не исключает необходимости усиления выходного сигнала, притом наиболее часто постоянного тока.

Для устранения указанных недостатков желательно применять при обнаружении отклонений усилители переменного тока, для чего необходимо предварительно преобразовать Их или  $\Delta I$  в напряжение переменного тока. Известно также применение, так называемых, пороговых датчиков типа НЛ-3, НЛ-4 с преобразованием  $\Delta I$  и усилением на переменном токе. Эти датчики используют вентильные элементы, выдерживают большие перегрузки, но, по данным В.П. Балашова и др.<sup>ж)</sup>, имеют высокие пороги при нестабильности последних  $\pm 0,2$  в. Конструктивно они весьма громоздки. Каждый модуль для индикации только одной границы имеет вес 1,2 кг.

Реферлируемая работа посвящена вопросам разработки и анализа простых УДК, используемых как при однотоочечном, так и мно-

ж) В.П. Балашов и др. Автоматизация радиоизмерений, издательство "Советское радио", 1966.

готочечном контроле, и основанных на модуляционных схемах уравнивания постоянного тока с нелинейными двухполюсниками (НД) в индикаторных цепях.

В качестве измерительной цепи (элементарной ячейки) в такого типа устройствах используется мостовая или компенсационная схема постоянного тока, в индикаторную цепь которых включается НД (например, полупроводниковый (п/п) диод) последовательно с малой ЭДС переменного тока. Выходной сигнал снимается с нагрузки, включенной последовательно с НД. В такой ячейке (при соответствующей ее настройке) во время перехода контролируемого параметра (датчик его включается в плечо моста или в цепь Их компенсатора) через заданную границу на выходе появляется сигнал переменного тока. Таким образом, данная ячейка одновременно выполняет следующие функции: 1. Преобразования измеряемого параметра в постоянное напряжение. 2. Формирование напряжения постоянного тока, пропорционального разности Их-Ир. 3. Определение знака этой разности. 4. Преобразование постоянного напряжения  $\Delta I$  в напряжение переменного тока. Иначе говоря, такая ячейка одновременно является модулятором и пороговым элементом.

При необходимости фиксировать отклонение параметра за несколько границ используются многоплечие мостовые и компенсационные схемы с несколькими индикаторными цепями.

При многоточечном допусковом контроле автором используется новый принцип совмещения функций пороговых элементов и коммутаторов в одном структурно не разделенном узле. Это достигается благодаря частотному сканированию  $n$  измерительных ячеек, отличающихся тем, что в них последовательно с вентилями включаются резонаторы с различной настройкой.

В диссертации дается обзор существующих УДК и приводится их классификация, рассматриваются вопросы анализа и синтеза модуляционных схем с НД, предназначенных для контроля по одному и двум допускам одновременно. Значительное внимание уделяется вопросам чувствительности и погрешностей описанных схем с учетом нелинейности различных типов НД. В диссертации рассматриваются методы, позволяющие значительно снизить пороговые значения УДК. К ним относятся применение различных компенсирующих цепей, а также системы автоматической коррекции чувствительности УДК.

В заключение приводится описание различных устройств, разработанных на основе предложенных принципов и нашедших применение при измерении контроле и измерениях как электрических, так и неэлектрических величин.

В первой главе дается классификация существующих УДК. В основу обобщенной классификации положены общие признаки построения УДК безотносительно к их технической реализации.

В качестве таковых используются число контролируемых параметров, число зон или границ контроля, способы индикации последних. Дается классификация УДК по назначению. В результате к УДК отнесен весьма широкий круг устройств, включающий в себя анализаторы амплитуд, автоматические устройства сортировки (АУС), устройства для контроля технологических процессов и др.

Рассматриваются одноточечные и многоточечные УДК с различными способами разделения каналов. Наконец, в зависимости от технических средств выделяются основные две группы УДК: УДК при-

борные и схемные. Дается сравнительный анализ названных устройств.

Приборные УДК, которые строятся на основе электромеханических приборов непосредственной оценки или автоматических приборов, имеют ряд серьезных недостатков. К последним относятся сложность кинематических связей (в автокомпенсаторах и мостах), малое быстродействие и, по литературным данным, сравнительно невысокая надежность. При реализации УДК на основе приборов непосредственной оценки обычно велика мощность, потребляемая от источника контролируемого сигнала. Кроме того, приборные УДК имеют ограниченное назначение (УДК технологических объектов и УДК состояния объектов простейших типов).

Наиболее перспективными по своим возможностям являются схемные УДК, под которыми понимаются УДК, строящиеся на основе электронных элементов без использования электромеханических приборов. Схемные УДК применяют во всех областях, они удовлетворяют любому назначению. Схемные УДК особенно удобны при многоточечном контроле. Одним из существенных недостатков схемных УДК является сложность схемы, особенно при контроле параметров по нескольким зонам при малых сигналах постоянного тока. Наиболее простыми схемами являются схемы непосредственного сравнения  $U_x$  и  $U_r$  и из них диодные. Использование диодных схем в УДК особенно целесообразно вследствие присущего диодам явно выраженного вентиляющего эффекта. Известно немало вентиляющих схем с использованием вакуумных или п/п диодов, применяющихся для построения селекторов полярности, амплитудных селекторов, анализаторов амплитуд, в НО цифровых приборов и т.п.

Таким образом, на основании сказанного можно сделать вывод, что диодные УДК занимают особое место среди других схемных УДК. Однако, вследствие присущего им недостатка — большого дрейфа вольт-амперных характеристик (вах) — область применения диодных УДК ограничена контролем сравнительно больших сигналов порядка десятка вольт и выше.

Вследствие трудности непосредственного усиления малых сигналов постоянного тока особенного внимания заслуживает принцип модуляции этих сигналов с последующим усилением их на несущей частоте. И здесь в качестве нелинейного элемента, выполняющего функцию модулятора, также можно применить диоды или другие нелинейные двухполосники.

Известно много случаев использования диодных модуляторов (мостовых и др.). Однако, в этих случаях не используются вентиляционные способности диодов непосредственно для допускаемого контроля. Иначе говоря, диодные модуляторы выполняют только функцию модулятора, а пороговые элементы включаются на выходе усилителя или детектора.

Между тем, имеется возможность совмещения функции модулятора и порогового элемента в одном диоде. Правда, в последние годы в литературе появились буквально единичные описания случаев такого использования диодов. Однако идея совмещения названных функций в одном диоде не получила должного развития ни теоретического, ни экспериментального и реализована на весьма примитивном уровне. Полученные пороги сравнительно велики, а их дрейф составляет  $0,5 \pm 0,2$  в.

В данной работе развивается идея совмещения функций модуляторов и пороговых элементов. Во второй главе дается описание различных модуляционных схем УДК, анализ которых приводится в этой же и следующих главах. На рис. I приведено несколько модификаций таких схем.

Простейший вариант такого УДК, предназначенный для индикации отклонения измеряемого сопротивления за пределы одного допуска, показан на рис. Ia. Схема представляет четырехплечий мост постоянного тока, в одну ветвь которого включены измеряемый и эталонный резистор, а в другую резисторы, образующие плечи отношения (обычно низкосомные). В индикаторную диагональ через трансформатор  $Tr_1$  вводится вспомогательная э.д.с. переменного тока, от генератора Г, амплитуда которой берется много меньшей (обычно на два порядка), чем значение напряжения питания моста постоянного тока. В индикаторную диагональ моста включается также последовательно вакуумный или п/п диод и первичная обмотка трансформатора  $Tr_2$ , вторичная обмотка которого подключается к входу усилителя переменного тока У. При разбалансе моста в одном направлении в индикаторной диагонали будет протекать пульсирующий ток. При разбалансе в другом направлении ток отсутствует. Мост является, по существу, мостом постоянного тока (т.к. вспомогательная э.д.с. имеет незначительную амплитуду) и в то же время имеет выход на переменном токе.

В тех случаях, когда необходимо фиксировать отклонение значения сопротивления за пределы верхнего и нижнего допусков, может быть использована модификация первой схемы, представляющая пятиплечий мост с двумя индикаторными диагоналями, в каждую из которых последовательно с первичной обмоткой трансформатора

встречно включены диоды  $D_1$  и  $D_2$  (рис. 1б). Вторичная обмотка трансформатора подключается каждая к своему усилителю  $U_1$  и  $U_2$  и исполнительному устройству  $IУ_1$  и  $IУ_2$ . Последнее может быть выполнено релейного типа. При необходимости иметь общий выход используется один трансформатор с двумя первичными обмотками и одной вторичной, подключенной к усилителю рис. 1в. При этом, если обеспечить высокую чувствительность мостовой схемы, то к стабильности коэффициента усиления усилителя не предъявляется особых требований, так как схема в целом работает в релейном режиме и флуктуации коэффициента усиления перекрывается напряжением небаланса моста, которое возникает при изменении  $R_x$  на  $\delta R$ , где  $\delta$  — заданная относительная погрешность измерения в %. Аналогичным образом строятся и компенсационные схемы (рис. 2).

Во второй главе описаны также предложенные автором двухзональные модуляционные и многозональные УДК с общей или раздельной индикацией границ. Рассмотрены различные принципы разделения границ, которые позволяют использовать для раздельной индикации границ только один усилитель. Эти принципы сводятся к частотному или фазовому разделению.

В первом случае в каждую вентильную диагональ вводится ЭДС с частотой, отличной от частот ЭДС других диагоналей. Разделение границ достигается в результате включения в вентильные диагонали соответствующим образом настроенных резонаторов.

Иллюстрацией реализации второго принципа при зональном контроле являются схемы, показанные на рис. 3а (компенсационная) и 3б (мостовая). Здесь при переходе контролируемого параметра за верхний или нижний допуск (в компенсационной схеме последние заданы  $I_{гв}$  и  $I_{гн}$ ) происходит изменение на  $180^\circ$  фазы выходного сигнала, снимаемого с вторичной обмотки II трансформатора  $Tr_2$ .

В результате этого на выходе фазового детектора изменяется полярность напряжения И вых.

Во второй главе дается также анализ однодиагональной мостовой схемы, рассматривается вопрос обеспечения максимальной чувствительности по напряжению. Анализ удобно производить раздельно по постоянному и переменному току. Даются рекомендации по выбору элементов схемы. Рассматриваются общие вопросы чувствительности измерительной цепи на основе применения линейных схем замещения. Дается обоснование по выбору амплитуды и частоты переменной ЭДС. Даны формулы частотной погрешности и значения граничных частот. Частотный диапазон простирается от нескольких десятков герц до десятков и даже сотен мегагерц. Однако по конструктивным соображениям желательно использовать частоты 10-100 кГц. Только при желании обеспечить предельное быстродействие необходимо использовать более высокие частоты. Основная часть второй главы посвящена анализу эквивалентных нелинейных цепей, к которым приводятся различные модуляционные схемы. Рассматривается чувствительность по напряжению к изменению сопротивления различных измерительных цепей с параметрическими и генераторными датчиками и модуляторами. На примере простой цепи с активной нагрузкой и диодом, вах которого аппроксимируется зависимостью  $i = A u^2$  приведено сравнение различных аналитических методов анализа нелинейных цепей: 1. Классического метода разложения функции И вых. =  $f$  (И вх.) в ряд Фурье. 2. Метода аппроксимации динамической вах степенным полиномом. 3. Метод динамической характеристики, получаемой из уравнений Кирхгофа и 4. Метод динамической крутизны.

Первый метод практически вообще не приемлем для обобщенного анализа даже при данной простейшей аппроксимации, так как при его использовании необходимо определять эллиптические интегралы первого и второго рода, которые вычисляются только численным методом. Естественно, что задача синтеза цепи с оптимальной чувствительностью в этом случае аналитически решена быть не может. При втором методе, применив разложение функции  $i$  в ряд Тейлора по малому параметру, удастся получить аналитическую зависимость динамической вах цепи. При этом доказывається, что амплитуда первой гармоники тока приближенно равна:

$$I_{1m} \approx v_1 e_m + \frac{3}{4} v_3 e_m, \text{ где}$$

$v_1$  и  $v_3$  - коэффициенты аппроксимирующей динамическую вах ряда. При малых  $e_m$  можно считать, что  $i \approx v_1 e_m$ ;  $v_1$  является крутизной в рабочей точке. Таким образом,  $I_{1m} \approx S_{1m} e_m$ . Данный метод анализа дает достаточно простое решение и приемлем для задач синтеза.

Впрочем, исходя из сделанного выше заключения о пропорциональности  $I_{1m}$  крутизне динамической характеристики, можно прийти к еще более простому третьему методу, при котором на основании уравнений Кирхгофа, находится выражение динамической вах, а после двойного дифференцирования находится выражение чувствительности по току, аналогично находится чувствительность по напряжению. Однако не всегда удается получить математическое выражение динамической вах.

Четвертый метод еще более простой и наглядный. Он основан на зависимости  $S_g = \frac{S_{ng} S_R}{S_{ng} + S_R}$ , где  $S_g$  - динамическая крутизна (крутизна динамической вах в рабочей точке),  $S_{ng}$  - крутизна статической вах ИД (диода),  $S_R$  - крутизна вах нагрузки.

Данный метод является наиболее простым из всех рассмотренных выше, но его целесообразно применять только тогда, когда удастся получить аналитическое выражение падения напряжения на диоде.

Далее, во второй главе, проведен анализ измерительных цепей с различными типами диодов и активной нагрузкой. С помощью второго метода анализа путем аппроксимации статической вах степенным полиномом  $i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$ , который приемлем для аппроксимации практически любой вах в ограниченном диапазоне удастся получить обобщенное выражение динамической вах безотносительно к типу диода.

$$i = \frac{1}{2a_2 R_3^2} + \frac{a_1}{2a_2 R_3} + \frac{u}{R_3} - \frac{\sqrt{(1+a_1 R_3)^2 + 4a_2 R_3 u - 4a_2 a_0 R_3^2}}{2a_2 R_3}$$

где  $R_3 = R_i + R_H$ ,  $R_i$  - выходное сопротивление измерительной цепи,  $R_H$  - сопротивление нагрузки. Для определения действительной вах в каждом конкретном случае досе точно подставить сюда значения коэффициентов  $a_0 \div a_2$ . Из данного обобщенного выражения нетрудно получить выражение чувствительности по выходному напряжению:

$$S_{U_1} = \frac{dU_{1m}}{dU_1} = \frac{2a_2 e_m R_H}{[(1+a_1 R_3)^2 + 4a_2 R_3 u - 4a_2 a_0 R_3^2]^{3/2}},$$

где  $U_{1m}$  - амплитуда первой гармоники выходного напряжения. Анализ данного выражения свидетельствует о том, что оно имеет максимум при определенном значении  $R_H = R_{Hopt}$ . Получены значения для различных случаев аппроксимации. Так, при  $i = AU^2$ ,  $R_i = R_g$ , где  $R_g$  - динамическое сопротивление диода в рабочей точке, имеем  $R_{Hopt} \approx 3R_i$ . Отсюда следует вывод о необходимости выбора оптимального сопротивления нагрузки.

Аналогичным образом исследуется цепь с диодом, вах которого аппроксимируется двухчленной параболой. Проведен анализ цепей с различным сопротивлением на постоянном и переменном токе, например, при индуктивной нагрузке, при  $R_i$ , шунтированном конденсатором. Показано, что в последнем случае резко повышается чувствительность.



В конце второй главы рассматриваются эквивалентные схемы переменного тока с резисторными модуляторами и различными видами реактивной нагрузки. Оценивается чувствительность этих цепей в зависимости от характера и величины сопротивления нагрузки. Выведены зависимости, указывающие на оптимальные соотношения сопротивлений модулятора и нагрузки. Значительное увеличение чувствительности достигается в случае использования в качестве нагрузки последовательного резонансного контура, настроенного на частоту питания измерительной цепи. При этом выходной сигнал снимается с индуктивности или емкости контура. Показано, что в этом случае чувствительность по напряжению ограничивается только величиной индуктивности, достигаемой из конструктивных соображений.

В третьей главе проведен дополнительный анализ и рассматривается методика одноточечных граничных и зональных УДК. Получено условие равновесия мостовой и компенсационной схемы для случая идеализированного вентиля, а также формулы для расчета всех элементов схем. При анализе схем УДК с учетом реальных вх п/п и вакуумных диодов рассматриваются два режима вентиля - ключевой и режим нелинейного сопротивления.

В первом случае необходимо принудительно разбалансировать измерительную схему на величину напряжения запирающего диода Из. При этом оказывает значительное влияние на порог неустойчивости питающего измерительную схему напряжения. Дается оценка этого влияния. Получены формулы, по которым определяются минимально-допустимое напряжение питания при заданных его неустойчивости и Из.

Рассмотрены графоаналитический и аналитический методы определения необходимого изменения постоянного напряжения разбаланса для срабатывания индикаторного устройства (пороговое напряжение). Проведен анализ влияния дестабилизирующих факторов (неустойчивость накала для вакуумных диодов, температуры для п/п диодов).

Рассмотрены различные методы компенсации неустойчивости Из. Они сводятся к включению компенсирующих диодов непосредственно в измерительную схему, например, в плечи моста, или же параллельно нагрузке. При этом происходит компенсация сдвига вх по постоянному току. Поскольку полезным является выходной сигнал переменного тока, постольку открывается возможность производить компенсацию на переменном токе. Рассмотрены варианты включения компенсирующих диодов параллельно нагрузке различного характера, а также в нелинейный делитель в тракте усилителя. Произведен аналитический расчет погрешности недокомпенсации в двух последних случаях. Так, для случая нелинейного делителя с активной нагрузкой имеем относительную погрешность недокомпенсации:

$$\beta_k = \frac{2d(1+\beta)}{(1+d)(d+\beta)} - 1 \quad , \text{ где}$$

$d$  - кратность изменения динамического сопротивления диода, вследствие влияния дестабилизирующих факторов,  $\beta = \frac{R_n}{R_g}$ . Показано, что погрешность даже при  $d$  порядка 2 не превышает 2,4%, а при оптимальном соотношении  $R_n$  и  $R_g$  и граничных значениях  $d = 1$  и  $d = 2$  равна нулю. Для случая индуктивной нагрузки

$$\beta_k = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{(d^2 + \beta^2) [(2\beta^2 + 1)^2 + \beta^2]}{(1 + \beta^2) [(\frac{2}{d}\beta^2 + d)^2 + \beta^2]}} - 1$$

При выполнении условия  $\beta \gg \alpha$   $\beta_k$  приближается к нулю.  
 Даны рекомендации по выбору типов вакуумных п/п диодов для работы в ключевом режиме.

Во втором случае (режим нелинейного сопротивления) диод вблизи равновесия схемы всегда находится в проводящем состоянии. Используется изменение его  $R_d$  при разбалансе схемы. Показано, что данный режим обеспечивает более низкие пороги, правда, при этом предъявляются более жесткие требования к стабильности тракта усилитель - ИУ.

Для случая использования п/п диодов проведен анализ влияния температуры на точность работы УДК как в ключевом, так и режиме нелинейного сопротивления. В основу анализа положено известное выражение вих п/п диодов.

$$i = I_s (e^{\beta u} - 1) e^{\alpha \Delta T}, \text{ где}$$

$\Delta T$  - приращение температуры. При этом температурный коэффициент прямого падения напряжения  $\gamma_{np}$  составляет

$$\gamma_{np} = \frac{dI_{np}}{dT} = -\frac{\alpha}{\beta} \left(1 - \frac{1}{e^{\beta u}}\right), \text{ что}$$

свидетельствует об эквидистантном сдвиге вих только начиная с напряжений, при которых  $\frac{1}{e^{\beta u}} \ll 1$ , (т.е. с 0,18). Последний в этом случае равен  $\Delta I_{np} \approx \frac{\alpha}{\beta} \Delta T$ . Для ключевого режима можно пользоваться именно этим соотношением и применять соответствующие меры температурной компенсации. Однако в режиме нелинейного сопротивления (в режиме микротоков) эквидистантность вих не соблюдается и обычные меры компенсации не приемлемы.

В этом случае можно воспользоваться тем положением, что  $S$  - вольтные характеристики (зависимость крутизны от напря-

жения) имеют эквидистантный сдвиг при изменении температуры при любых напряжениях. Причем, температурный коэффициент  $S$  - вольтной характеристики составляет  $\delta_s = -\frac{\alpha}{\beta}$  в/град. Это обстоятельство открывает возможность, теоретически, абсолютной температурной компенсации.

Для случая использования п/п диодов получены аналитические выражения пороговых напряжений  $I_x$  для различного характера нагрузки и различного соотношения нагрузки и выходного сопротивления схемы. Так, например, для случая активной нагрузки

$$U_x = \frac{1}{\beta} \left[ \gamma \left( \frac{a}{1+\gamma-\alpha\gamma} - 1 \right) + \ln \frac{a}{1+\gamma-\alpha\gamma} \right], \text{ где}$$

$\gamma = \frac{R_2}{R_{g0}}$ ;  $R_2 = R_i + R_n$ ;  $R_{g0}$  - динамическое сопротивление диода в нуле,  $\beta$  - показатель экспоненты, аппроксимирующей вих диода,  $\alpha$  - заданная кратность изменения выходного сигнала. Для, практически, чисто индуктивной нагрузки

$$U_x = \frac{1}{\beta} \left[ \gamma_2 \left( \frac{a}{\sqrt{1+\gamma^2-\alpha\gamma^2}} - 1 \right) + \ln \frac{a}{\sqrt{1+\gamma^2-\alpha\gamma^2}} \right]; \gamma = \frac{X_L}{R_{g0}}; \gamma_2 = \frac{R_i}{R_{g0}}$$

Аналогичные формулы получены для последовательно и параллельно-резонансной нагрузки при  $R_e = 0$  и  $R_i$ , зашунтированном конденсатором. Показано, что  $I_x$  резко уменьшается по абсолютной величине при  $\alpha < 1$ , т.е. при отрицательном  $I_x$ . Наименьшее значение  $I_x$  получается при последовательно-резонансной нагрузке.

В третьей главе дается также методика расчета зональных (двухдопусковых) схем УДК с учетом влияния на условие равновесия сопротивлений обратносмещенных диодов -  $Z_d$ . Приводится необходимое соотношение  $Z_d$  и  $R_i$ , при которых можно пользоваться упрощенными формулами расчета.

Последние получены при размыкании диагоналей с обратнo-смещенными диодами. Точные формулы для двухдопускoвого моста

с учетом  $Z_0$  имеют вид:

$$R_2 = \frac{-A_0 - AB + CF \pm \sqrt{(A_0 + AB - CF)^2 + 4AC(D_0 + BF)}}{2AC}$$

$$R_3 = \frac{-A_0 - AB - CF \pm \sqrt{(A_0 + AB + CF)^2 - 4CFA(F - D_0)}}{2C_0}$$

$$R_0 Z_0 = A; Z_0 + R_{x1} = B; R_0 = C; R_1 Z_0 R_{x2} = D$$

$$R_0 + R_1 + Z_0 = F; R_{x1} R_1 Z_0 = F$$

где  $R_{x1}, R_{x2}$  значения измеряемого сопротивления, соответствующие нижнему и верхнему допускам.

В третьей главе рассмотрены также различные модификации генераторных УДК, (УДК с положительной обратной связью с отдельной и общей индикацией границ). Дана методика аналитического определения пороговых напряжений при использовании полупроводниковых диодов. Приведены экспериментальные данные, согласно которым необходимое  $I_{\text{н}}$  не превышает 13 мв в диапазоне температуры +20 + 50°C.

Четвертая глава посвящена рассмотрению многоточечных УДК с частотным и частотно-временным разделением каналов на основе частотного сканирования. Рассмотрено несколько предложенных автором модификаций многоточечных УДК с частотным сканированием, одна из которых показана на рис.4. Здесь в качестве измерительных схем используются мосты с двумя вентильными индикаторными диагоналями. Разделение каналов достигается благодаря частотному сканированию резонаторов, включенных последовательно с вентилями, с помощью ЭДС, которая вводится во все мосты от генератора качающейся частоты ГКЧ. Разделение каналов на выходе усилителя осуществляется посредством фильтров Ф, к которым подключают ИУ. Рассмотрена, в частности, модификация УДК с частотным сканированием и групповым индикатором на ЭЛТ.

Дается анализ разрешающей способности многоточечных УДК, определение числа каналов. На рис. 5 представлена модификация устройства с компенсационными схемами.

В работе рассматривается принцип стабилизации многоточечных измерительных систем. В основу положено применение системы АРУ, управляющей корректирующим сигналом, который вводится на входе системы в корректирующую ячейку, аналогичную с измерительными. Благодаря тому, что цепью АРУ охвачены не только усилитель, но и датчики и модуляторы, изменение порогов при действии дестабилизирующих факторов уменьшается более чем на порядок. Показано, что в отличие от распространенного мнения о необходимости использовать только плоский участок частотной характеристики усилителя, при наличии автоматической коррекции, можно работать в более широком частотном диапазоне.

В пятой главе описываются конкретные устройства, разработанные на основе описанных выше методов, и внедренные в производство. На базе разработанных схем с вентильными диагоналями и рассмотренных принципов построения автоматических устройств сортировки при непосредственном участии автора разработаны и внедрены в производство на Новосибирском заводе радиодеталей различные устройства для полуавтоматической и автоматической сортировки постоянных и переменных резисторов.

1. Автомат сортировки резисторов типа ВС по классам точности, в котором используются зональные (двухдопускные) мосты с отдельной и общей индикацией границ.
2. Автомат сортировки токопроводящих элементов ТПЭ переменных резисторов по всем электрическим параметрам типа С-213, в котором используются многозональные мосты, в частности, 9-зональный с общей индикацией границ.

3. Прибор для сортировки токопроводящих элементов стереофонических переменных резисторов по идентичности, типа ПРЭСС (несколько модификаций ПРЭС-1, ПРЭС-2, ПРЭС-3), в котором используется многозональный мост с общей индикацией границ одной зоны и отдельной индикацией зон.

С использованием вентиляльных модуляционных схем разработана также аппаратура для измерения неэлектрических величин.

1. Одноканальный термоэлектронный спиротахометр- прибор для измерения частоты и глубины дыхания.

2. 5-точечный термоэлектронный спиротахометр с использованием 5 измерительных мостов с вентиляльными индикаторными диагоналями, настроенными фильтрами и питающим генератором прямо угольных импульсов.

3. 5-канальный пульстахометр- прибор для измерения частоты пульса.

4. Комбинированный многоточечный электронный термометр с частотным разделением каналов.

5. 6-канальный прибор для измерения параметров дыхания и пульса. Разработаны также одноточечные приборы для измерения параметров дыхания и пульса.

Третий параграф главы У посвящается вопросам точного измерения вах нелинейных двухполюсников, в нем рассматривается принцип построения дифференциального характеристикографа. Последний может найти применение для точного определения вольт-амперных характеристик (вах) нелинейных двухполюсников (НД), а также для подбора идентичных НД с высокой точностью по всем точкам вах. В основу положен принцип совместного приложения к исследуемым НД двух напряжений: а) низкочастотного с амплитудой, равной пределу измерения по оси напряжения;

б) высокочастотного малой амплитуды (порядка 10 мв). При соответствующей фильтрации и разделении сигналов на экране ЭЛТ наблюдается  $S$ -вольтовая характеристика.

Одна из модификаций разработанного прибора позволяет исследовать одновременно вольтамперные характеристики (вах) двух нелинейных двухполюсников, что обеспечивает подбор идентичных двухполюсников. При этом, вследствие наблюдения на экране ЭЛТ не всей вах, а кривой, характеризующей отклонение нелинейной вах от линейной, обеспечивается погрешность измерения вах каждого двухполюсника порядка 1%, а погрешность подбора двухполюсников по идентичности порядка 0,05-0,1%.

В приложении приводятся экспериментальные данные о вах различных диодов в режиме микротоков. Здесь даны также графики чувствительности цепей с параболической аппроксимацией вах диодов, вычисление которых приведено на ЭЦВМ "Минск" и "Урал".

#### ВЫВОДЫ:

1. Предложены и разработаны модуляционные схемы с вентиляльными диагоналями, которые применимы для допускового контроля различных технологических процессов и для целей сортировки резисторов. В данных УДК диоды выполняют одновременно функции модуляторов и пороговых элементов. Число диагоналей может быть достаточно большим, при этом обеспечивается общая или отдельная индикация допусковых границ. Дана методика расчета в зависимости от заданной погрешности измерения.

2. Рассмотрены схемы с вентиляльными диагоналями и обратной связью. Показано, что применение положительной обратной связи позволяет в одном активном элементе (лампе или транзисторе плюс вентиляльный элемент) совместить функцию нуля-органа, усилителя и

исполнительного устройства, обеспечивая при этом высокую чувствительность.

3. Проведен анализ чувствительности нелинейных модуляционных схем, установлены оптимальные соотношения нагрузки и сопротивления модулятора.

4. Дана методика графо-аналитического и аналитического определения пороговых напряжений УДК с диодами в ключевом режиме.

5. Рассмотрены компенсированные модуляционные схемы с вакуумными и п/п диодами. Дано аналитическое определение погрешностей недокомпенсации для ряда схем.

6. Дано аналитическое определение пороговых напряжений для случая п/п диодов в режиме нелинейного сопротивления, с учетом влияния температуры.

7. Показывается, что при применении модуляционных вентиляционных схем возможна (при идентичных диодах) абсолютная температурная компенсация вследствие эквидистантного сдвига  $\mathcal{J}$  - вольтных характеристик при любых малых напряжениях на диоде.

8. Предложено несколько модификаций одноканального устройства для многоточечного допускового контроля, в котором применяется время-частотное разделение каналов с помощью генератора качающейся частоты и ряда настроенных фильтров. Данное устройство позволяет обеспечить сканирование с частотой несколько десятков гц, при числе точек контроля, порядка 100. Рассмотрено также аналогичное устройство, но только с частотным разделением каналов.

9. Разработана система автоматической коррекции чувствительности многоточечных УДК, благодаря которой уменьшается влияние

дестабилизирующих факторов более чем на порядок.

10. На основе рассмотренных схем разработано и внедрено в производство ряд устройств для полуавтоматической и автоматической сортировки постоянных и переменных резисторов. К ним относятся приборы типа ПРЭС-1, ПРЭС-2, ПРЭС-3, автомат сортировки резисторов типа ВС по классам точности, полуавтомат сортировки ТПЭ переменных резисторов по всем электрическим параметрам.

11. Разработаны одноканальные и многоканальные приборы дистанционного измерения частоты и глубины дыхания, частоты пульса и температуры.

12. Предложена методика и аппаратура для точного измерения характеристик нелинейных двухполюсников, в частности, в режиме микротокав. Разработанный характеристикограф позволяет производить качественное и количественное исследование характеристик двух нелинейных элементов одновременно с погрешностью  $0,05 \pm 0,1\%$ , в частности, при действии дестабилизирующих факторов.

Основные материалы диссертации докладывались: на II конференции "Автоматический контроль и методы электрических измерений", г. Новосибирск, 1960 г.; на II конференции молодых учёных, г. Новосибирск, 1961 г.; на IX областной научно-технической конференции, посвященной Дню Радио, г. Новосибирск, 1966 г.; на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов г. Новосибирска, 1966 г.; на Юбилейной научно-технической конференции НТО им. А.С. Попова, г. Новосибирск, 1967 г.; на научно-технической конференции ТПИ, г. Томск, 1967 г.; на научно-технической конференции НТО им. А.С. Попова, г. Таллин, 1967 г.;

на научно-технических конференциях НЭТИ в 1966 и 1967 гг., г. Новосибирск; на радиотехнической конференции, г. Новосибирск, 1967 год; на Итоговой научной конференции по вопросам гигиены, г. Новосибирск, 1967 г.; на научно-технической конференции НТО им. А.С. Попова, г. Новосибирск, 1968 год; на Всесоюзной сессии НТО им. А.С. Попова, г. Москва, 1968 г.

#### ПЕРЕЧЕНЬ

##### публикаций по теме диссертации

1. Амромин С.Д. Мостовой измеритель с двумя вентильными индикаторными диагоналями и одним выходом. Автоматический контроль и методы электрических измерений (труды II конференции). Изд. СО АН СССР, г. Новосибирск, 1962 г.
2. Амромин С.Д. Полуавтоматическая линия контроля токопроводящих элементов (ТПЭ) переменных непроволочных сопротивлений по электрическим параметрам. Автоматический контроль и методы электрических измерений (труды II конференции). Изд. СО АН СССР, г. Новосибирск, 1962 г.
3. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. Термоэлектронный спиротохрометр. Материалы IX областной научно-технической конференции, посвященной Дню радио, г. Новосибирск, 1966 г.
4. Амромин С.Д. Синхронные демодуляторы с цепями памяти в одноканальных устройствах для напряжений по амплитуде и фазе. Материалы IX областной научно-технической конференции, посвященной Дню Радио, г. Новосибирск, 1966 г.
5. Амромин С.Д. Модуляционный индикатор для сравнения двух переменных напряжений по амплитуде и фазе. ПНТ и ПО № 66-1510/123, ГОСИНТИ, 1966 г.

6. Амромин С.Д. Контроль сопротивлений с помощью мостов постоянного тока с вентильными индикаторными диагоналями. ПНТ и ПО № 2-67-74,6 ГОСИНТИ, 1967 г.
7. АМРОМИН С.Д. Многоканальный бесконтактный коммутатор с частотно-временным разделением каналов. ПНТ и ПО № 4-67-1436/78. ГОСИНТИ, 1967 г.
8. Амромин С.Д. Самостабилизирующиеся многоканальные усилители. ПНТ и ПО ГОСИНТИ, 1967 г.
9. Амромин С.Д. Многоточечные приборы биотелеметрии в сб. Новосибирский электротехнический институт. Научные исследования института, г. Новосибирск, 1967 г.
10. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. Частотное сканирование при многоточечном автоконтроле биологических объектов. Материалы к итоговой научной конференции за 1966-1967 гг. по вопросам гигиены, Новосибирск, 1967 г.
11. Амромин С.Д. Вопросы конструирования многоканальных приборов, применяемых в физиологии труда, в сб. научных работ Московского НИИ Гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, г. Новосибирск, 1968 г.
12. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. Многоканальный распределитель импульсов с частотным разделением каналов. Материалы конференции молодых ученых. Секция автотриии и вычислительной техники, Новосибирск, 1968 г.
13. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. Генераторы качающейся частоты с большой девиацией. Материалы конференции молодых ученых, секция автотриии и вычислительной техники, Новосибирск, 1968 г.

14. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. К вопросу о подавлении синхронных помех в измерительных модуляторах. Материалы конференции молодых ученых. Секция автометрии и вычислительной техники, Новосибирск, 1968 г.
15. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. Многоканальный электронный термометр. Материалы II совещания по применению радиоэлектроники, физики и математики в биологии и медицине, Новосибирск, 1968г.
16. Амромин С.Д., Полубинский В.Л. Некоторые вопросы анализа многоточечных систем с автоматической коррекцией чувствительности. Материалы II совещания по применению радиоэлектроники, физики и математики в биологии и медицине, Новосибирск, 1968 г.
17. Амромин С.Д., Макаренко А.А., Поляков А.А., Полубинский В.Л., Сафонов В.Д. Портативные приборы для физиологических исследований в производственных условиях. Материалы II совещания по применению радиоэлектроники, физики и математики в биологии и медицине, Новосибирск, 1968 г.
18. Амромин С.Д. Авторское свидетельство № 199989 на изобретение "Устройство автоматического контроля "Л" параметров", 1967 г.
19. Амромин С.Д. Авторское свидетельство № 209583 на изобретение "Устройство допускового контроля напряжения", 1968 г.

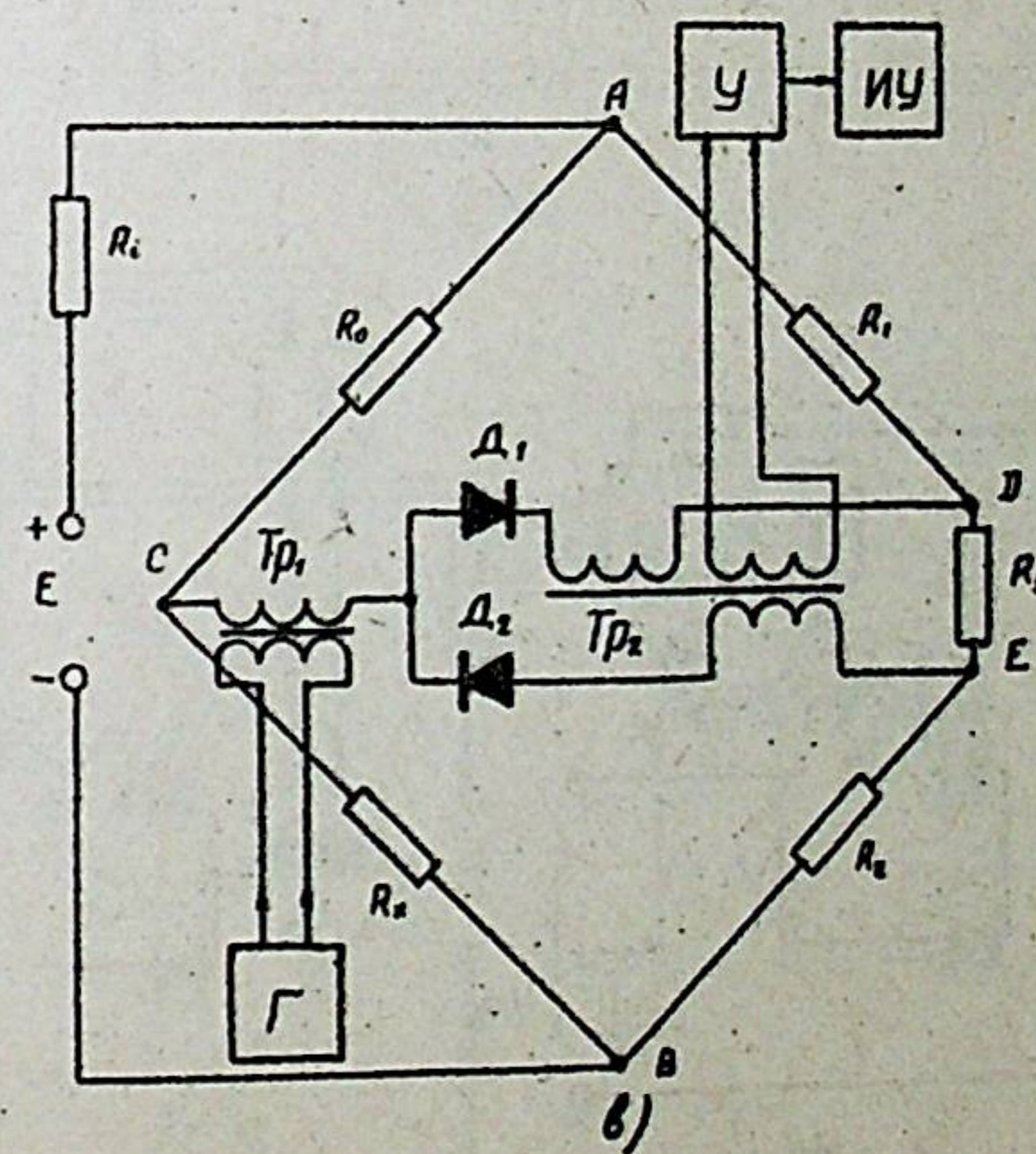
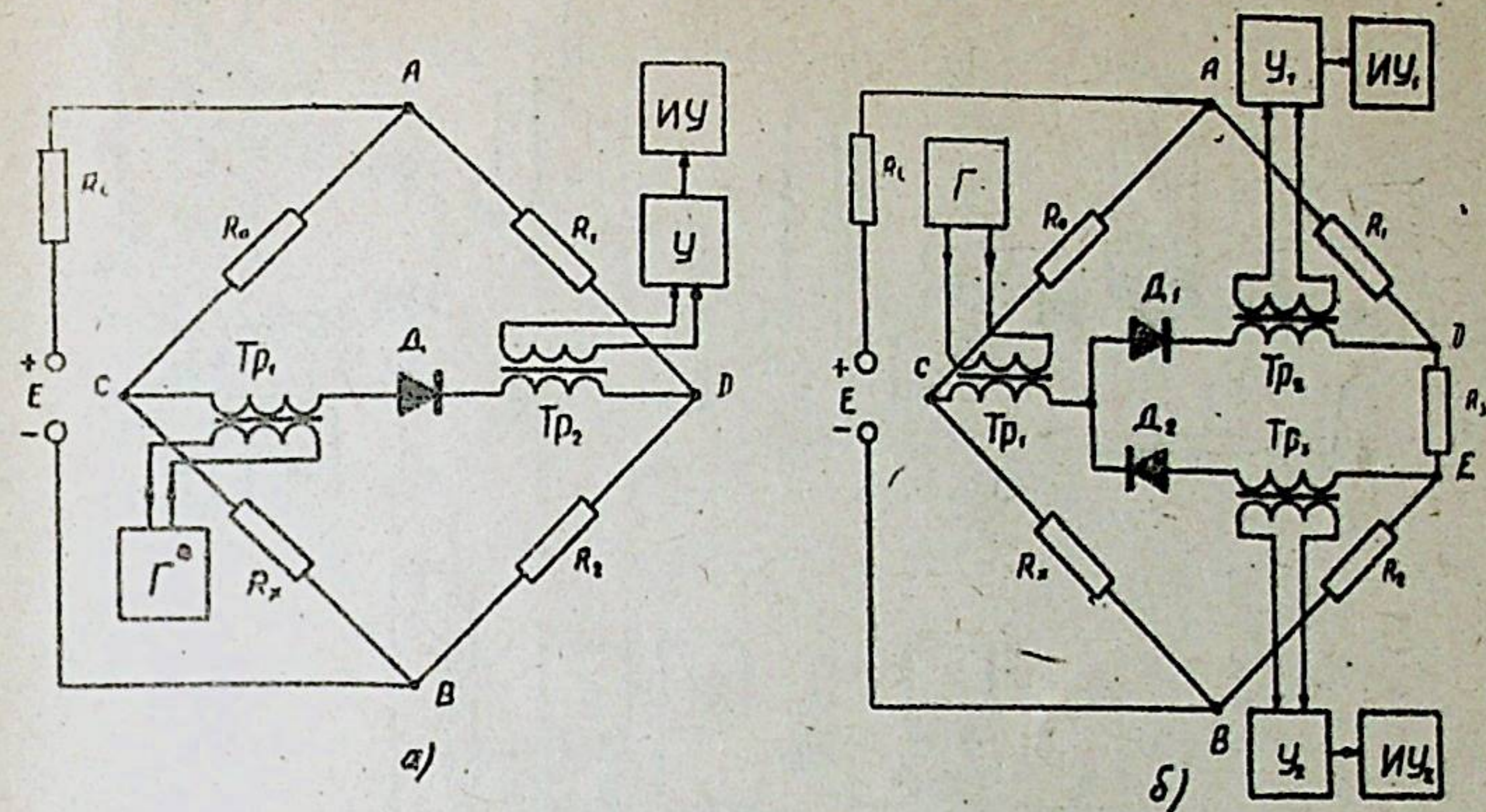


Рис 1

