

6
A-25

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО
И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ОБЪЕДИНЕННЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ
ПРИ НОВОСИБИРСКОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

На правах рукописи

А.А. Томсон

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ДИНАМИКИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ МОСТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С КВАДРАТУРНЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

А в т о р е ф е р а т
диссертации, представленной на соискание
ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск-1965

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО
И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

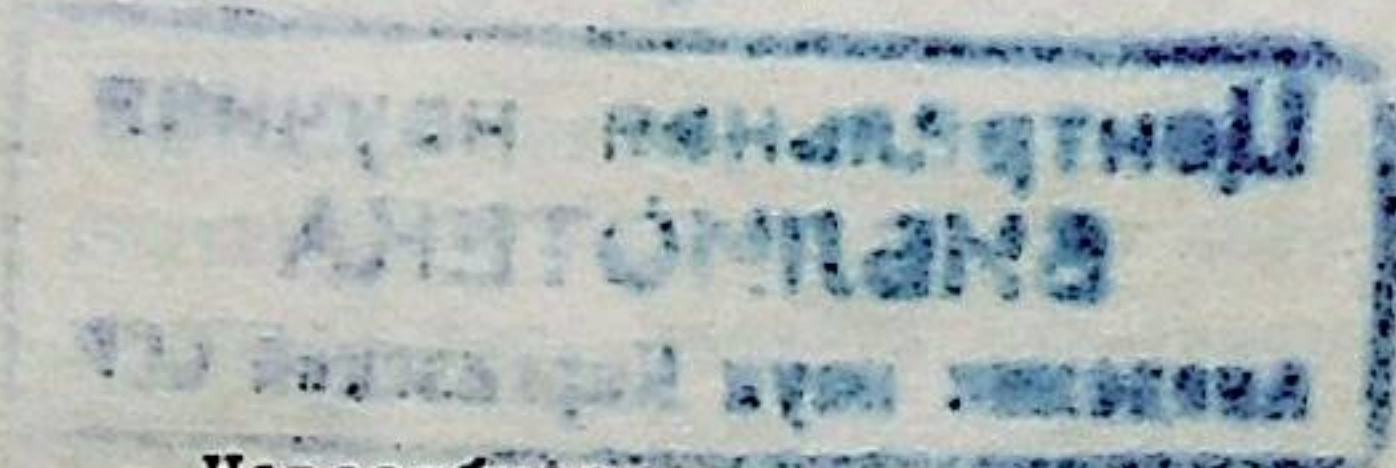
Объединенный совет по присуждению ученых степеней
по электротехническим специальностям
при Новосибирском электротехническом институте

На правах рукописи

Я.Я. Томсов

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ДИНАМИКИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ МОСТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С КВАДРАТУРНЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

Автореферат диссертации,
представленной на соискание
ученой степени кандидата
технических наук



Новосибирск

1965

В В Е Д Е Н И Е

Непрерывный рост производства радиотехнических изделий, электроизоляционных материалов, развитие автоматизации сложных технологических процессов, а также увеличение объема научных исследований требуют проведения в ограниченное время большого количества точных измерений. Во многих случаях это сводится к измерению различных параметров, связанных с составляющими комплексного электрического сопротивления или непосредственно его составляющих. Указанные задачи могут быть эффективно решены с помощью автоматических мостов переменного тока. Это, в свою очередь, требует совершенствования известных способов и поиска новых принципов построения таких мостов, а также, что не менее важно, создания эффективных методов их анализа и синтеза.

В работе излагаются результаты исследований динамики автоматических мостов переменного тока с непрерывным уравниванием. Основное внимание уделяется мостам с квадратурными детекторами (КД). Предлагаются конкретные способы улучшения их динамических свойств.

I. Состояние развития принципов построения и методов анализа динамики автоматических мостов переменного тока

Основное внимание до настоящего времени уделялось развитию принципов построения мостов. В этом направлении получены существенные результаты, в чем немалая заслуга советских ученых — К.Б. Карандеева, Ф.Б. Гриневича, Г.А. Штамбергера и др.

В зависимости от предъявляемых требований (погрешности и диапазона измерения, рабочей частоты и др.) можно применять ну-

левые мосты (мосты с КД, модуляционные) или амплитудно-фазовые (мосты с раздельным уравниванием, квазиуравненные, полууравненные). Первые обладают лучшими метрологическими показателями, поэтому наибольший интерес представляет исследование этого класса мостов. Однако в таких мостах, по крайней мере, при больших сигналах рассогласования на выходе мостовой цепи ("в большом") имеется взаимосвязь контуров уравнивания, что ухудшает их статические и динамические свойства. В модуляционных мостах с экстремальным регулированием взаимосвязь при малых сигналах рассогласования на выходе мостовой цепи ("в малом") отсутствует при угле сходимости $\gamma = \frac{\pi}{2}$ или зависит только от величины γ . Следует отметить, что на низких частотах (ниже 1000 гц) эти мосты имеют малое быстродействие. Более подходят в этом диапазоне мосты с КД, однако большинство практических схем таких мостов обладают взаимосвязью контуров уравнивания даже "в малом".

Что касается методов анализа и синтеза нулевых мостов, то они разработаны в недостаточной степени.

Начало исследований некоторых вопросов статики и динамики автоматических мостов было положено диссертацией Х.В. Силламаа под руководством К.Б. Карандеева. В этой работе основное внимание было уделено вопросам чувствительности мостов с различными типами указателей. В.Ю. Кнеллером и М.А. Гаврилюком была исследована сходимость мостов с КД на фазовой плоскости при допущении, что система является безынерционной. В работах В.Ю. Кнеллера были рассмотрены некоторые вопросы устойчивости в общем виде для мостов с КД, в частности, им было показано, что устойчивость таких мостов можно повысить уменьшением взаимосвязи контуров уравнивания.

В ряде случаев перекрестные связи могут быть и одинакового знака, что может существенно изменить свойства моста. Поэтому необходимо провести исследование различных типов мостов и сравнить их с целью выяснения влияния знаков перекрестных связей на устойчивость. Необходимо также установить и степень влияния ряда важных параметров на динамику мостов с КД. Так, увеличение постоянной времени детектора (на частоте 50 гц она может достигать порядка 0,12-0,16 сек) ухудшает динамику системы, в связи с чем представляется целесообразным исследовать различные схемы быстродействующих детекторов.

Автоматические мосты являются сложными нелинейными системами, исследование переходных процессов которых аналитическими

методами не представляется возможным. Тем не менее окончательную оценку любого моста можно произвести лишь на основе анализа качества уравнивания. М.А. Гаврилюк исследовал качество уравнивания при фиксированных векторах опорных напряжений КД на аналоговой модели, что дало возможность исследовать мост более полно. Однако следует заметить, что часто выражения напряжений на выходах детекторов могут быть сравнительно громоздкими и сложными. За счет этого при моделировании, помимо блоков типовых нелинейностей (сухое трение, люфт, насыщение усилителей), требуется большое количество нелинейных блоков, осуществляющих умножение, деление и др. При вариации многих параметров в широких пределах затрудняется выбор масштабных коэффициентов. Не совсем удобно и просто моделировать следящий режим, даже при изменении параметров по законам $a_1 + a_2 \sin \omega t$, $b_1 + b_2 t$, не говоря уже о более сложных. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность применения более эффективных методов анализа с использованием ЦВМ.

Такая необходимость диктуется еще и тем, что каждый конкретный мост при больших сигналах разбаланса мостовой цепи необходимо исследовать отдельно, поскольку характер переходных процессов зависит от величин начальных отклонений измеряемых или уравнивающих параметров. Следовательно, необходимо дальнейшее совершенствование и развитие как самих принципов построения мостов, так и методов их исследования.

В работе ставится задача исследовать возможности применения некоторых аналитических методов для анализа, синтеза и сравнительной оценки мостов различного типа; найти конкретные пути улучшения статических и динамических свойств мостов с КД и показать эффективность применения численных методов анализа с использованием ЦВМ для исследования качества уравнивания различных типов автоматических мостов переменного тока.

II. Некоторые методы анализа устойчивости автоматических мостов переменного тока [1,2]

С помощью критерия Гурвица найдены условия устойчивости для мостов с КД. Допускается, что мостовая цепь и детекторы безынерционны, а уравнение движения каждого из исполнительных двигателей имеет вид

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + F \frac{d \alpha}{dt} = K_g U_y, \quad (1)$$

где J - момент инерции системы, приведенный к валу двигателя;
 F - коэффициент вязкого трения;
 U_y - напряжение на управляющей обмотке двигателя;
 K_g - коэффициент передачи двигателя.

Для случая уравнивания разнородными параметрами найдено выражение критических коэффициентов усиления трактов усиления, не охваченных обратной связью по скорости двигателя. Оно может быть представлено следующим образом:

$$K_{y_{кр}} = \frac{(1 + K_{ос} K_g^* K_o)^2 \cos \psi}{T K_1 K_{kg} K_o K_g^* \sin^2 \psi}, \quad (2)$$

где $K_g^* = \frac{K_g}{F}$; $T = \frac{J}{F}$;

K_1 - коэффициент передачи мостовой схемы;

K_{kg} - коэффициент передачи детектора;

ψ - угол взаимосвязи;

$K_{ос}$ - коэффициент обратной связи по скорости исполнительного двигателя;

K_o - коэффициент усиления усилительного тракта, охваченного обратной связью.

Показано, что мосты с перекрестными связями одного знака при прочих равных условиях обладают лучшими (в смысле устойчивости) свойствами. Это может иметь место в мостах с КД при определенном выборе опорных напряжений и в модуляционных мостах,

На примере уравнивания разнородными параметрами с помощью комплексной передаточной функции разомкнутой системы показано, что увеличение постоянной времени детекторов ухудшает устойчивость моста.

Для автоматических мостов независимого уравнивания (в том числе и мостов, предназначенных для измерения одного параметра) найдены с помощью функций Ляпунова достаточные условия устойчивости при больших сигналах разбаланса мостовой цепи, совпадающие с необходимыми и достаточными условиями устойчивости соответствующих линеаризованных систем. Для мостов, в которых линейная зона усилителя, приведенная к выходу мостовой цепи, больше линейной зоны мостовой цепи, найдены функции Ляпунова. При этом предполагается, что детектор безынерционный, а движение моста описывается системой уравнений второго порядка. Для наиболее часто встречающихся на практике мостов, в которых приведенная к мостовой цепи линейная зона усилителя меньше линей-

ной зоны мостовой цепи (случай с большим коэффициентом усиления), найдены функции Ляпунова с учетом обратных связей по скорости исполнительных двигателей и рассмотрен пример с учетом постоянной времени детектора. В этом случае каждый контур уравнивания можно описать системой дифференциальных уравнений третьего порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= y_2; \\ \frac{dy_2}{dt} &= y_3; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{dy_3}{dt} = -a_1 y_3 - a_2 y_2 - q_1(y_1) y_1,$$

где

$$a_1 = \frac{J + T_{kg} F}{J \cdot T_{kg}}; \quad a_2 = \frac{F}{J \cdot T_{kg}}; \quad q_1(y_1) = \frac{K_g K_{kg}}{J \cdot T_{kg}} \cdot \frac{\varphi(y_1)}{y_1}.$$

На нелинейную характеристику усилителя $\varphi(y_1)$ наложено ограничение

$$\varphi(y_1) y_1 > 0 \text{ при } y_1 \neq 0; \quad \varphi(y_1) y_1 = 0 \text{ при } y_1 = 0.$$

Функция Ляпунова для системы (3) имеет вид

$$V = \frac{a_2}{2} y_1^2 + a_1 \int_0^{y_1} q_1(y_1) dy_1 + a_1 a_2 y_1 y_2 + (a_1^2 + a_2) \frac{y_2^2}{2} + a_2 y_1 y_3 + a_1 y_2 y_3 + y_3^2, \quad (4)$$

ее производная равна

$$\frac{dV}{dt} = - [a_2 q_1(y_1) y_1^2 + 2 q_1(y_1) y_1 y_3 + a_1 y_3^2], \quad (5)$$

а достаточные условия устойчивости при этом сводятся к следующим неравенствам:

$$a_1 > 0; \quad a_2 > 0; \quad q_1(y_1) > 0; \quad a_1 a_2 - q_1(y_1) > 0. \quad (6)$$

III. Методы уменьшения взаимосвязи контуров уравнивания в мостах с КД [3, 4, 5]

Показана ограниченность применения обычных методов автоно-

мизации многомерных систем к автоматическим мостам для измерения двух параметров. В частности, малоэффективен метод, основанный на введении искусственных перекрестных связей $K(p)_{12}$, $K(p)_{21}$ (см. 8), характер и величины которых получаются из диагонализации передаточной матрицы разомкнутой системы с учетом введения этих связей. Если в мосте с уравниванием двумя разнородными параметрами выходной сигнал каждого детектора, преобразованный в устройстве, имеющем передаточное отношение $K(p)_{12}$ ($K(p)_{21}$), сложить с выходным сигналом другого детектора, то указанная передаточная матрица может быть записана в виде

$$\bar{W}(p) = \begin{bmatrix} \cos \psi + K(p)_{12} \sin \psi & -\sin \psi + K(p)_{12} \cos \psi \\ K(p)_{21} \cos \psi + \sin \psi & -\sin \psi K(p)_{21} + \cos \psi \end{bmatrix} W_1(p) K_u K_y K_{kq}, \quad (7)$$

где $W_1(p)$ — передаточная функция исполнительного двигателя;
 K_u — коэффициент усиления усилителя каждого контура.

Из (7) можно получить выражения вводимых искусственных перекрестных связей:

$$\begin{aligned} K(p)_{12} &= \operatorname{tg} \psi; \\ K(p)_{21} &= -\operatorname{tg} \psi. \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку величина ψ не является постоянной, то вряд ли можно считать рациональным реализацию $K(p)_{12}$ и $K(p)_{21}$. Не применим и метод увеличения коэффициентов усиления контуров регулирования, поскольку с увеличением K_u одновременно происходит увеличение всех членов передаточной матрицы (7).

Предложен новый способ развязки "в малом", пригодный для широко распространенных мостов с трехэлементными ветвями. Он отличается тем, что в качестве опорного напряжения одного из КД используется напряжение фазосдвигающей цепи, состоящей из делителя напряжения в виде двух обмоток трансформатора и модели ветви измерительной цепи. При уравнивании разнородными параметрами перекрестные связи исключаются в обоих направлениях, а в случае уравнивания однородными параметрами остается лишь односторонняя связь, которая уже не оказывает влияния на устойчивость.

Для моста с уравниванием однородными параметрами построены кривые относительных чувствительностей, облегчающие выбор параметров мостовой цепи. Показано, что такой способ может быть применен в различных модификациях мостов с КД.

IV. Исследование динамики автоматических мостов на ЦВМ [6]

В общем случае система нелинейных уравнений, описывающих движение автоматического моста, может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= f_1(y_1, y_2, \dots, y_m), \\ \frac{dy_2}{dt} &= f_2(y_1, y_2, \dots, y_m), \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dy_m}{dt} &= f_m(y_1, y_2, \dots, y_m), \end{aligned} \quad (8)$$

где $y_{1,2,\dots,m}$ — обобщенные координаты системы; $f_m(y_1, y_2, \dots, y_m) = 1$.

О качестве переходных процессов удобнее всего судить непосредственно по решению системы (8). Для отыскания решения можно применять различные численные методы с использованием ЦВМ. Начальные значения координат y_{10} , y_{20} , ..., y_{m0} должны быть при этом заданы.

Для ускорения составления программы решения (схемы решения) предлагается использовать алгоритмический язык программирования. Это приводит также и к большим удобствам при отладке самой программы.

На языке Алгол-60 приводится алгоритм процедуры счета одного шага интегрирования методом Рунге-Кутты с постоянным шагом.

```

Начало действительный массив A, z, y, q[1:m];
Действительный K [1:5],
целый i, j; K1:=K2:=K5:=h/2; K3:=K4:=h;
для i := 1 шаг 1 до m цикл
для j := 1 шаг 1 до 4 цикл
начало
  q1 := f1(z1, z2, ..., zm);
  q2 := f2(z1, z2, ..., zm);
  .....
  qm := fm(z1, z2, ..., zm);
для i := 1 шаг 1 до m цикл
начало
  Ai := Ai + qi / 3 * Kj+1;
  
```


$$z_i := y_i + k_j \times q_i$$

конец

конец

для $i := 1$ шаг 1 до m цикл $y_i := A_i$ конец;

где k_{1-5} , q_i , z_i , A_i ($i=1, 2, \dots, m$) — некоторые промежуточные параметры;

h — шаг интегрирования.

На входном языке дается алгоритм представления типовых нелинейностей: момента сухого трения, насыщения усилителей, ступенчатости потенциометра, ограничения координат обобщенных параметров (упоров). Например, момент нагрузки

$$M = \begin{cases} M_1 + kx \\ 0 \\ -M_1 + kx \end{cases} \text{ при } \begin{cases} x > 0, \\ x = 0, \\ x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

записывается как

$$M := (M_1 + k \times \text{abs}(x)) \times \text{sign}(x). \quad (11)$$

Исследовано качество уравнивания моста с подслеживанием векторов опорных напряжений КД при ступенчатом, гармоническом и линейном характере изменения измеряемых параметров (C и $\text{tg } \delta$). При этом учтены насыщение усилителей, сухое трение, ограничение координат обобщенных параметров. Каждый контур представлен нелинейным дифференциальным уравнением третьего порядка, а весь мост — системой уравнений шестого порядка.

В случае отработки ступенчатого воздействия при определенном сочетании обобщенных погрешностей уравнивания X_1 , X_4 в начале переходных процессов один из исполнительных двигателей может вращаться в ложную сторону. Это приводит к увеличению общего времени уравнивания при $X_{10} \gg 0$ & $X_{40} \gg 0$ примерно в 2 раза по сравнению с временем уравнивания каждого контура в отдельности. Появляется необходимость в введении ограничения координат (упоров).

Так же, как и в обычных одномерных системах, инерционность элементов ухудшает устойчивость, вызывает перерегулирование. Повышение устойчивости и улучшение качества работы моста можно добиться введением соответствующих корректирующих цепей. Уменьшение момента сухого трения вызывает уменьшение статической погрешности при устойчивой работе и увеличивает амплитуду колебаний в автоколебательном режиме.

В следящем режиме характер качества уравнивания приближается к качеству работы каждого контура в отдельности. При изменении входных параметров в широких пределах значительно из-

меняется чувствительность мостовой схемы. Это приводит к тому, что погрешность слежения распределяется неравномерно по всей плоскости уравнивания. Поэтому требуется исследование и следящего режима для каждого конкретного моста. В качестве оценки такого режима предлагается использовать обобщенные относительные динамические погрешности.

Установлено, что при проверке такого моста на устойчивость можно ограничиться рассмотрением процесса уравнивания лишь при ступенчатом изменении переменных параметров мостовой цепи.

Численный метод анализа был применен и для исследования качества уравнивания одной схемы модуляционного моста "в малом".

У. Некоторые вопросы выбора параметров и элементов контуров уравнивания [1,5]

Довольно часто в целях упрощения схем автоматических мостов рекомендуется использовать двигатель в совмещенном режиме (двигатель-КД). Имеются также высказывания о том, что такое использование двигателя приводит к ухудшению режима работы как усилителя, так и двигателя; последний не используется полностью по моменту. Показано, что при работе усилителей в режиме насыщения происходит и перераспределение составляющих сигнала разбаланса мостовой цепи. Эти недостатки можно исключить применением известных квадратурных детекторов. На низкой частоте необходимо использовать различные типы быстродействующих детекторов. На основе анализа первых гармоник выходных напряжений таких детекторов показано, что детекторы, построенные по принципу интегрирования сигнала несущей частоты, обладают значительно меньшим коэффициентом передачи, чем детекторы, использующие принцип запоминания амплитудных значений сигналов. Постоянная времени таких быстродействующих детекторов составляет (на частоте 50 гц) 0,01–0,02 сек.

Доказана возможность синтеза структуры высокой точности мостов с КД путем бесконечного увеличения коэффициентов усиления контуров уравнивания и ввода обратных связей по скорости исполнительных двигателей. Модель моста предполагалась линейной. При таком рассмотрении учтены перекрестные связи и постоянные времени детекторов.

Поскольку в мостах могут найти применение детекторы с ис-

пользованием ключей, то одним из удобных методов стабилизации можно признать применение демодулирующих корректирующих цепей на переменном токе. Обычно они вводятся последовательно в контур регулирования. Оказывается, что если такую цепь ввести в контур обратной связи усилителя по напряжению, то достигается значительное ослабление квадратурной составляющей сигнала разбаланса мостовой цепи.

VI. Экспериментальная часть

Принцип подслеживания векторов опорных напряжений проверен на лабораторном макете автоматического моста. Осциллограммы переходных процессов при прочих равных условиях в различных точках плоскости уравнивания подтверждают преимущества предлагаемого способа исключения взаимосвязи контуров уравнивания. Коэффициент усиления, при котором возможна устойчивая работа моста с фиксированными векторами опорных напряжений лишь в окрестности одной точки плоскости уравнивания, реализуется при подслеживании векторов опорных напряжений КД во всем диапазоне изменения измеряемых величин. По характеру процессов при больших сигналах рассогласования на выходе мостовой схемы результаты, полученные экспериментальным путем, весьма близки результатам, полученным на ЦВМ. Применение еще и быстродействующих детекторов на частоте 50 гц позволило без каких-либо дополнительных стабилизирующих связей добиться погрешности уравнивания по емкости ($\frac{\Delta C}{C}$) 0,5%, по $\tan \delta$ - порядка 2,5% (при времени уравнивания 2 сек и переходном процессе, близком к апериодическому, включая и время ложного уравнивания). Применяя известные стабилизирующие цепи и связи, можно значительно улучшить динамические и статические свойства моста.

В приложении дается схема решения системы уравнений на языке Алгол-60, описывающих мост с КД в различных режимах работы.

Основные результаты

I. Выведены условия устойчивости и найдены аналитические выражения критических коэффициентов усиления для линейной модели мостов с КД в зависимости от параметров контуров уравни-

вешивания и величин перекрестных и обратных связей. Показано, что при прочих равных условиях мосты с перекрестными связями одного знака обладают лучшими динамическими свойствами (в смысле устойчивости) по сравнению с мостами, имеющими перекрестные связи разных знаков. Показано также, что на низких частотах устойчивость можно существенно повысить не только исключением взаимосвязи контуров уравнивания, но и уменьшением постоянной времени детекторов.

2. Для мостов независимого уравнивания при учете насыщения усилителя и постоянной времени детектора найдены с помощью функций Ляпунова достаточные условия абсолютной устойчивости, совпадающие с необходимыми и достаточными условиями устойчивости соответствующих линеаризованных систем. Отсюда вытекает, что исследование устойчивости таких мостов можно проводить по линейной модели, не прибегая к построению функций Ляпунова.

3. Доказано, что в автоматических мостах с КД, даже если каждый контур уравнивания описывается уравнением третьей степени и между контурами имеется взаимосвязь, можно реализовать бесконечно большой коэффициент усиления (структуру высокой точности) при условии, что каскад усиления охвачен обратной связью по скорости исполнительного двигателя.

4. Предложенный метод подслеживания векторов опорных напряжений КД позволяет исключить взаимосвязь контуров уравнивания во всем диапазоне измерения в широко распространенных четырехплечих мостах, что позволяет улучшить их метрологические и динамические свойства.

5. Показана эффективность применения ЦВМ с использованием алгоритмического языка программирования для исследования качества уравнивания автоматических мостов переменного тока. На языке Алгол-60 найдены простые алгоритмы представления основных нелинейностей (сухое трение, насыщение усилителя, ступенчатость потенциометра и др.) и дана схема решения системы уравнений, описывающих переходные процессы моста для различных режимов уравнивания.

6. Из проведенного анализа качества уравнивания моста с подслеживанием векторов опорных напряжений следует, что в режиме отработки ступенчатого изменения переменных параметров мостовой цепи максимальное время уравнивания примерно в 2 раза больше максимального времени уравнивания такого контура в отдельности. Параметры контуров уравнивания (инер-

ционность элементов, сухое трение и др.) оказывает на исследованный мост в различных режимах измерения такое же влияние, как соответствующие параметры — на динамику подобных одномерных систем.

7. Основные теоретические выводы довольно хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах автора:

1. Я. Я. Т о м с о н с. Устойчивость автоматических квазиуравновешенных мостов переменного тока. — Измерительные схемы и устройства. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 10. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1965.
2. Я. Я. Т о м с о н с. О критическом коэффициенте усиления в автоматических мостах переменного тока. — Изв.Сиб.отд. АН СССР, серия техн.наук, 1964, № 10.
3. Я. Я. Т о м с о н с. Об автоматизации одной двумерной следящей системы. — Тезисы докладов третьей научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства. Томск, 1964.
4. Я. Я. Т о м с о н с. Автоматический мост переменного тока. Авторское свидетельство, кл. G01g, 21e, 2902 № 169674 от 7 марта 1964. Бюллетень изобретений, 1965, № 7.
5. Я. Я. Т о м с о н с. Об одном способе уменьшения взаимосвязи контуров уравновешивания в автоматических мостах переменного тока. — Конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений, Новосибирск, 1964.
6. Я. Я. Т о м с о н с. Анализ динамики одной схемы автоматического моста переменного тока с квадратурными детекторами. — Автометрия, 1965, № 3 (в печати).

Основные результаты работы докладывались на У и УІ Всесоюзных конференциях по автоматическому контролю и методам электрических измерений в г. Новосибирске.

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

308677