

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.317.733.011.4

Ф. Б. ГРИНЕВИЧ, А. И. НОВИК, А. В. ЧЕБОТАРЕВ
(Новосибирск)

ЦИФРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ МОСТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В работе описан цифровой автоматический мост класса 0,1, предназначенный для измерения параметров конденсаторов. Приведены технические характеристики прибора.

В институте автоматики и электрометрии СО АН СССР создан цифровой экстремальный мост переменного тока, предназначенный для измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов. Автоматическое уравнивание моста производится путем поиска экстремума (минимума) выходного напряжения мостовой цепи. Для формирования управляющих воздействий используются только амплитудные изменения выходного напряжения измерительной цепи, которые возникают в результате импульсной модуляции регулируемых параметров [1, 2, 3, 4]. Благодаря этому описываемый цифровой автоматический мост имеет значительные преимущества перед аналогичными приборами с фазочувствительным (квадратурным) детектированием. Достаточно указать, что уравнивание измерительной цепи данного моста производится с точностью до $2,5 \cdot 10^{-5}$. При этом обеспечивается устойчивость системы уравнивания при значительном изменении чувствительности, возможном в мостовой цепи.

Благодаря использованию избирательного усилителя описываемый мост обладает высокой помехоустойчивостью. Нормальная работа прибора не нарушается даже при наличии помех, в 20—50 раз превышающих сигнал. Для расширения динамического диапазона усилителя применяется углубитель модуляции [5].

Для достижения высокой точности измерения в цифровом мосте применяется специально разработанная измерительная цепь с индуктивно связанными плечами [6], в которой обеспечен отдельный отсчет емкости и тангенса угла потерь при уравнивании по обоим параметрам только изменением количества витков индуктивных плеч моста. При таком построении измерительной цепи сокращается число необходимых образцовых элементов и значительно облегчается защита моста.

Высокая надежность и помехоустойчивость прибора обеспечиваются благодаря применению следящего уравнивания, при котором случайные ошибки (например, сбой счетчика) автоматически исправляются в процессе уравнивания. Для повышения быстродействия следящее уравнивание в цифровых приборах постоянного тока производится

подекадно (подекадно-следящее уравнивание [7]). Использование подекадно-следящего уравнивания в цифровых мостах переменного тока имеет некоторые особенности. В описываемом мосте переменного тока для обеспечения сходимости процесса уравнивания при наличии связи между контурами регулирования и при различной и непостоянной по величине чувствительности по регулируемым параметрам применяется подекадно-следящее уравнивание по особому алгоритму, при котором регулировка на каждой декаде производится дважды; в промежутке между этими двумя регулировками производится уравнивание по другому параметру.

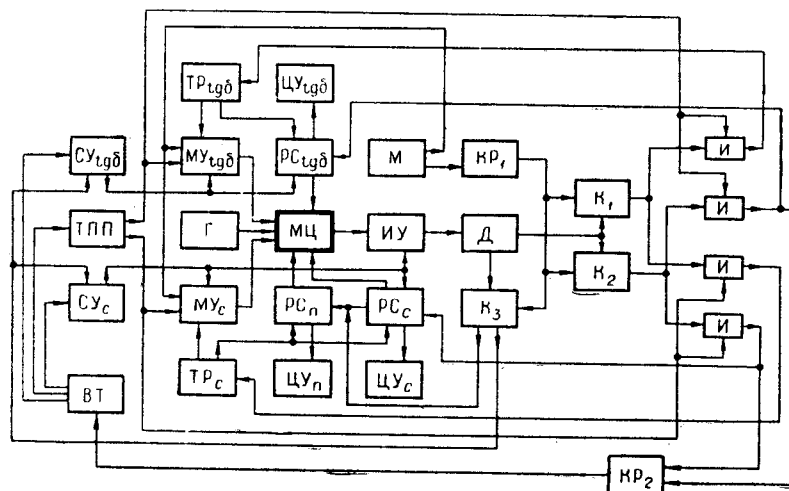


Рис. 1.

Блок-схема цифрового моста представлена на рис. 1. Мост состоит из измерительной мостовой цепи МЦ, питаемой генератором Г, двух реверсивных счетчиков РС_с и РС_{тгδ}, управляющих посредством реле изменениями соответствующих параметров мостовой цепи, реверсивного счетчика пределов РС_п, экстремум-детектора и блока управления уравниванием. Каждый из реверсивных счетчиков связан с соответствующими цифровыми устройствами ЦУ. Основными элементами экстремум-детектора являются модуляционные устройства МУ, триггеры реверса ТР, избирательный усилитель ИУ, амплитудный детектор Д, ключи К₁, К₂ и К₃, задающий мультивибратор М и кипп-реле задержки КР₁. Блок управления состоит из двух счетчиков управления СУ, кипп-реле КР₂ и из двух вспомогательных триггеров, которые совместно с триггером переключения параметров ТПП обеспечивают необходимый алгоритм уравнивания.

Прибор работает следующим образом. На модуляторы параметров подаются сигналы с задающего мультивибратора, триггера реверса и триггера переключения параметров. Один из модуляторов кратковременно изменяет значение параметра в ту или иную сторону на один шаг, что приводит к изменению амплитуды выходного напряжения мостовой цепи. Модулированное напряжение с выхода мостовой цепи через избирательный усилитель поступает на амплитудный детектор. Выделенная огибающая подается на ключи К₁ и К₂, которые в исходном состоянии закрыты. Ключ К₁ открывается только при подаче отрицательного импульса огибающей, а ключ К₂ — только при подаче положи-

тельного импульса. Если направление модуляционного изменения параметра и направление счета соответствующего реверсивного счетчика соответствует приближению к равновесию, то при модуляционном воздействии на выходе детектора появится отрицательный импульс, который откроет только K_1 . Импульс с выхода KP_1 , задержанный на 15 мсек по сравнению с моментом начала модуляционного воздействия, проходит через этот ключ и через схему И на вход одного из реверсивных счетчиков (PC_C или $PC_{tg\delta}$). При этом происходит срабатывание счетчика и изменение соответствующего параметра на один шаг в сторону равновесия. Если же направление счета и модуляционного изменения параметра соответствует удалению от равновесия, то на выходе детектора появится положительный импульс, который откроет только ключ K_2 . При этом импульс с KP_1 поступает на вход одного из триггеров реверса и приводит к опрокидыванию этого триггера и изменению направления счета и модуляции.

Для осуществления подекадно-следящего уравнивания в блоке управления моста имеются два счетчика. Один из этих счетчиков SU_C имеет четыре состояния и управляет распределением импульсов по входам декад PC_C , изменением шага модуляции по емкости и соответственно изменяет коэффициент усиления избирательного усилителя. Второй счетчик $SU_{tg\delta}$ имеет три состояния и управляет распределением импульсов по входам декад $PC_{tg\delta}$ и изменением шага модуляции по $tg\delta$. В исходном положении эти счетчики находятся в состоянии 0. При этом происходит грубое уравнивание: модуляция производится самыми крупными шагами, и импульсы с экстремум-детектора подаются на самую старшую декаду реверсивного счетчика. По мере поступления импульсов на счетчики блока управления происходит все более точное уравнивание. После полного уравнивания моста система уравнивания автоматически отключается.

Определение состояния равновесия на каждой декаде производится по прекращению подачи импульсов на входы реверсивных счетчиков с помощью кipp-реле блока управления KP_2 и управляемого им ключа. Во время уравнивания моста на вход KP_2 подаются импульсы (те же, что и на входы реверсивных счетчиков). Kipp-реле запускается каждым таким импульсом и поддерживает ключ в запертом состоянии. При достижении состояния равновесия подача импульсов на реверсивные счетчики и на KP_2 прекращается, ключ открывается и пропускает один импульс на вход блока управления. Происходит переход на более точное уравнивание или на уравнивание по другому параметру. Специальный алгоритм уравнивания обеспечивается устройством, состоящим из двух вспомогательных триггеров ВТ и триггера ТПП. Триггер ТПП поочередно включает модуляторы и управляет состояниями схем И, включенных на выходе ключей K_1 и K_2 .

В начальный момент уравнивания моста возможна перегрузка избирательного усилителя и значительное искажение модулированного напряжения (обычно это происходит при несоответствии между величиной измеряемой емкости и пределом измерения). При этом срабатывает устройство поиска предела измерения (ключ K_3), которое управляет постоянной составляющей напряжения амплитудного детектора Д. На счетчик пределов подаются импульсы до тех пор, пока при правильно выбранном пределе напряжение на выходе избирательного усилителя не станет меньше порога ограничения. Если перегрузка произошла в процессе уравнивания (сбой), то при срабатывании уст-

ройства поиска одновременно с открыванием ключа K_3 производится сброс показаний счетчиков управления, и уравнивание начинается сначала.

Внешний вид цифрового экстремального моста показан на рис. 2. В верхней части лицевой панели прибора расположены проекционные отсчетные устройства. Отсчет значений емкости (в левой части панели) — четырехдекадный, с «плавающей» запятой и изменяющейся размерностью. Отсчет значений тангенса угла потерь (в правой части лицевой панели) — трехдекадный. Единица последней декады соответствует

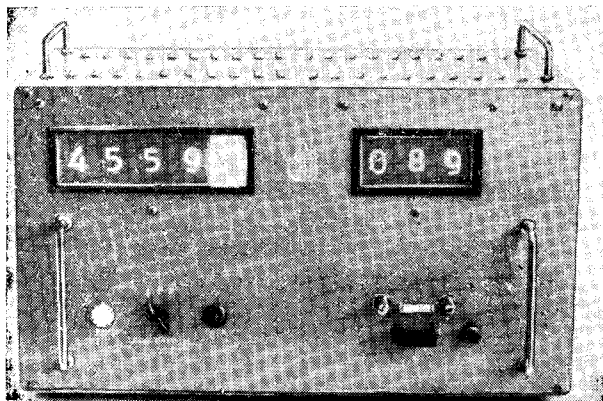


Рис. 2.

величине тангенса угла потерь, равной $1 \cdot 10^{-4}$. Подключение испытуемых конденсаторов к прибору производится с помощью полуавтоматических экранированных зажимов, расположенных в правой нижней части передней панели. Прибор снабжен переключателем «Род работы». Разовые измерения или измерения параметров конденсаторов различного номинала целесообразно производить

при установке переключателя «Род работ» в положение 1. В этом положении при нажатии кнопки «Пуск» производится сброс предыдущих показаний, выбор предела измерения и уравнивания моста, после чего система уравнивания автоматически отключается. Измерение параметров конденсаторов одного номинала (или близких номиналов) целесообразно производить при установке переключателя в положение 2. В этом положении переключателя сброс предыдущих показаний не производится (система «помнит» результат предыдущего измерения), поэтому для уравнивания моста требуется небольшое количество шагов. При уравнивании моста в положениях переключателя 1 и 2 производится гашение индикации (для исключения мелькания цифр в отсчетных устройствах). При установке переключателя в положение 3 обеспечивается следящий режим работы. В этом режиме осуществляется непрерывная индикация, система экстремального регулирования не отключается после уравнивания мостовой цепи, поэтому можно следить за изменениями параметров контролируемого конденсатора (или какого-либо датчика). Прибор может быть оборудован выходом для цифро-печатающего устройства.

Цифровой экстремальный мост имеет следующие технические характеристики. Диапазон измерения емкости от 10 нф до 10 мкф , тангенса угла потерь — от $2 \cdot 10^{-4}$ до $0,1$. Погрешность измерения емкости не превышает $0,1\%$, погрешность измерения тангенса угла потерь равна $2 \cdot 10^{-4} + 0,02 \text{ tg } \delta$. Измерение параметров конденсаторов производится на частоте 1 кгц . Максимальное время уравнивания (с учетом времени автоматического выбора предела) не превышает 5 сек . Среднее время уравнивания составляет $3\text{—}4 \text{ сек}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Б. Гриневич. Автоматические мосты переменного тока. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
2. Ф. Б. Гриневич. О построении цифровых автоматических мостов переменного тока. — Измерительная техника, 1963, № 6.
3. Ф. Б. Гриневич, А. В. Чеботарев, А. И. Новик. Элементы и схемы цифровых экстремальных мостов переменного тока. Фрунзе, Изд-во АН КиргССР, 1963.
4. Ф. Б. Гриневич, А. В. Чеботарев, А. И. Новик. Цифровой автоматический экстремальный мост переменного тока. Авторское свидетельство по заявке № 862180/26—10, 1963.
5. Ф. Б. Гриневич, А. В. Чеботарев. Углубитель модуляции. Авторское свидетельство № 165779 от 10 июня 1963 г. Бюллетень изобретений, 1964, № 20.
6. Ф. Б. Гриневич, А. В. Чеботарев. Мост с индуктивно связанными плечами для измерения параметров конденсаторов. Авторское свидетельство по заявке № 906043/26—10, 1964.
7. М. П. Чапенко. Автоматические измерительные компенсаторы с декадными магазинами сопротивлений. — Приборостроение, 1957, № 1.

*Поступила в редакцию
23 мая 1965 г.,
после переработки —
26 июня 1965 г.*