

УДК 378.147; 620.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОСТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Медведовская Оксана, Чепурных Геннадий
(Сумы)

Аннотация. Для улучшения качества подготовки студентов физико-математических специальностей педагогических университетов предлагается проведение лабораторной работы, связанных с применением мостовых схем. Обращается внимание, что мостовые схемы обладают большой точностью, высокой чувствительностью, широким диапазоном измеряемых значений, возможностью создания как специализированных приборов, предназначенных для измерения какой-либо одной величины, так и универсальных приборов.

Ключевые слова: информационные технологии, лабораторные работы, измерительная техника, мостовая схема постоянного тока, высокая чувствительность.

Постановка проблемы. Эксплуатация существующих и разработка новых компьютеризованных систем управления производственных процессов требуют усиления физико-математической подготовки с техническим уклоном, как учащихся средних школ, так и студентов физико-математических факультетов педагогических университетов. Требуется знания преобразовательной техники. Этой проблеме, в частности, посвящены недавно состоявшиеся международной конференции [6] (см. также [7]).

К числу научно-технических вопросов, которые могут быть использованы в учебном процессе педагогических университетов,

относятся вопросы создания высокоточных измерений [1, с. 82-83, 108-114; 2, с. 137-140; 3, с. 197, 199-201; 4, с. 9-32; 5, с. 85-118].

Одним из важных понятий в теории и практике измерений¹ является понятие физической величины, под которой понимают в качественном отношении общее, присущее многим физическим объектам свойство, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Так, в любом электронном устройстве электрическое напряжение представляется как общее свойство, как физическая величина, единицей которой является вольт. В каждом узле, блоке конкретной электронной системы электрическое напряжение в некотором, определенном количестве вольт является значением параметра данного узла, блока или, в общем случае, значением физической величины.

Для возможности установления различия в количественном содержании свойства конкретной системы, отображаемого физической величиной, употребляют понятие размера физической величины. Между размером физической величины и ее значением имеется принципиальное различие. Если обозначить измеряемую величину через u , единицу измерения через V , а их отношение через n , то $u = nV$. При этом значение величины u не зависит от размера единицы измерения, а числовое значение n полностью определяется ее выбором. Например, приняв за единицу измерения напряжения $V = 1$ В, при напряжении электрической сети $u = 220$ В получим $n = 220$. Если за единицу измерения напряжения принять $V = 1$ кВ, то при $u = 220$ В $n = 0,22$. Таким образом, размеры единиц одной и той же физической величины могут быть различны.

Измерение физической величины представляет собой нахождение ее значения экспериментальным путем с помощью специальных технических средств – средств измерений.

¹ Основные термины и определения даны в соответствии с ГОСТ 16263 — 70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения».

По способу получения числового значения измеряемой величины все измерения делят на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения основаны на методе сравнения измеряемой величины с мерой этой величины или на методе непосредственной оценки значения измеряемой величины по отсчетному устройству средства измерений, шкала которого проградуирована в единицах измеряемой величины. Примерами прямых измерений являются измерения длины линейкой (линейка является средством измерения длины), измерения силы тока амперметром, частоты резонансным частотомером и т. д.

Косвенные измерения являются более сложным видом измерений, результат которых получают после прямых измерений величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью. Так, измерение электрического сопротивления в цепи постоянного тока производится путем прямых измерений силы тока амперметром и напряжения вольтметром с последующим вычислением искомого значения сопротивления.

Косвенные измерения в ряде случаев позволяют получить более точные результаты, чем прямые, а иногда являются единственно возможными для данной физической величины.

Совокупные измерения представляют собой неоднократные, обычно прямые измерения одной или нескольких одноименных величин (при различных сочетаниях этих величин) с получением общего результата измерений путем решения системы уравнений, составляемых по частным результатам измерений. Например, к совокупным измерениям относится процесс определения взаимоиндуктивности между катушками путем двукратного измерения их общей индуктивности.

Анализ публикаций. Широкое распространение среди измерителей параметров линейных компонентов нашли приборы, основанные на мостовом методе измерений.

Мостовая схема может быть представлена в виде четырех последовательно включенных сопротивлений Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 образующих четырехполюсник (рис. 1), к двум зажимам которого (диагональ питания) подключен источник питания U , а к двум другим (измерительная диагональ) – индикатор (указатель равновесия). Ветви, включающие в себя эти сопротивления, называются плечами моста.

Условие равновесия четырехплечего одинарного моста записывается в комплексной форме как равенство произведений сопротивлений противолежащих плеч $Z_1Z_4 = Z_2Z_3$.

Если в одном из плеч моста, например Z_1 , включено неизвестное сопротивление, то Z_1 можно определить по формуле $Z_1 = Z_x = Z_2Z_3/Z_4$.

В качестве указателей равновесия в мостах на постоянном токе используются магнитоэлектрические гальванометры, электрометры, а на переменном токе осциллографические индикаторы, вибрационные гальванометры и др.

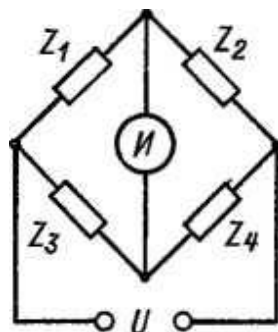


Рис. 1. Схема одинарного четырехплечего моста.

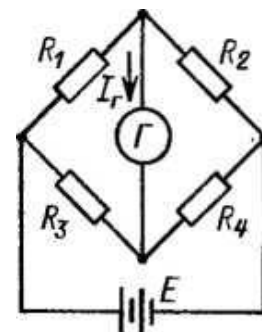


Рис. 2 Схема одинарного четырехплечего моста постоянного тока.

Мостовые схемы постоянного тока используются для измерения активных сопротивлений. Так как на постоянном токе реактивные параметры не оказывают влияния на работу цепи, то в схеме моста, приведенного на рис. 1, комплексные сопротивления Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 можно заменить активными сопротивлениями R_1, R_2, R_3, R_4 (рис. 2).

Ток через гальванометр I_G для схемы, изображенной на рис. 2, может быть рассчитан методом эквивалентного генератора или методом контурных токов и определяется выражением

$$I_G = U_{ист} \frac{a}{b} \quad (1)$$

где $a = R_1R_4 - R_2R_3$, $b = R_G(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1R_2(R_3 + R_4) + R_3R_4(R_1 + R_2)$; $U_{ист}$ – напряжение источника питания; R_G – сопротивление цепи гальванометра.

Если неизвестное сопротивление включено в первое плечо, то при выполнении условия баланса моста

$$I_G = 0, \quad R_1R_4 - R_2R_3 = 0 \quad (2)$$

его значение определяется выражением

$$R_1 = R_x = R_3R_2 / R_4 \quad (3)$$

Формула (43) называется рабочей формулой моста. Для определения R_x необходимо знать сопротивление плеча R_2 , называемого плечом сравнения, и отношение сопротивлений плеч R_3 и R_4 , называемых плечами отношения. Таким образом, сопротивление R_x измеряется методом сравнения с образцовыми сопротивлениями R_2, R_3, R_4 , из которых одно или несколько для обеспечения равновесия должны быть регулируемы.

Если измеряемая величина определяется при значении тока $I_G = 0$, мост называется уравновешенным. В неуравновешенных мостах постоянного тока измеряемое сопротивление определяется по значению тока гальванометра, проградуированного в единицах сопротивления, т. е.

$$I_G = f(R_x) \quad (4)$$

Причинами погрешностей измерения сопротивлений уравновешенным одинарным четырехплечим мостом являются недостаточно точная подгонка и регулировка образцовых сопротивлений R_2, R_3, R_4 , ограниченная чувствительность гальванометра и мостовой схемы.

Относительная погрешность измерения, обусловленная погрешностями сопротивлений его плеч, для схемы на рис. 2 определяется выражением

$$\delta = \Delta R_x / R_x = \Delta R_2 / R_2 + \Delta R_3 / R_3 - \Delta R_4 / R_4 = \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 \quad (5)$$

Чувствительность гальванометра S_Γ по току представляет собой отношение приращения отклонения стрелки измерителя $\Delta\alpha$ к изменению тока через него ΔI_Γ :

$$S_\Gamma = \Delta\alpha / \Delta I_\Gamma \quad (6)$$

Чувствительность мостовой схемы S_{cx} определяется отношением изменения выходного сигнала ΔI_Γ к вызвавшему его изменению входного сигнала, которое может быть вызвано изменением какого-либо плеча моста, например R_x . Тогда

$$S_{cx} = \Delta I_\Gamma / (\Delta R_x / R_x) \quad (7)$$

Чувствительность моста S_M представляет собой произведение чувствительности гальванометра на чувствительность мостовой схемы:

$$S_M = S_\Gamma S_{cx} = \Delta\alpha \Delta I_\Gamma / \Delta I_\Gamma (\Delta R_x / R_x) \quad (8)$$

Из (8) можно определить относительную погрешность измерения за счет неполного уравнивания моста:

$$\delta_x = \Delta R_x / R_x = \Delta\alpha / S_M = \Delta\alpha / S_\Gamma S_{cx} \quad (9)$$

Отсюда видно, что погрешность за счет неполного уравнивания тем меньше, чем больше чувствительность измерительной мостовой схемы и гальванометра.

Одинарные четырехплечие мосты применяют для измерения больших сопротивлений, от десятков ом и выше; при измерении малых сопротивлений возникают погрешности, обусловленные влиянием соединительных проводов и переходных сопротивлений контактов.

Схема двойного моста представлена на рис. 3. Для исключения влияния сопротивлений соединительных проводов и переходных

сопротивлений контактных соединений измеряемое сопротивление R_x присоединяется по четырехзажимной схеме включения: двумя токовыми зажимами оно включается в цепь источника питания моста, а двумя потенциальными – в измерительную цепь.

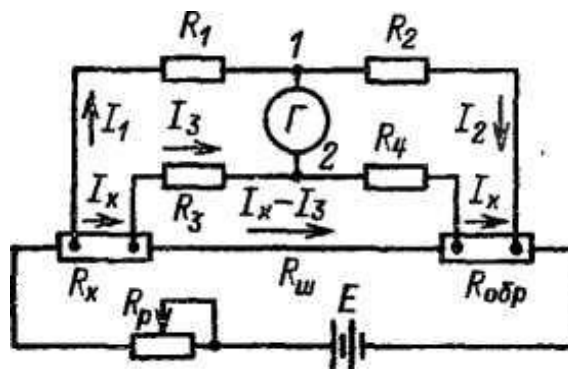


Рис. 3. Схема двойного моста постоянного тока.

Аналогичные зажимы имеет и образцовое сопротивление $R_{обр}$. В цепь источника питания входят регулировочное сопротивление R_p , измеряемое малое сопротивление R_x , образцовое сопротивление $R_{обр}$, которое выбирают одного порядка с R_x , и сопротивление соединительной шины $R_{ш}$.

Сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 , входящие в измерительную цепь, выбирают достаточно большими (сотни и тысячи ом).

Таким образом, при работе двойного моста в цепи источника питания обеспечивается достаточно большой ток (5 – 10 А), позволяющий получить заметное падение напряжения на малых сопротивлениях $R_x, R_{обр}$, чем обеспечивается требуемая чувствительность схемы. В то же время через потенциальные зажимы в высокоомную измерительную цепь будут ответвляться малые токи, создающие малые падения напряжений в соединениях, что заметно снижает их влияние на погрешность измерения.

При равновесии моста ток через указатель равновесия $I_G = 0$, что соответствует равенству потенциалов в точках 1 и 2. Тогда для схемы на рис. 3 можно составить следующие уравнения:

$$\begin{cases} I_x R_x + I_3 R_3 - I_1 R_1 = 0; \\ I_x R_{обр} + I_3 R_4 - I_1 R_2 = 0; \\ (I_x - I_3) R_{обр} - I_3 (R_3 + R_4) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

После необходимых преобразований можно найти формулу для определения со-противления R_x :

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_{обр} + \frac{R_4 R_{III}}{R_3 + R_4 + R_{III}} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (11)$$

При соблюдении равенства

$$R_1 / R_2 = R_3 / R_4 \quad (12)$$

и достаточно малом сопротивлении R_{III} вторым членом формулы (11) можно пренебречь. Тогда рабочая формула двойного моста постоянного тока запишется в следующем виде:

$$R_x = R_1 R_{обр} / R_2 \quad (12)$$

На практике могут изготавливаться комбинированные мосты постоянного тока, позволяющие при помощи специальных переключателей образовывать схему четырехплечего одинарного или двойного моста. Такие мосты обеспечивают измерения, как малых, так и больших сопротивлений (от 10^{-8} Ом до 10^8 Ом). Точность одинарно-двойных мостов в зависимости от пределов измерения колеблется от тысячных долей процента до единиц процентов.

Примером одинарно-двойных мостов могут служить мосты типов Р39, Р329, МОД-61 и др.

Выводы. При выполнении предлагаемой лабораторной работы студенты смогут углубить следующие знания:

1. Диапазон измерений представляет собой область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы погрешности средств измерений.

2. Чувствительность средства измерений представляет собой способность реагировать на изменения входного сигнала и оценивается отношением изменения выходного сигнала к вызвавшему его изменению входному сигналу.

3. Быстродействие характеризуется интервалом времени, необходимым для производства единичного измерения. Современные цифровые электронные приборы имеют быстродействие в несколько сотен, тысяч и даже сотен тысяч измерений (операций) в секунду, тогда как приборы со стрелочным индикатором позволяют производить одно измерение за несколько секунд.

4. Стабильность отражает постоянство во времени метрологических показателей средств измерений.

5. Помехозащищенностью называется способность электронного средства измерений сохранить в процессе измерений свои характеристики при наличии внешних радиопомех.

5. Надежность представляет собой свойство средства измерений функционировать при сохранении метрологических и других показателей в заданных пределах и режимах работы.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Баранов В.Я. Промышленные приборы и средства автоматизации / [В.Я. Баранов, Т.Х. Безновская, В.А. Бек и др.] – М.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

2. Белов К.П. Магнитострикционные явления и их техническое применение / Белов К.П. – М.: Наука, 1987. – 160 с.

3. Кузнецов В.А. Измерения в электронике / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.

4. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. / Миловзоров В.М. – М.: Высшая школа, 1983. – 408 с.

5. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. / [Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка, В.Г. Попков и др.] – К.: Вища школа, 1979. – 696 с.

6. Сенсорна електроніка та мікросистемні технології, міжнародна науково-технічна конференція: зб. тез доп. 6-тої міжн.наук.-техн. конф. 29 вересня – 3 жовтня 2014 р., Одеса / Держ. фонд фундам. дослідж. [та ін.]. – О.: Астропринт, 2014. – 265 с.

7. Чепурных Г.К. Области экстремальных характеристик магнитоупорядоченных кристаллов. /Чепурных Г.К. – К.: Наукова думка, 2010. – 175 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Медведовская Оксана Геннадьевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информатики Сумского государственного педагогического университета им. А.С.Макаренко.

Чепурных Геннадий Кузьмич – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института прикладной физики НАН Украины.

Круг научных интересов: информационные технологии в учебном процессе педагогических университетов.