

years of training. Varying of the input parameters within a predetermined range caused the output variable to change in accordance with the actual situation, which was confirmed by the teachers of the graduating departments.

The article shows the possibility of using developed model to identify of gaps of knowledge in specific subjects. The article is of interest to teachers of technical universities. The represented model can be used to determine the level of personnel competence of graduates of different specializations and directions of training.

**Key words:** fuzzy sets theory, linguistic variable, fuzzy production rules, competence, marine engineers, internal combustion engines.

**ОКСАНА ТЕРЕЩЕНКОВА, ЛИЛИЯ СТРЕЛКОВСКАЯ, АННА ПУЛЯЕВА**

*Херсонская государственная морская академия*

### ОЦЕНКА УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА МОРСКИХ И РЕЧНЫХ СУДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*В работе представлены результаты исследования по использованию теории нечетких множеств при разработке системы нечеткого логического вывода для определения уровня компетентности персонала, который формируется из выпускников морских ВУЗов. Описаны этапы и основной математический аппарат для разработки и применения системы оценки уровня компетентности персонала. Получена модель оценки уровня компетентности персонала для технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания, не требующая дополнительных умений в использовании и интерпретации получаемых результатов.*

**Ключевые слова:** теория нечетких множеств, лингвистическая переменная, правила нечетких продукций, компетентность, судовые механики, двигатели внутреннего сгорания.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Терещенкова Оксана Викторовна** – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий, компьютерных систем и сетей Херсонской государственной морской академии.

*Научные интересы:* СППР, IT технологии в образовании.

**Стрелковская Лилия Александровна** – старший преподаватель кафедры информационных технологий, компьютерных систем и сетей Херсонской государственной морской академии.

*Научные интересы:* теория нечетких множеств, нейронные сети.

**Пуляева Анна Владимировна** – аспирант, ассистент кафедры информационных технологий, компьютерных систем и сетей Херсонской государственной морской академии.

*Научные интересы:* онтологин, IT технологии в образовании.

УДК 378.147; 620.3

**МЕДВЕДОВСКАЯ Оксана<sup>1</sup>, ЧЕПУРНЫХ Геннадий<sup>2</sup>**

*Сумской государственной университет им. А. С. Макаренко<sup>1</sup>  
Институт прикладной физики НАН Украины (Сумы)<sup>2</sup>*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОСТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

*Необходимость улучшения качества подготовки студентов физико-математических специальностей педагогических университетов требует проведения лабораторных работ, 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. Мостовая схема может быть представлена в виде четырех последовательно включенных сопротивлений  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  образующих четырехполюсник, к двум зажимам которого (диагональ питания) подключен источник питания  $U$ , а к двум другим (измерительная диагональ) – индикатор (указатель равновесия). Мосты переменного тока используются для измерения емкости, индуктивности, взаимной индуктивности и тангенса угла потерь линейных компонентов электрических цепей. Схемы мостов переменного тока отличаются большим разнообразием. Кроме простых четырехплечих мостовых схем, применяют более сложные шести- и семиплечие мостовые схемы, а также схемы мостов с индуктивно-связанными элементами. Эти схемы путем последовательных эквивалентных преобразований могут быть приведены к простой четырехплечей схеме, которая является основной. В мостах для измерения емкости и угла потерь конденсаторов реальный конденсатор можно представить последовательной или параллельной схемой замещения. Последовательная схема в большей степени отвечает случаю, если потери в диэлектрике незначительные.*

**Ключевые слова:** информационные технологии, лабораторные работы, измерительная техника, мостовая система переменного тока, высокая чувствительность, индуктивность, емкость.

**Постановка проблемы.** Усиление физико-математической подготовки с техническим уклоном, как учащихся средних школ, так и студентов физико-математических факультетов педагогических университетов требует знания преобразовательной техники. Этой проблеме, в частности, посвящены недавно состоявшиеся международные конференции [1; 2] (см. также Horizon 2020 Projects).

К числу научно-технических вопросов, которые могут быть использованы в учебном процессе педагогических университетов, относятся вопросы создания высокоточных измерений [3, с. 82-83, 108-114; 4, с. 137-140; 5, с. 197, 199-201; 6, с. 9-32; 7, с. 85-118; 8, с. 23-31].

**Анализ последних достижений и публикаций.** К настоящему времени средства измерений, применяемые в электронике и получив общее наименование радиоизмерительных приборов (РИП), достигли достаточного высокого уровня развития. Они в большинстве своем, имеют наивысшие точности (по сравнению со средствами измерений других физических величин – электрических, механических, тепловых и т. д.). Более того, развитие средств измерений физических величин неэлектрического характера (длины, массы, времени, температуры, силы света и др.) за последние годы все более приближается по принципиальному и конструктивному выполнению к РИП: неэлектрическая величина с помощью измерительных датчиков преобразуется в электрическую (иногда в достаточно широком диапазоне частот), и в дальнейшем процесс усиления, преобразования и регистрации (отображения) измерительной информации оказывается на принципах и методах электронных средств измерений. Это направление развития в ближайшем будущем должно получить широкое распространение, поскольку позволяет автоматизировать процесс измерений, унифицировать и стандартизировать различные виды средств измерений, обеспечить метрологическую, конструктивную, информационную, энергическую и эксплуатационную совместимость средств измерений между собой и с объектами измерений. Уровень развития и особенно точностные характеристики РИП часто определяют возможность или невозможность разработки и внедрения в производство новых технологических процессов, создания новых электронных устройств и систем. В ряде случаев даже механическое производство зависит от точности измерений физических величин, позволяющих оценить процессы в радиоэлектронных устройствах. Без применения высокоточных цифровых вольтметров в настоящее время невозможно достигнуть прецизионных точностей обработки деталей на автоматизированных металлорежущих станках и т. д.

**Цель статьи:** способствовать более глубокому пониманию работы приборов, основанных на мостовом методе.

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

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (1)$$

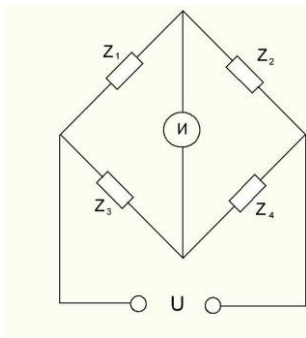


Рис. 1. Схема четырехплечего моста

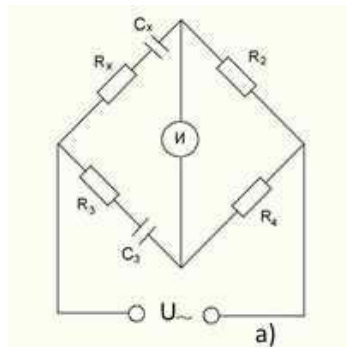
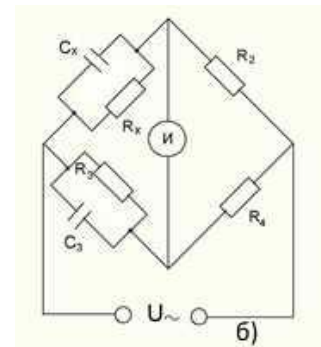


Рис. 2. Схемы мостов для измерения емкости и угла потерь конденсаторов



**Мосты переменного тока.** Для измерения емкости, индуктивности, взаимной индуктивности и тангенса угла потерь линейных компонентов электрических цепей используются мосты переменного тока.

Схемы мостов переменного тока отличаются большим разнообразием.

Кроме простых четырехплечих мостовых схем, применяют более сложные шести- и семиплечие мостовые схемы, а также схемы мостов с индуктивно-связанными элементами. Эти схемы путем последовательных эквивалентных преобразований могут быть приведены к простой четырехплечей схеме, которая является основной.

Схема четырехплечего моста переменного тока приведена на рис. 1.

Сопротивление плеч  $Z_i$  в общем случае представляют собой комплексные сопротивления вида

$$Z_i = R_i + jX_i$$

Подставив значения  $Z_i$  в условие равновесия моста (1) и разделив вещественные и мнимые части, получим условие равновесия в виде двух уравнений:

$$\begin{aligned} R_1 R_3 - X_1 X_3 &= R_2 R_4 - X_2 X_4; \\ X_1 R_3 + X_3 R_1 &= X_2 R_4 + X_4 R_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Наличие двух уравнений, определяющих условие равновесия моста переменного тока, требует введения в схему моста не менее двух регулируемых элементов. Два независимых уравнения равновесия (2) дают возможность определить мостом переменного тока одновременно две независимые величины.

Записав выражение (1) в показательной форме, получим

$$Z_1 e^{j\varphi_1} Z_4 e^{j\varphi_4} = Z_2 e^{j\varphi_2} Z_3 e^{j\varphi_3}. \quad (3)$$

Соотношение (3) также распадается на два скалярных равенства:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 Z_4 &= Z_2 Z_3; \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Отсюда следует, что равновесие наступает при равенстве произведений модулей комплексных сопротивлений противолежащих плеч и равенстве сумм их фазовых сдвигов. Второе уравнение (4) показывает, каким по характеру должны быть сопротивления плеч мостовой схемы, чтобы обеспечить равновесие. Если в двух смежных плечах включены активные сопротивления (например,  $\varphi_1 = 0$  и  $\varphi_2 = 0$ ), то в двух других смежных плечах должны быть обязательно сопротивления одного характера, т. е. или индуктивности, или емкости. Если активные сопротивления включены в противоположные плечи (например,  $\varphi_1 = 0$  и  $\varphi_4 = 0$ ), то в два других противоположных плеча необходимо включить разные по характеру сопротивления: в одно плечо – индуктивность, в другое – емкость.

На точность измерения мостами переменного тока существенное влияние оказывает его чувствительность.

Относительной чувствительностью мостовой схемы переменного тока по напряжению называется комплексная величина, равная отношению выходного напряжения к относительному изменению переменного сопротивления:  $S_U = U_{\text{вых}} / (\Delta Z_1 / Z_1)$ , (5)

где выходное напряжение для схемы на рис. 1 можно определить по формуле

$$U_{\text{вых}} = U(Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3) / (Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4). \quad (6)$$

Если при равновесии моста ( $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$ ) одного из плеч, например  $Z_1$ , получит приращение  $\Delta Z_1$ , то выходное напряжение можно представить выражением

$$U_{\text{вых}} \approx U \Delta Z_1 Z_4 / (Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4). \quad (7)$$

Разделив числитель и знаменатель выражения (7) на  $Z_1 Z_4$  и подставив значение  $U_{\text{вых}}$  в (5), получим:

$$S_U = U \frac{1}{(1 + Z_2/Z_1)(1 + Z_3/Z_4)}. \quad (8)$$

Обозначим  $k = \frac{Z_2}{Z_1} = Z_4/Z_3$ , тогда

$$S_U = U \frac{1}{(1+k)(1+\frac{1}{k})} = U \frac{k}{(1+k)^2} = UA. \quad (9)$$

Определим, в каком случае чувствительность моста переменного тока будет наибольшей.

Из (5) видно, что чувствительность  $S_U$  при заданном значении напряжения  $U$  может быть повышена только за счет увеличения модуля комплексного числа  $A$ .

Представим комплексное число  $k$  в виде  $m + jn$ , получим:

$$A = k / [(1 + m)^2 + n^2] = k / (1 + 2m + m^2 + n^2).$$

С учетом того, что  $m = k \cos \varphi_k$  и  $n = k \sin \varphi_k$ , находим

$$A = k / (1 + 2k \cos \varphi_k + k^2). \quad (10)$$

При  $k = 1$  и  $\varphi_k = \pi$  правая часть выражения (10) обращается в бесконечность, и, следовательно, чувствительность моста переменного тока теоретически равна бесконечности. Эти условия означают, что сопротивления плеч должны быть попарно равны ( $Z_1 = Z_2$  и  $Z_3 = Z_4$ ), а фазовый угол плеч, расположенных по обе стороны индикатора, должен быть равен  $\pm\pi$ , т. е. в плечах моста должны попеременно чередоваться емкость и индуктивность.

Из условий равновесия моста переменного тока следует, что для балансировки необходима регулировка не менее двух параметров мостовой схемы. Процесс уравнивания заключается в попеременном регулировании этих параметров. При этом равновесие моста достигается большим или меньшим числом переходов от регулирования одного параметра к регулированию другого.

Свойство моста, определяющее число необходимых для уравнивания переменных регулировочных операций, называется их сходимостью.

**Мосты для измерения емкости и угла потерь конденсаторов.** Реальный конденсатор можно представить последовательной или параллельной схемой замещения. Последовательная схема в большей степени отвечает случаю, если потери в диэлектрике незначительные; при больших потерях в диэлектрике применяют параллельную схему замещения.

В связи с этим для измерения емкости и угла потерь конденсаторов с малыми потерями используют мостовую схему, изображенную на рис. 2,а, а с большими – на рис. 2,б. На схеме рис. 2,а измеряемый конденсатор представлен в виде последовательного соединения емкости  $C_x$  и сопротивления потерь  $R_x$ .

Условие равновесия для схемы на рис. 2 имеет вид:

$$(R_x - j/\omega C_x)R_4 = (R_3 - j\omega C_3)R_2$$

Разделив в полученном уравнении вещественную и мнимую части, получим:

$$R_x = R_3 R_2 / R_4; C_x = C_3 R_4 / R_2 \tag{11}$$

Тангенс угла потерь для конденсаторов с последовательной схемой замещения

$$tg \delta_x = \omega R_x C_x = \omega R_3 C_3$$

Где  $\omega$  – угловая частота напряжения питания моста.

Для схемы на рис. 2,б с параллельным соединением  $C_x$  и  $R_x$  условие равновесия запишется в виде

$$\left(\frac{1}{R_x + 1/j\omega C_x}\right) R_4 = \left(\frac{1}{R_3 + 1/j\omega C_3}\right) R_2$$

Откуда

$$R_x = R_3 R_4 / R_2; C_x = C_3 R_2 / R_4 \tag{12}$$

Тангенс угла потерь при параллельной схеме замещения определяется выражением

$$tg \delta_x = 1/\omega C_x R_x = 1/\omega R_3 C_3$$

Уравнивание этих схем производят поочередным изменением сопротивления  $R_3$  и емкости  $C_3$ . Для расширения пределов измерения изменяют отношение  $R_2/R_4$  (или  $R_4/R_2$ ).

**Мосты для измерения индуктивности и взаимной индуктивности катушек.** В мостовых схемах для измерения индуктивности

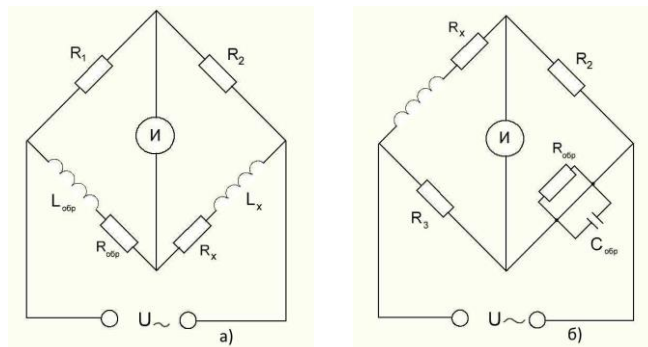


Рис. 3. Схемы мостов для измерения индуктивности

в качестве плеча сравнения может использоваться образцовая катушка индуктивности (рис. 3,а) или образцовый конденсатор (рис. 3,б). В схеме на рис. 3,а, кроме образцовой катушки с индуктивностью  $L_{обр}$ , используется дополнительный переменный резистор  $R_{обр}$ , регулировкой которого достигается баланс фаз.

Уравнение равновесия для схемы на рис. 3,а имеет вид:

$$R_1 (R_x + j\omega L_x) = R_2 (R_{обр} + j\omega L_{обр}) \tag{13}$$

Приравнявая раздельно действительные и мнимые части уравнения (13), находим:

$$L_x = R_2 L_{\text{обр}} / R_1; \quad R_x = R_2 R_{\text{обр}} / R_1 \quad (14)$$

В связи с трудностями изготовления образцовых катушек с малыми потерями в мостах переменного тока для измерения индуктивностей в качестве образцовой меры чаще применяется не катушка индуктивности, а конденсатор (рис. 3,б).

Для этой схемы  $(R_x + j\omega L_x) / (1/R_{\text{обр}} + j\omega C_{\text{обр}}) = R_2 R_3$ ,

Или 
$$R_x + j\omega L_x = (1/R_{\text{обр}} + j\omega C_{\text{обр}}) R_2 R_3 \quad (15)$$

Разделив в (15) вещественную и мнимую части, получим следующие выражения для измеряемых параметров катушки индуктивности:

$$L_x = C_{\text{обр}} R_2 R_3; \quad R_x = R_2 R_3 / R_{\text{обр}} \quad (16)$$

Добротность катушки определяется выражением

$$Q_x = \omega L_x / R_x = \omega R_{\text{обр}} C_{\text{обр}}$$

Уравновешивание схемы достигается плавной регулировкой параметров  $R_{\text{обр}}$  и  $C_{\text{обр}}$ . Изменяя произведение  $R_2 R_3$ , можно расширять пределы измерения моста.

Параллельное соединение элементов  $R_{\text{обр}}$  и  $C_{\text{обр}}$  в мостовой схеме используют для измерения параметров катушек с низкой добротностью ( $Q < 30$ ).

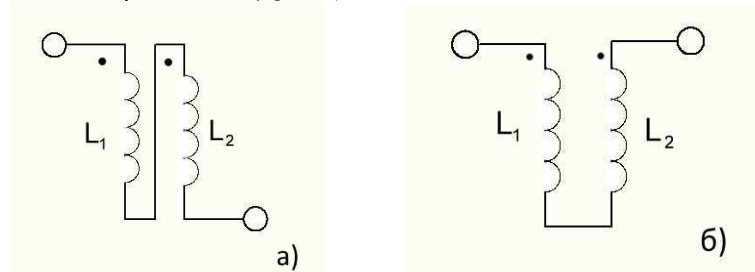


Рис. 4. Схемы соединения катушек при измерении взаимной индуктивности методом двукратного измерения

Для катушек с высокой добротностью лучшую сходимость имеет схема с последовательным соединением  $R_{\text{обр}}$  и  $C_{\text{обр}}$ .

Мостовые схемы, приведенные на рис. 3, могут быть использованы для измерения взаимной индуктивности между двумя катушками. Для этого они соединяются последовательно и взаимная индуктивность  $M$  определяется методом двукратного измерения.

В первом случае катушки соединяются согласно (рис. 4,а) и измеряется их общая индуктивность:

$$L' = L_1 + L_2 - 2M \quad (17)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – индуктивности катушек.

Во втором случае катушки соединяются встречно (рис. 4,б) и вновь измеряется общая индуктивность:

$$L'' = L_1 + L_2 + 2M \quad (18)$$

Вычитая (18) из (17), получаем искомую величину:  $M = (L' - L'')/4$

**Выводы.** При выполнении предлагаемой лабораторной работы студенты могут 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.

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

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. 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.
2. XXIII міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика – 2016), м. Суми, 22 – 23 вересня 2016 року.
3. Баранов В. Я. Промышленные приборы и средства автоматизации / [В. Я. Баранов, Т. Х. Безновская, В. А. Бек и др.] – М.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
4. Белов К. П. Магнитострикционные явления и их техническое применение / Белов К. П. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
5. Кузнецов В. А. Измерения в электронике / В. А. Кузнецов, В. А. Долгов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
6. Миловзоров В. П. Электромагнитные устройства автоматики / Миловзоров В. М. – М.: Высшая школа, 1983. – 408 с.
7. 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.
8. Чепурных Г. К. Области экстремальных характеристик магнитоупорядоченных кристаллов / Чепурных Г. К. – К.: Наукова думка, 2010. – 175 с.

#### OKSANA MEDVEDOVSKAIA, GENNADIY CHEPURNYKH

*The Sumy A. S. Makarenko State Pedagogical University  
Institute of Applied Physics NAS of Ukraine*

#### THE USE OF AC BRIDGES IN EDUCATION PROCESS OF PEDAGOGICAL UNIVERSITIES

To improve students' quality of training physics and mathematical specialties of pedagogical universities is proposed to conduct a laboratory work, which is related with getting skills of the work on using bridge circuit. Paying attention, that the bridge circuits have a high degree of accuracy, perceptibility, a wide range of measured values, the ability of creating as specialized instruments, as universal devices.

Bridge circuit consists of 4 resistors  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  which form a quadripole and can be turned on coherently. 2 clamps of quadripole (diagonal power) are connected to the source of power  $U$ , 2 other clamps of quadripole (diagonal of measure) have a contact with an indicator (balance pointer). The usage of the bridge AC circuits deals with measuring of capacity, inductance, mutual inductance and the tangent angle of the loss of the linear components in the electrical circuits. The circuits of the bridge AC circuits have a big variety. Except simple quadripole circuits, it can be used more complicated six or sevenpole bridge circuits and also the circuits with inductive-coupled elements. Such circuits can be changed into simple quadripole, the basic ones, by coherent and equivalent transformations. In bridge circuits for measuring capacity and in the loss angle of capacitors, the real capacitor can be presented with sequential or parallel substitution circuits. Sequential circuit generally fits this case if the losses in dielectric are negligible.

**Keywords:** *information technology, laboratory, measuring technology, bridge AC circuit, high sensitivity, inductance, capacity.*

#### ОКСАНА МЕДВЕДОВСКАЯ, ГЕННАДИЙ ЧЕПУРНЫХ

*Сумской государственный университет им. А. С. Макаренко  
Институт прикладной физики НАН Украины*

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОСТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

#### В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

*В статье 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. Мостовая схема может быть представлена в виде четырех последовательно включенных сопротивлений образующих четырехполюсник, к двум зажимам которого (диагональ питания) подключен источник питания  $U$ , а к двум другим (измерительная диагональ) – индикатор (указатель равновесия). Также применяют шести- и семиплечие мостовые схемы, а также схемы мостов с индуктивно-связанными элементами.*

**Ключевые слова:** *информационные технологии, лабораторные работы, измерительная техника, мостовая система переменного тока, высокая чувствительность, индуктивность, емкость.*

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

**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.