

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ

В. ИВАНОВ, г. Ростов-на-Дону

Простые измерители емкости и индуктивности, подобные описанным в [1, 2], имеют невысокую точность измерений. Чтобы понять ее причины, рассмотрим принцип измерений, который поясняет рис. 1.

При измерении емкости (рис. 1,а) конденсатор C_x от источника напряжения U получает заряд $q = U \cdot C_x$, и после переключения посредством переключателя S разрядный ток протекает через измерительный прибор. Измерение индуктивности (рис. 1,б) также основано на регистрации протекающего через измерительную цепь тока разрядки. Если принять переключение мгновенным, то заряд определяется здесь отношением магнитного потока в индуктивности, равного $I \cdot L_x$, к суммарному сопротивлению цепи на постоянном токе $R_n + R_L$, т. е. $q = I \cdot L_x / (R_n + R_L)$. Практически коммутация осуществляется периодически с частотой f с помощью электронных коммутаторов, а измерительный прибор регистрирует постоянную составляющую тока $I_n = q \cdot f$.

Первая причина ошибок измерений в описанных устройствах связана с недостаточной чувствительностью микроамперметра, измеряющего ток I_n . Из-за этого частоту переключений f приходится выбирать высокой, и конденсатор C_x после его отключения от измерительной цепи еще сохраняет заметную часть начального заряда q , что несколько уменьшает реально измеряемый ток I_n . Это уменьшение зависит от емкости конденсатора. Поэтому шкала измерительного прибора должна быть нелинейной, а использование собственной линейной шкалы микроамперметра может привести к ошибке в несколько процентов.

В случае измерения индуктивности, кроме ошибки из-за высокой частоты переключений и связанной с этим нелинейности, дополнительная погрешность возникает для катушек с заметным сопротивлением обмотки R_L . Если, например, калибровать прибор по эталонной индуктивности с собственным сопротивлением R_L , много меньшим R_n , а затем измерить индуктивность катушки с сопротив-

лением R_L , соизмеримым с R_n , то показания будут занижены в $(R_n + R_L) / R_n$ раз. Учитывать активное сопротивление иногда необходимо и при калибровке по эталонным дросселям, так как, например, дроссель ДМ-0,1 с индуктивностью 500 мкГн имеет $R_L = 10$ Ом.

Для устранения отмеченных источников погрешности измерительная часть устройства из [2] была изменена (рис. 2). Благодаря применению ОУ DA1 чувствительность измерителя увеличена по току в 10 раз, во столько же раз снижена частота коммутации на соответствующих пределах. В результате нелинейность шкалы стала менее 1%.

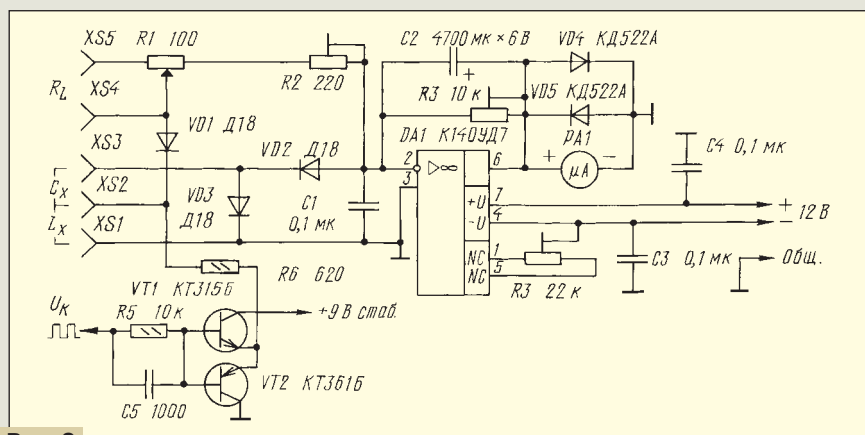


Рис. 2

Верхние пределы измерения емкости и индуктивности при частоте коммутации 1 МГц с микроамперметром М24 на 100 мкА составляют соответственно 10 пФ и 1 мкГн. Уменьшение емкости монтажа достигнуто за счет введения дополнительного третьего зажима для измеряемых катушек и конденсаторов и исключения переключателя $L-C$. Кроме того, коммутирующие диоды $VD1-VD3$ припаяны одним из выводов непосредственно к зажимам. В результате при свободных зажимах емкость монтажа, о которой можно судить по отклонению стрелки от нуля, составляет менее 1 пФ.

Частота коммутации на пределах 10 мкФ и 1 Гн — очень низкая и составляет 1 Гц. В этом случае инерция микроамперметра недостаточна для сглаживания колебаний стрелки, и поэтому емкость конденсатора $C2$ выбрана равной 4700 мкФ. При измерении на этой частоте время установления стрелки увеличивается до десятков секунд. На остальных пределах с более высокой частотой переключения достаточно емкости около 470 мкФ, и тогда время измерений составляет секунды. На переключателе пределов измерений целесообразно добавить контактную группу, включающую полную емкость $C2$ только на этом последнем пределе.

Для устранения ошибки при измерении индуктивности из-за омического сопротивления ее обмотки в измерительную цепь добавлен переменный резистор $R1$. При малом (доли ома) сопротивлении обмотки проверяемой катушки ин-

дуктивности его движок находится в левом по схеме положении, и все его сопротивление входит в $R_n = R1 + R2$. При значительном сопротивлении обмотки величину введенной (правой) части $R1$ следует уменьшить так, чтобы суммарная величина $R_n = R_L + R1 + R2$ сохранилась неизменной. Если имеется прецизионный резистор, он может быть снабжен проградуированной шкалой. В конструкции использован обычный резистор СП2-36, и поэтому добавлены гнезда $XS4, XS5$, чтобы измерять выводимую часть $R1$ омметром, используемым для измерения сопротивления обмотки.

Для переключения проверяемых элементов к источнику питания применен комплементарный эмиттерный повторитель на транзисторах $VT1, VT2$, на базы которых через параллельно соединенные элементы $R5, C5$ подаются импульсы напряжения, имеющие форму меандра.

Необходимая частота переключения задается генератором на кварцевом резонаторе и последовательностью десятичных счетчиков-делителей, выполненных на микросхемах серии К176 или К561. Эта часть схемы ничем не отличалась от приведенной в [2] и поэтому здесь опущена.

Чтобы колебания напряжения питания не вносили дополнительную погрешность в измерения, напряжение +9 В на эту часть схемы и на коммутатор подано от стабилизатора. Питание ОУ DA1 допускается от источника питания с нестабилизированными напряжениями ± 12 В; для устранения помех со стороны формирователя импульсов в цепи питания добавлены конденсаторы $C3, C4$, помещенные вблизи этой микросхемы.

Налаживание измерителя сводится к установке нуля измерительного прибора с помощью резистора $R4$ на одном из наибольших пределов ("1 мкФ" или "0,1 мкФ"), калибровке по эталонному конденсатору с подстройкой резистором $R3$, а затем по эталонной индуктивности с подстройкой $R2$ (при этом движком резистора $R1$ устанавливаются его сопротивление между $XS4$ и $XS5$, равное сопротивлению обмотки катушки). Подстроечные резисторы $R5, C5$ желательно иметь многооборотными (СП5-2, СП5-22 и т. п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов А. Простой LC-метр. — Радио, 1982, № 3, с. 47, 48.
2. Терентьев Е. Измеритель емкости и индуктивности. — Радио, 1995, № 4, с. 37.

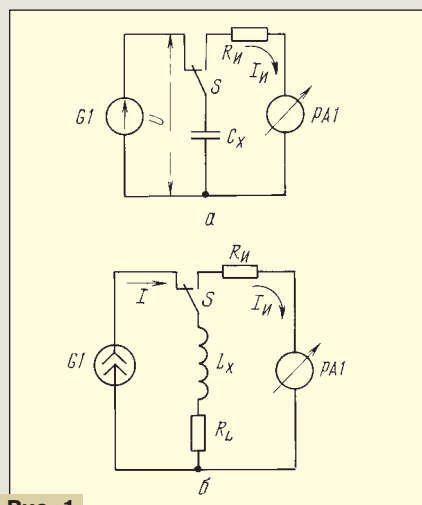


Рис. 1