

В практике работы сервисных центров часто возникает необходимость в измерении резистивности (сопротивления) R , емкости C и индуктивности L цепей с сосредоточенными постоянными. Рассмотрим измерители иммитанса E7-20/E7-25, выпускаемые Минским МНИПИ

в практике работы сервисных центров часто возникает необходимость в измерении резистивности (сопротивления) R , емкости C и индуктивности L цепей с сосредоточенными постоянными. Это связано с временным старением радиокомпонентов, отсутствием или повреждением их маркировки, необходимостью отбора нужных компонентов и необходимостью знать параметры нестандартных компонентов. При производстве компонентов нужно измерять их параметры множество раз и сортировать по отклонению измеряемого параметра. Для этого применяются самые различные приборы - от мультиметров до настольных измерителей R , L и C [1, 2].

В СССР выпускались измерители иммитанса E7-14 и E7-15. К настоящему времени они сильно устарели и их выпуск прекращен. Ниже описан современный цифровой измеритель иммитанса E7-20 [3], разработанный в Минском научноисследовательском приборостроительном институте (МНИПИ) и признанный одной из лучших разработок двойного назначения Белорусского ВПК. Прибор представлен на российском рынке и по совокупности параметров является одним из лучших среди настольных измерителей параметров R , L и C . На его основе создан портативный вариант: прибор E7-25.

Вспомним некоторые теоретические сведения об измерении параметров реальных резисторов, индуктивностей и емкостей. Неидеальность емкости и индуктивности учитывается их эквивалентными схемами. Обычно различают две эквивалентные схемы цепей: LR и CR (рис. 1) - последовательную и параллельную, будем обозначать их индексами s - от слова *serial* и p - от слова *parallel*).

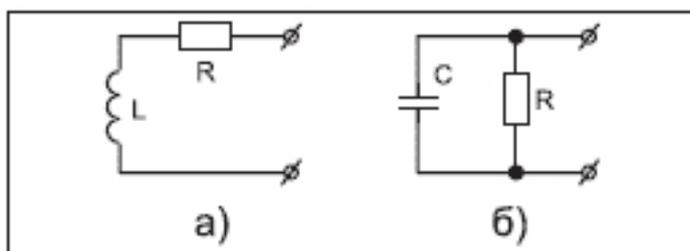


Рис. 1. Эквивалентные схемы LR1 и CR1 цепей

Омическое сопротивление выводов и обкладок конденсаторов создают паразитное последовательное сопротивление, а сопротивление изоляции диэлектрика создает параллельное сопротивление.

Аналогично сопротивление обмотки катушки индуктивности порождает последовательное сопротивление, а потери в сердечнике порождают параллельное сопротивление. Эти параметры могут преобразовываться, так что достаточно вести измерения по двум указанным схемам (сокращенно они обозначены буквами s и p).

Цепи с реальными L и C (с потерями) характеризуются полным сопротивлением, называемым также импедансом. Это понятие имеет смысл только на переменном токе и характеризует комплексное отношение напряжения на измеряемой цепи к току в ней - $Z = U/I$. Полное сопротивление как комплексное число представляется в виде $Z = R_s + jX$, где R_s - активная составляющая Z, jX - реактивная составляющая Z, j - мнимая единица (корень квадратный из -1). Часто вводится понятие модуля комплексного сопротивления:

$$|Z| = \sqrt{R_s^2 + X^2}, \text{ причем}$$

$$R_s = |Z| \cos(\theta) \text{ и } X = |Z| \sin(\theta),$$

где θ - сдвиг фазы между переменным напряжением и током измеряемой цепи. Реактивная составляющая Z для индуктивности и емкости определяется хорошо известными выражениями:

$$X = j \cdot 2\pi f L \text{ — для индуктивности}$$

$$\text{и } X = 1 / j \cdot 2\pi f C \text{ — для емкости.}$$

Обратная Z величина - комплексная проводимость $G = 1/Z$ называется адмитансом цепи. Наконец, существует термин иммитанс, объединяющий понятие импеданса и адмитанса. Измерители иммитанса обычно являются самыми "продвинутыми" приборами для измерения параметров R, C, L, Z, G и др.

Поскольку все составляющие Z зависят от частоты, то первостепенным параметром измерений является тестовая частота f . В принципе желательно испытывать конденсаторы и катушки индуктивности на их рабочей частоте, например на частоте резонанса колебательных LCR-контуров. Однако на практике часто приходится ограничиваться несколькими частотами, а то и одной частотой.

Важное значение играют еще два параметра цепей на переменном токе - тангенс угла потерь δ - D и обратная ему величина - добротность. Для последовательной схемы измерений они определяются выражениями:

$$Q_L = \frac{1}{\operatorname{tg}(\delta)} = \frac{|X_s|}{R_s} = \frac{2\pi fL}{R_s}$$
$$\text{и } Q_C = \frac{1}{\operatorname{tg}(\delta)} = \frac{|X_s|}{R_s} = \frac{1}{2\pi fC_s R_s}.$$

Аналогично для параллельной схемы измерений имеем:

$$Q_L = \frac{1}{\operatorname{tg}(\delta)} = \frac{|X_p|}{R_p} = \frac{R_p}{2\pi fL}$$
$$\text{и } Q_C = \frac{1}{\operatorname{tg}(\delta)} = \frac{|X_p|}{R_p} = 2\pi fC_p R_p.$$

Параметр D обычно используется для оценки неидеальности конденсаторов, а Q - катушек индуктивности. Однако, в принципе, оба параметра применимы как к конденсаторам, так и индуктивностям.

Современные настольные лабораторные RLC-измерители (например, LCR-816, LCR-817, LCR-827, LCR-819 и LCR-829 [1]) обеспечивают высокую точность (погрешность до 0,1% и менее) измерений в диапазоне частот до 100 кГц.

К сожалению, большинство приборов имеют ограниченный снизу диапазон измерения емкости и особенно - индуктивности. К тому же они измеряют на довольно низких и всего нескольких фиксированных частотах. Между тем, при проектировании современной аппаратуры (особенно в области СВЧ и импульсной техники) часто возникает необходимость измерения малых емкостей (доли-единицы пФ) и малых индуктивностей (доли-единицы нГн) с достаточно малой (менее 1%) погрешностью. Однако такая возможность у подавляющего большинства RLC-измерителей отсутствует.

Измеритель иммитанса E7-20 имеет уникально широкие диапазоны измеряемых параметров и высокую точность. Термины "импеданс" и "иммитанс" в названиях приборов для измерения параметров устройств с сосредоточенными постоянными R, L и C часто путаются. А между тем между измерителями импеданса и иммитанса есть и принципиальная разница - измерители иммитанса позволяют прямо измерять проводимость цепи, а измерители импеданса - нет.

Простейшим методом измерения импеданса цепей является метод вольтметра-амперметра. Однако он предполагает необходимость обеспечения очень малой погрешности задания напряжения на цепи и малую погрешность измерения тока. От этого недостатка избавлены мостовые методы измерения [2, 4], основанные на автоматической балансировке моста. Но они имеют другой существенный недостаток - работа всего на одной или реже - на нескольких частотах. В основу работы прибора E7-20 положен оригинальный метод вольтметра-амперметра с применением для измерения иммитанса измерителя отношений - логометра [3]. Этот метод не требует стабильного источника напряжения и мало чувствителен к его частоте. Структурная схема прибора приведена на рис. 2.

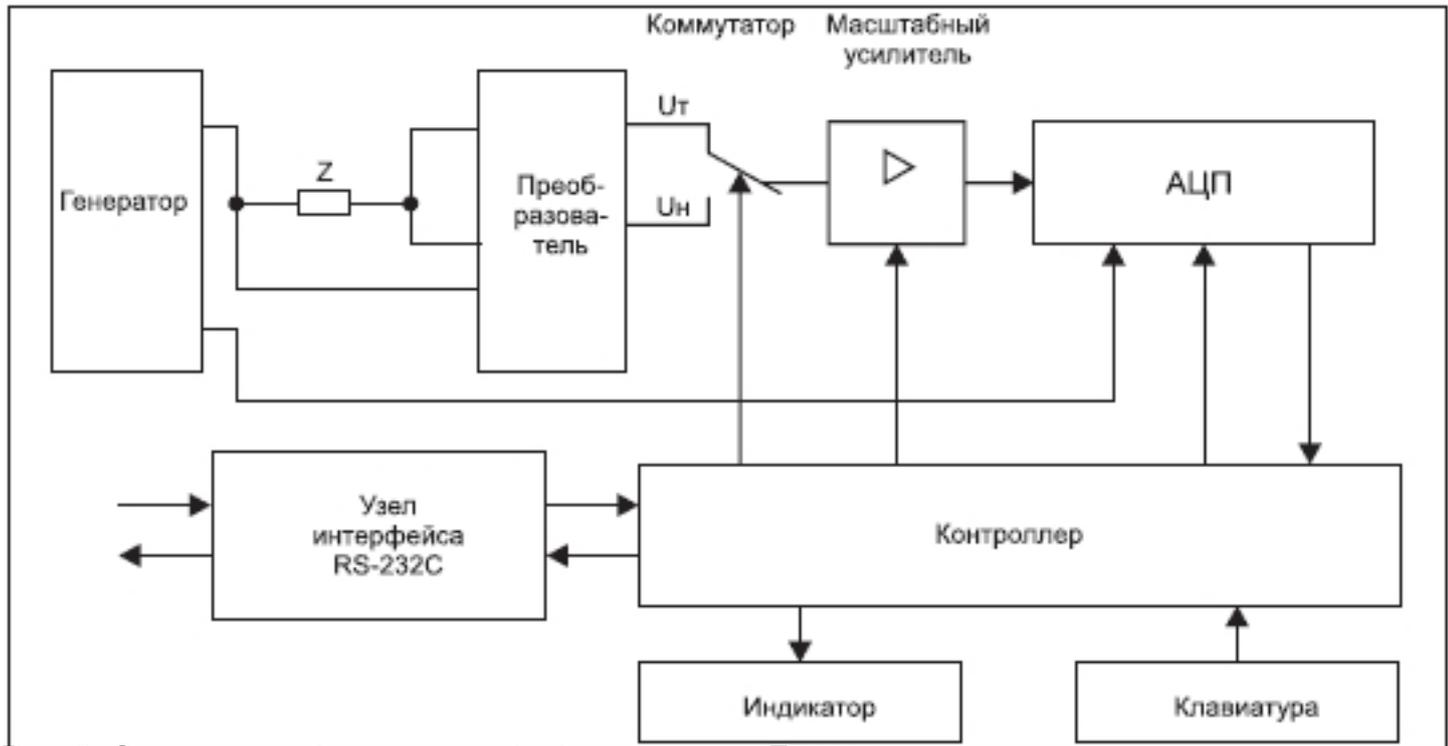


Рис. 2. Структурная схема цифрового измерителя иммитанса E7-20/25

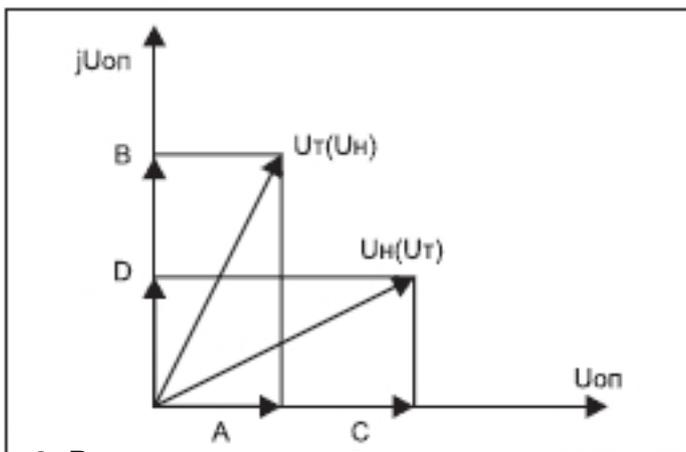


Рис. 3. Векторная диаграмма для определения коэффициента трансформации

$$Y = G + jB' = U_T / U_H = U_X / U_0 = (A + jB) / (C + jD),$$

где B' - реактивное сопротивление, G - активное сопротивление, U_T - напряжение на первичной обмотке, U_H - напряжение на вторичной обмотке, U_X - напряжение на нагрузке, U_0 - напряжение на холостом ходу.

$$G = (AC + BD) / (C^2 + D^2)$$

$$B' = (BC - AD) / (C^2 + D^2).$$

Аналогично

$$Z = R + jX = (A + jB) / (C + jD),$$

где R - активное сопротивление, X - реактивное сопротивление,

$$R = (AC + BD) / (C^2 + D^2),$$

и

$$X = (BC - AD) / (C^2 + D^2).$$

Рис. 4. Алгоритм измерения иммитанса