

## МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ С ЛИНЕЙНОЙ ШКАЛОЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В.

### Постановка проблемы

Постоянное развитие средств измерений и контроля различных параметров изделий и процессов является неотъемлемой частью научно-технического прогресса. В настоящее время существенное влияние на методы построения измерительных систем оказывает использование цифровой техники для обработки результатов измерений и управления различными процессами [1].

Одной из основных задач при разработке измерительных систем является повышение точности, быстродействия и увеличение диапазона измеряемых величин.

### Анализ последних исследований

В настоящее время существует много методов измерения емкости [2-5]. Однако они имеют существенные недостатки, заключающиеся как в неудовлетворительной точности и узком диапазоне измерений, так и в отсутствии, во многих случаях, линейной шкалы измерения емкости.

Существующие измерители емкости [6-8] имеют недостатки: невозможность проведения измерений на одной фиксированной частоте и не позволяют измерять емкости, значения которых превышают емкость управляющего варикапа.

В [1,2,7-10] предложен способ решения проблемы увеличения диапазона измерений – проведение измерений на высоких частотах и обеспечение линейной шкалы средства измерения, заключающийся в использовании резонансного метода с применением управляющего варикапа. Используя параметры управляющего варикапа, возможно с помощью несложных преобразований определить значение измеряемой емкости по емкости варикапа.

### Цель статьи

Целью работы является устранение недостатков метода измерений, линейаризация шкалы измерителя емкости, разработка цифрового измерителя, структурные особенности которого позволят увеличить диапазон измеряемых емкостей.

### Основной материал

Предлагается цифровой резонансный измеритель емкости с линейной шкалой измерения, в котором используются управляющие варикапы, применение которых в радиоэлектронике обеспечило разработку и производство новых систем бортовой и наземной связи, радиотехнической, радиоизмерительной, автоматической и телеаппаратуры со свойствами принципиально недостижимыми без варикапов:

- с практически неограниченным количеством одновременно перестраиваемых цепей;
- с возможностью автоматического выбора оптимальных каналов связи с дистанционным и программным управлением;
- с помехоустойчивой и скрытой радиосвязью на изменяющейся частоте с увеличенной избирательностью при высоких нагрузках радиотракта;
- с повышенной устойчивостью к воздействию внешних факторов (механических, климатических и др.).

Функциональная схема измерителя емкости приведена на рис.1.

В его состав входят [1,11]: контур измерения 1; высокочастотный генератор 2; источник напряжения сдвига 3; усилитель переменного напряжения 4; детектор 5; блок выделения экстремума 6; генератор импульсов 7; счетчик импульсов 8; программированное запоминающее устройство 9; цифро-аналоговый преобразователь 10; регистр выходной 11; схемы задержки 12, 13, 14.

В состав контура измерения входят: управляющие варикапы 15, 16; индуктивность 17; разделяющие резисторы 18, 19, 20, 21; разделяющие конденсаторы 22, 23, 24; контакты для исследуемого конденсатора (варикапа) 25; перемычка 26. Исследуемый конденсатор (варикап) обозначен 27.

Для расширения диапазона измерительных емкостей в схеме используются два управляющих варикапа, для дальнейшего увеличения измерительных емкостей количество управляющих варикапов можно увеличивать.

Значения емкостей конденсаторов 22, 23, 24 должны быть значительно больше емкостей, которые измеряются и суммы емкостей управляющих варикапов 15 и 16, то есть должны выполняться условия

$$C_p \gg C_{\epsilon 1} + C_{\epsilon 2}, \quad (1)$$

где  $C_p$  – значения емкостей разделяющих конденсаторов;  $C_{\epsilon 1}$  и  $C_{\epsilon 2}$  - максимальные значения емкостей управляющих варикапов 15 и 16.

Значения сопротивлений разделяющих резисторов 18, 19, 20, 21 должны быть значительно больше емкостных сопротивлений управляющих варикапов и емкости, которая измеряется. То есть необходимо выполнять условия

$$R_p \gg \frac{1}{2\pi f C_x}, \quad R_p \gg \frac{1}{2\pi f C_{\epsilon}}, \quad (2)$$

где  $R_p$  – значения сопротивлений разделяющих резисторов;

$C_x$  – максимальное значение емкости, которая измеряется;

$C_{\epsilon}$  – максимальные значения емкостей управляющих варикапов;

$f$  – частота высокочастотного генератора 2.

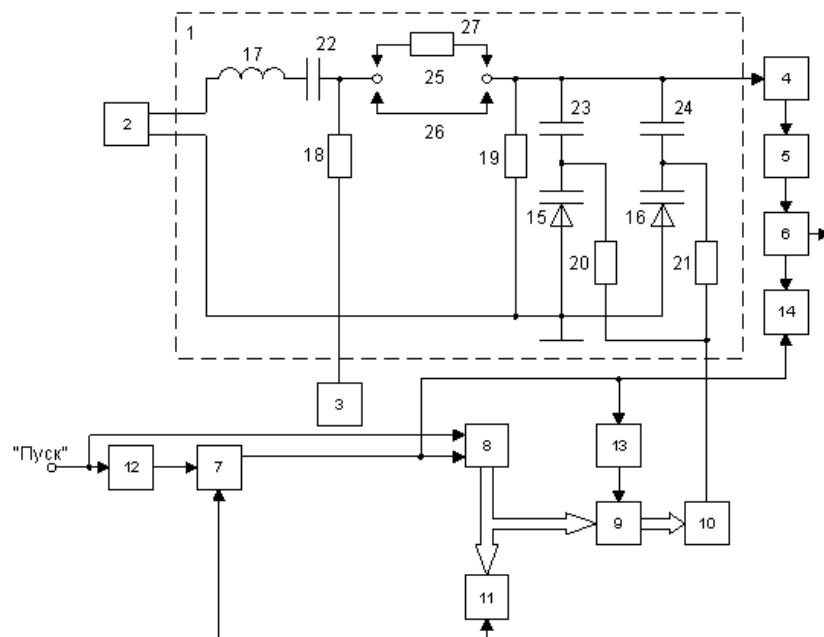


Рис. 1 Функциональная схема резонансного измерителя емкости

При выполнении условий (1) и (2) разделяющие конденсаторы и резисторы не будут влиять на резонансные характеристики контура измерения.

Начальное положение схемы характеризуется таким состоянием составных элементов:

В ПЗУ 9 заносятся коды, которые во время работы измерителя преобразуются ЦАП10 в напряжения, которые подаются через разделяющие резисторы 20 и 21 на управляющие варикапы 15,16. При этом адресный код ПЗУ 9, что поступает из счетчика импульсов 8, отвечает значению количества ступенек, на которое изменяется суммарная емкость управляющих варикапов 15 и 16. Для этого необходимо заведомо измерять с большой точностью вольт-фарадные характеристики управляющих варикапов 15 и 16; определить рабочие участки вольт-фарадных характеристик; выбрать значения и количество ступенек  $\Delta C_i$ , на которое будет изменяться суммарная емкость варикапов при подаче на них напряжения сдвига. Соответствующие напряжениям коды заносятся в ПЗУ 9.

Контур измерения 1 настроен в резонанс на частоте высокочастотного генератора 2, при этом на контактах для исследуемого конденсатора стоит перемычка 26; в счетчике импульсов 8, в младшем разряде, записана единица; на выходе ПЗУ 9 будет код, который преобразуется ЦАП 10 в напряжение, которое поступает на управляющие варикапы 15, 16, значения суммы емкостей варикапов отвечает начальному значению емкости  $C_1$  (3); на выходе генератора импульсов 7 импульсы отсутствуют.

Резонансная частота контура измерения

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} \quad (3)$$

где  $L$  – индуктивность контура 17;

$C_1$  – минимальное значение суммы емкостей управляющих варикапов 15 и 16.

На контакты 25, вместо перемычки, ставят исследуемый конденсатор (варикап)  $C_x$ .

Контур измерения 1 выходит из режима резонанса и напряжение на его выходе уменьшается. На вход счетчика импульсов 8 подается импульс “пуск”, что подтверждает начальное положение счетчика. После задержки схемой 12 импульс “пуск” поступает на вход генератора импульсов 7 и запускает его. Выходные импульсы из генератора 7 поступают на вход счетчика импульсов 8, который начинает их считать. Каждый задержанный импульс, с помощью схемы задержки 13, поступает на вход ПЗУ 9 и считывает из него код по адресу, который поступает из счетчика 8. Этот код поступает на вход ЦАП10, который преобразует код в пропорциональное значение напряжения, которое поступает на управляющие варикапы 15 и 16, увеличивая их емкость.

При приближении резонансной частоты контура измерения 1 к частоте высокочастотного генератора 2, на выходе контура будет увеличиваться напряжение, которое после усилителя 4 и детектора 5, поступает на вход блока выделения экстремума 6. Каждый импульс с выхода генератора 7, через схему задержки 14, поступает на управляющий вход блока выделения экстремума, опрашивая наличие экстремума. Когда резонансная частота контура будет равняться частоте генератора 2, на выходе контура будет максимальное напряжение. В этот момент с выхода блока выделения экстремума 6 поступит импульс напряжения на входы генератора импульсов 7 и регистра выходного 11. При этом генератор 7 перестает вырабатывать импульсы, а в регистр выходной 11 заносится код адреса из счетчика 8. Значения этого кода  $N_x$  отвечает значению измерительной емкости  $C_x$ .

Резонансная частота контура при этом будет равняться  $f_0$ .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot \frac{C_x \cdot C_2}{C_x + C_2}}}, \quad (4)$$

где:  $C_2$  – суммарная емкость варикапов 15,16 при этом резонансе,

$$C_2 = C_1 + \sum_{i=1}^N \Delta C_{2i}; \quad (5)$$

$\Delta C_{2i}$  - значения ступенек, на которые изменяется емкость  $C_2$ .

Из уравнений (3) и (4) получим

$$C_x = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_2 - C_1}; \quad (6)$$

где  $C_1$  – постоянная величина.

Из (6) имеем

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_x}{C_x - C_1}. \quad (7)$$

Задавшись одинаковыми ступеньками  $\Delta C$ , на которые должна изменяться емкость  $C_x$  при изменении  $C_2$  из уравнения (7) находим значение  $C_{2i}$  и по вольт-фарадным характеристикам управляющих варикапов 15 и 16 находим значение напряжений смещения  $U_i$ , которые отвечают значениям  $C_{2i}$ . Коды напряжений  $U_i$  заносятся в ПЗУ9 при изготовлении измерителя. Таким образом, обеспечивается **линейность** шкалы измерителя.

Действительно, из уравнения (7) имеем

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot N_x \cdot \Delta C}{N_x \cdot \Delta C - C_1}, \quad (8)$$

или

$$N_x = \frac{C_x}{\Delta C} = \frac{C_1 \cdot C_2}{(C_2 - C_1) \cdot \Delta C} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_2 - C_1} \cdot K, \quad (9)$$

где  $K = \frac{1}{\Delta C}$  - Const;

$N_x$  - числовое значение измеряемой емкости, то есть код, который находится в счетчике импульсов 8.

### Выводы

Разработанный измеритель емкостных параметров варикапов с линейной шкалой измерения отличается повышенной точностью и более широким диапазоном измерения, позволяющим измерять емкость варикапов на высоких частотах.

In the given article the opportunity and aspects of construction of measuring devices of electrical capacity are considered, the principle of construction of digital measuring devices with a linear scale of measurements and the algorithm of management are proposed and the circuit of resonant measuring device of electrical capacity is given.

1.Р.В. Бараненко Лінеаризація шкали і збільшення діапазону вимірювання ємностей резонансних вимірювачів // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2004. – №2 (14). – С.155-158.

2.Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин Н.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов/ Под ред. В.И. Винокурова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 351с.: ил.

3.Орнатский П.П., Скрипник Ю.А., Скрипник В.И. Измерительные приборы периодического сравнения. – М.: Энергия, 1975. – 231с.

4.Авдеев Е.Я., Антонюк Б.М., Душин Е.М., Основы метрологии и электрические измерения: 6-е изд., пераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480с.

5.Скрипник Ю.А. Повышение точности измерительных устройств. – К.: 1990. – 264с.

6. Цифровые приборы и системы для измерения параметров конденсаторов. Под редакцией Эпштейна С.Л. – М.: “Советское радио”, 1978. – С.21, рис.2.1а.

7. В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко Принцип здійснення гнучкого програмного керування елементами вимірювальних систем за аналізом їх експоненціальних параметрів // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. – №2 (18). – С.297-301.

8. Деклараційний патент України на винахід № 48854 А, «Резонансний вимірювач ємності». Автори: В.Є. Ходаков, В.С. Тверезовський, Є.А. Дроздова. 6 G01R29/24. Опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.

9. В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко Принцип побудови елементів вимірювальних систем, представлених цифровими програмно керованими вимірювачами // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2003. – №1 (11). – С.100-104.

10. Деклараційний патент України на винахід № 50652 А, «Резонансний вимірювач індуктивності». Автори: В.Є. Ходаков, В.С. Тверезовський, Є.А. Дроздова, Р.В. Бараненко. 7 G01R27/26. Опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.

11. Деклараційний патент України на винахід № 63238 А, «Резонансний вимірювач ємності». Автори: В.Є. Ходаков, В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко. 7 G01R27/26. Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.