



УДК 621.317.08

К ВОПРОСУ О ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

*С.И. Заитов¹ Nocturil@yandex.ru, А.С. Ряднов¹ senior.ryadnov@yandex.ru,
М.В. Ланкин¹ delete60@rambler.ru, И.Е. Матвеев² ibelmatigr@gmail.ru*

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск,

²Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

В статье представлены методы входного контроля ёмкости конденсаторов, функциональные схемы цифровой реализации этих методов и расчёт параметров таких цепей. Такие схемы предназначены для измерения ёмкости конденсаторов с достаточной точностью. Различие методов входного контроля заключается в способах измерения ёмкости конденсаторов на переменном токе от которых зависит чувствительность измерительных цепей и сложность реализации методов. На стабильность параметров конденсатора влияют множество показателей, среди которых температура и влажность окружающей среды. Поэтому испытание конденсаторов проводится в испытательной камере в которой поддерживается постоянная температура 85°C и влажность 85%

Ключевые слова: ёмкость конденсатора, входной контроль, методы измерения ёмкости, резонансный метод, мостовой метод, метод ваттметра

TO THE QUESTION ABOUT INPUT CONTROL OF CAPACITY OF CAPACITORS

S.I. Zaitov¹, A.S. Ryadnov¹, M.V. Lankin¹, I.E. Matveev²

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

²Southern Federal University, Rostov-on-Don

The article presents methods of input control of the capacitance of capacitors, functional circuits for the digital implementation of these methods and the calculation of the parameters of such circuits. Such circuits are designed to measure the capacitance of capacitors with sufficient accuracy. The difference in input control methods is in the methods of measuring the capacitance of capacitors in alternating current, on which the sensitivity of the measuring circuits and the complexity of the implementation of the methods depend. Many indicators, including the temperature and humidity of the environment, influence the stability of the parameters of the condenser. Therefore, the test of condensers is carried out in a test chamber in which a constant temperature of 85 °C and a humidity of 85% are maintained.

Key words: capacitance of a capacitor, input control, methods of measuring capacitance, resonance method, bridge method, wattmeter method

Из-за проблем с нестабильностью ёмкости плёночных конденсаторов некоторых поставщиков на производстве возникает необходимость в проведении входного контроля поставок. Испытания должны производится в экстремальных условиях повышенной влажности и температуры. Задача измерения ёмкости испытуемого конденсатора в процессе испытания осложнена тем, что конденсатор помещён в термокамеру и для измерения доступны, только провода по которым на конденсатор подается сетевое напряжение. По регламенту испытания необходимо проводить в течении 1000 часов при сетевом напряжении 240 В. 50 Гц, при влажности в испытательной камере 85% и температура 85°C, при этом измерение ёмкости нужно производить с погрешностью 0,5 %. Активное сопротивление цепи испытания: провода, контактный узел, испытуемый конденсатор, изменяется из-за окисления контактов во влажной среде и может составлять 30 Ом [1].

Для измерения ёмкости конденсаторов известно ряд методов. Рассмотрим наиболее подходящие для описанных выше условий.



1) **Метод ваттметра.** Этот метод [2] заключается в измерении ёмкостного сопротивления конденсатора, которое обратно пропорционально емкости и частоте электрического тока:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C_X}; \quad C_X = \frac{I^2}{2\pi f \sqrt{U^2 I^2 - P^2}},$$

где X_C - реактивное сопротивление; C_X - ёмкость конденсатора; f - частота источника напряжения; I – ток в цепи; U – напряжение в цепи; P – активная мощность.

На рисунке 1 представлена схема данного метода. Пунктиром обозначены элементы, находящиеся внутри испытательной камеры.

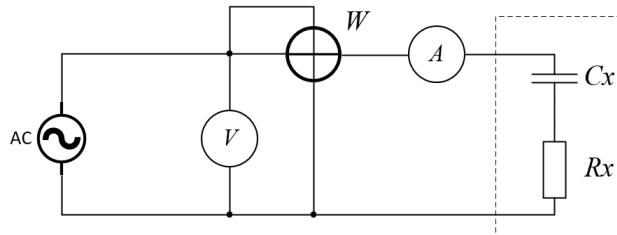


Рис. 1 – Схема метода ваттметра

Согласно данному алгоритму сначала измеряется напряжение и ток в цепи, затем определяется разность фаз между ними и рассчитывается мощность. После получения мощности рассчитывается ёмкость конденсатора.

Эта схема может быть использована для решения нашей задачи. Она требует измерения трех электрических параметров: активной мощности потребляемой цепью испытания, приложенного к ней напряжения и тока протекающего через неё

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}, \quad P = U \cdot I \cdot \cos \phi, \quad \operatorname{tg} \phi = \frac{-1/\omega C_X}{R_X},$$

где ϕ – угол сдвига фаз тока и напряжения на источнике; Z – полное сопротивление цепи; X_C - реактивное сопротивление; ω – круговая частота.

Расчёты параметров цепи приведены в таблице 1.

Таблица 1 Результаты расчёта параметров цепи

C_X , мкФ	R_X , Ом	I , мА	U , В	P , Вт
0,47	30	35	240	8,5
0,42	60	31	240	7,6
0,52	10	39	240	9,4
0,472	30,15	36	240	8,53

На рисунке 2 изображена функциональная схема цифровой реализации метода ваттметра.

На рисунке 3 изображён алгоритм измерения ёмкости конденсатора методом ваттметра.

2) **Мостовой метод.** Этот метод [3] основан на применении мостовой схемы для измерения ёмкости конденсатора. Для измерения ёмкости используют мосты переменного тока (в нашем случае частотой 50 Гц).

На рисунке 4 представлена схема мостового метода измерения ёмкости. На схеме пунктиром обведены элементы, находящиеся в испытательной камере.

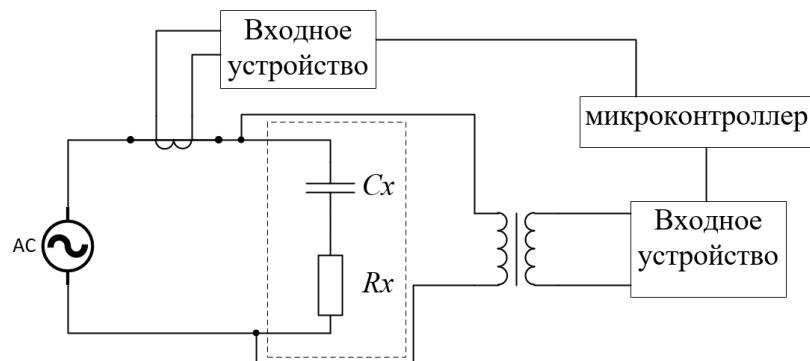


Рис. 2 – Функциональная схема цифровой реализации метода ваттметра



Рис. 3 – Алгоритм работы метода ваттметра

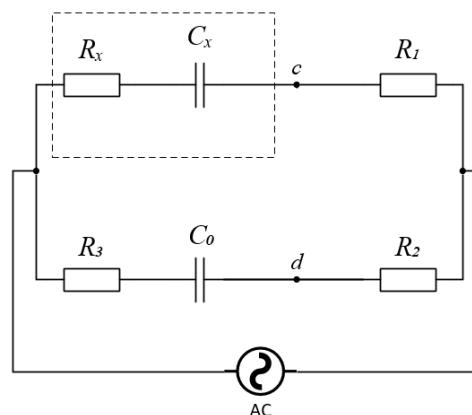


Рис. 4 – Схема моста переменного тока



Баланс моста достигается только в том случае, когда потенциалы в точках c и d будут равны друг другу в любой момент времени. Это условие выполнится при равенстве падений напряжения на элементах схемы.

$$C_x = \frac{C_0 \cdot R_2}{R_1}.$$

Расчёт параметров цепи представлен в таблице 2. C_0 – это образцовый конденсатор.

Таблица 2 Расчёт параметров цепи

C_x , мкФ	R_x , Ом	C_0 , мкФ	R_1 , кОм	R_3 , Ом	U , В	I , мА	R_2 , Ом
0,47	30	15	50,0	30	240	151,1	1566,7
0,42	60	15	50,0	30	240	167,2	1400,0
0,52	10	15	50,0	30	240	137,5	1733,3
0,472	30,15	15	50,0	30	240	150,3	1573,3

Данный метод можно использовать для решения нашей задачи. Зная R_2 можно найти неизвестную ёмкость. В качестве переменного сопротивления можно использовать магазин сопротивлений.

На рисунке 5 изображена функциональная схема цифровой реализации мостового метода.

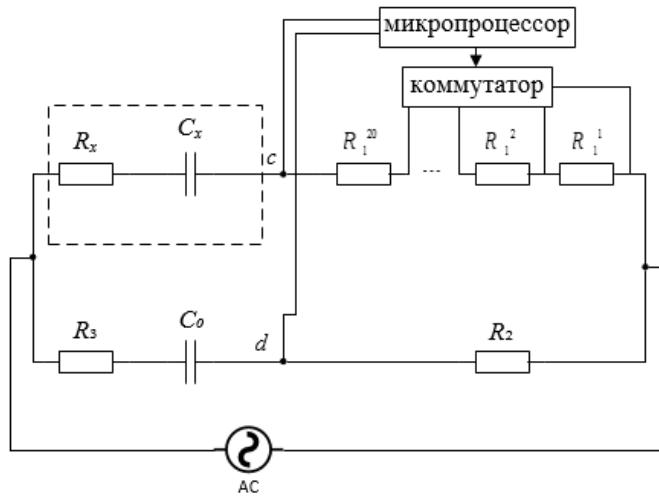


Рис. 5 – Функциональная схема цифровой реализации мостового метода

На рисунке 6 представлен алгоритм измерения ёмкости конденсатора методом переменного моста.

Согласно данному алгоритму в методе переменного моста сначала выбирается максимальное значение переменного сопротивления, затем измеряется напряжение в точках c и d затем сопротивление уменьшается и снова измеряется напряжение. После измерений напряжений они сравниваются и запоминается наименьшее, а также запоминается сопротивление, которому соответствует наименьшее напряжение. Так повторяется до тех пор, пока не переберутся все доступные значения сопротивлений. Затем рассчитывается значение ёмкости учитывая последнее запомненное сопротивление.

В таблице 3 представлены результаты изменения ёмкости и сопротивления в мостовой схеме.

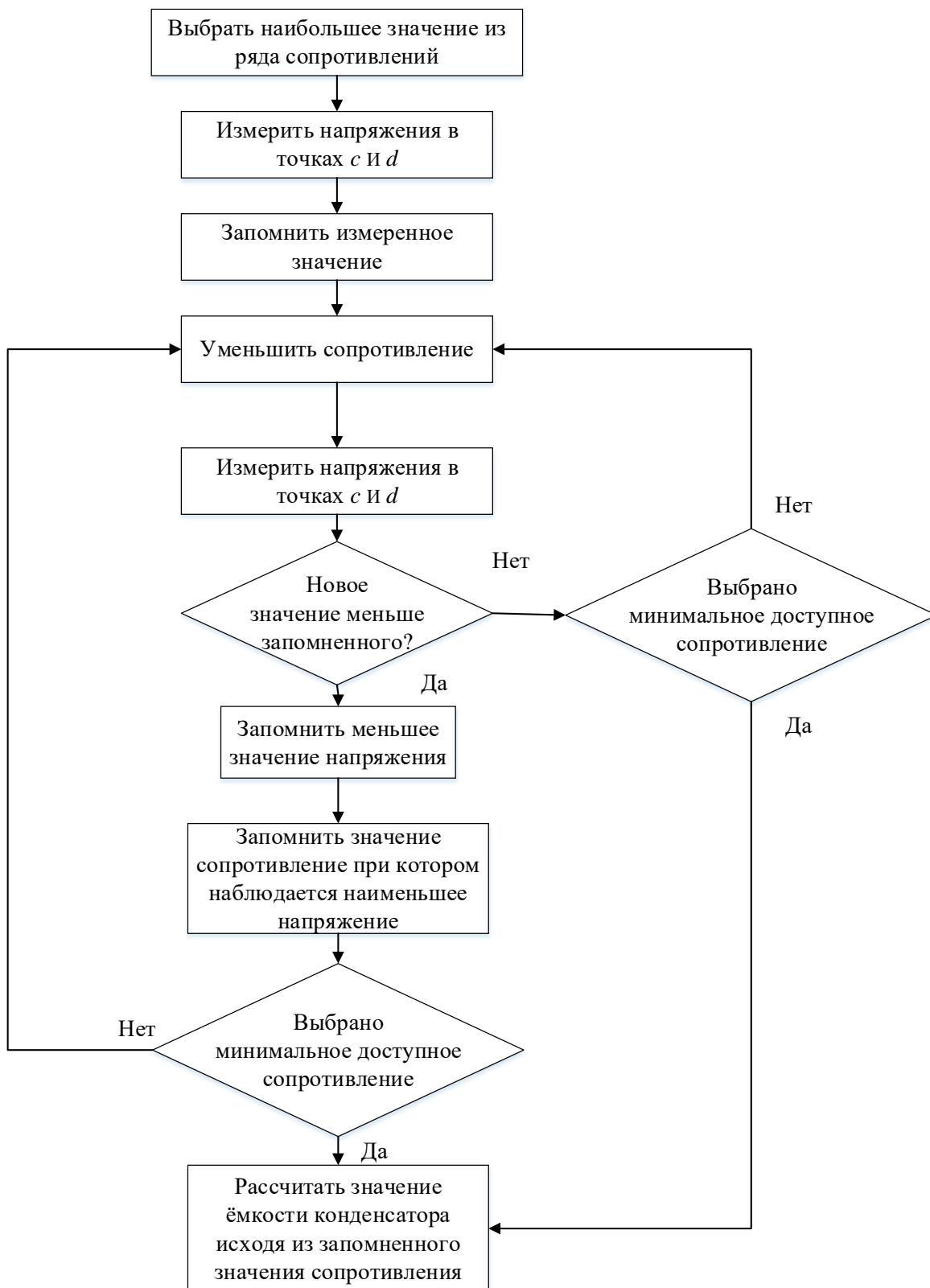


Рис. 6 – Алгоритм работы мостового метода



Таблица 3 Результаты изменения ёмкости и сопротивления

C_x , мкФ	R_1 , Ом	C_x , мкФ	R_1 , Ом
0,470	1567	0,444	1481
0,468	1559	0,442	1473
0,465	1551	0,439	1465
0,463	1543	0,437	1457
0,461	1535	0,435	1449
0,458	1528	0,432	1441
0,456	1520	0,430	1434
0,454	1512	0,428	1426
0,451	1504	0,425	1418
0,449	1496	0,423	1410
0,447	1488		

3) **Резонансный метод.** Этот метод [4] основан на возникновении электрического резонанса в колебательном контуре при определённых значениях ёмкости, индуктивности и частоты питающего напряжения. На рисунках 7 и 8 представлены схема с резонансом напряжения и тока, соответственно.

Значение измеряемого параметра определяется исходя из известной формулы:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}, \quad C_x = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_0}.$$

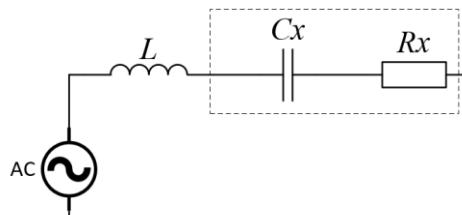


Рис. 7 – Схема резонанса напряжения

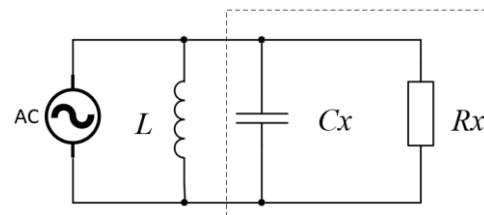


Рис. 8 – Схема резонанса токов

Добившись подбором индуктивности резонанса напряжения или тока и зная значение частоты можно определить ёмкость испытуемого конденсатора. Или добившись подбором частоты питающего напряжения резонанса напряжения или тока и зная значение индуктивности можно определить ёмкость испытуемого конденсатора. Результаты расчёта ёмкости с измерениями полученными резонансным методом приведены в таблице 4.

Таблица 4 Результаты расчёта параметров цепи.

C_x , мкФ	U , В	f_0 , Гц	I , мА	L_0 , Гн
0,47	240	50	93,5	21,6
0,42	240	52,9	83,6	21,6
0,52	240	47,5	103,5	21,6
0,472	240	49,87	93,8	21,6
0,47	240	50	14669	21,6
0,42	240	50	14669	24,1
0,52	240	50	14670	19,5
0,472	240	50	14668	21,5

На рисунках 9 и 10 изображены функциональные схемы цифровой реализации резонансного метода, резонанс в которых осуществляется изменение индуктивности.

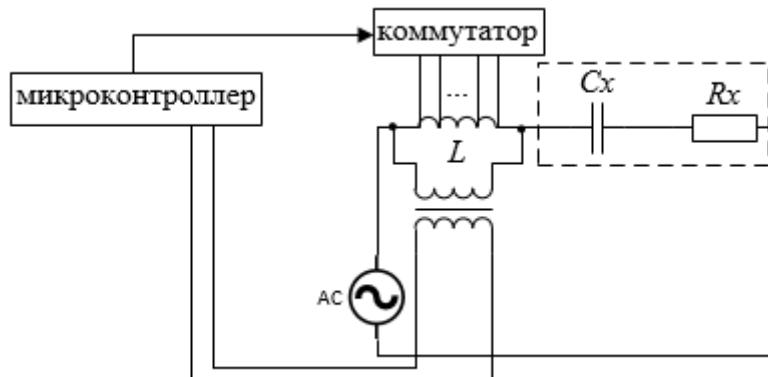


Рис. 9 – Функциональная схема цифровой реализации метода резонанса напряжения

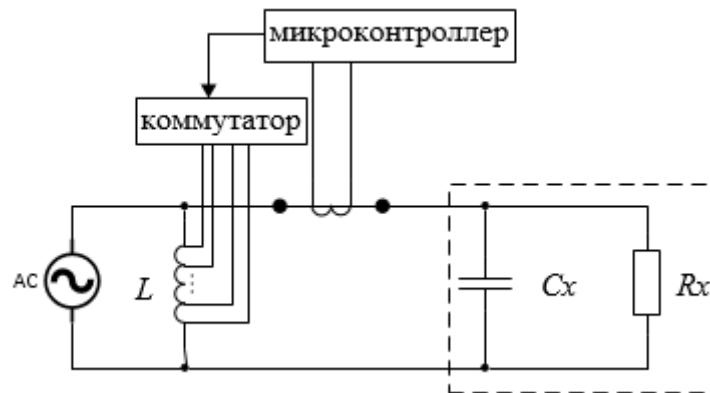


Рис. 10 – Функциональная схема цифровой реализации метода резонанса тока

На рисунках 11 и 12 изображены функциональные схемы цифровой реализации резонансного метода, резонанс в которых обеспечивается изменением частоты генератора.

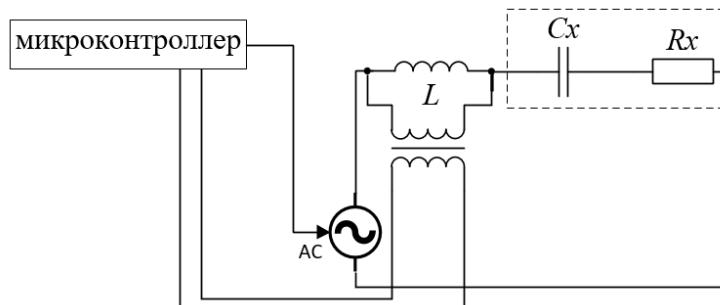


Рис. 11 – Функциональная схема цифровой реализации метода резонанса напряжения

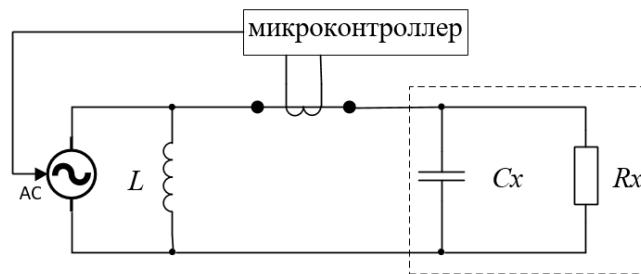


Рис. 12 – Функциональная схема цифровой реализации метода резонанса тока

На рисунке 13 представлен алгоритм измерения ёмкости резонансным методом.

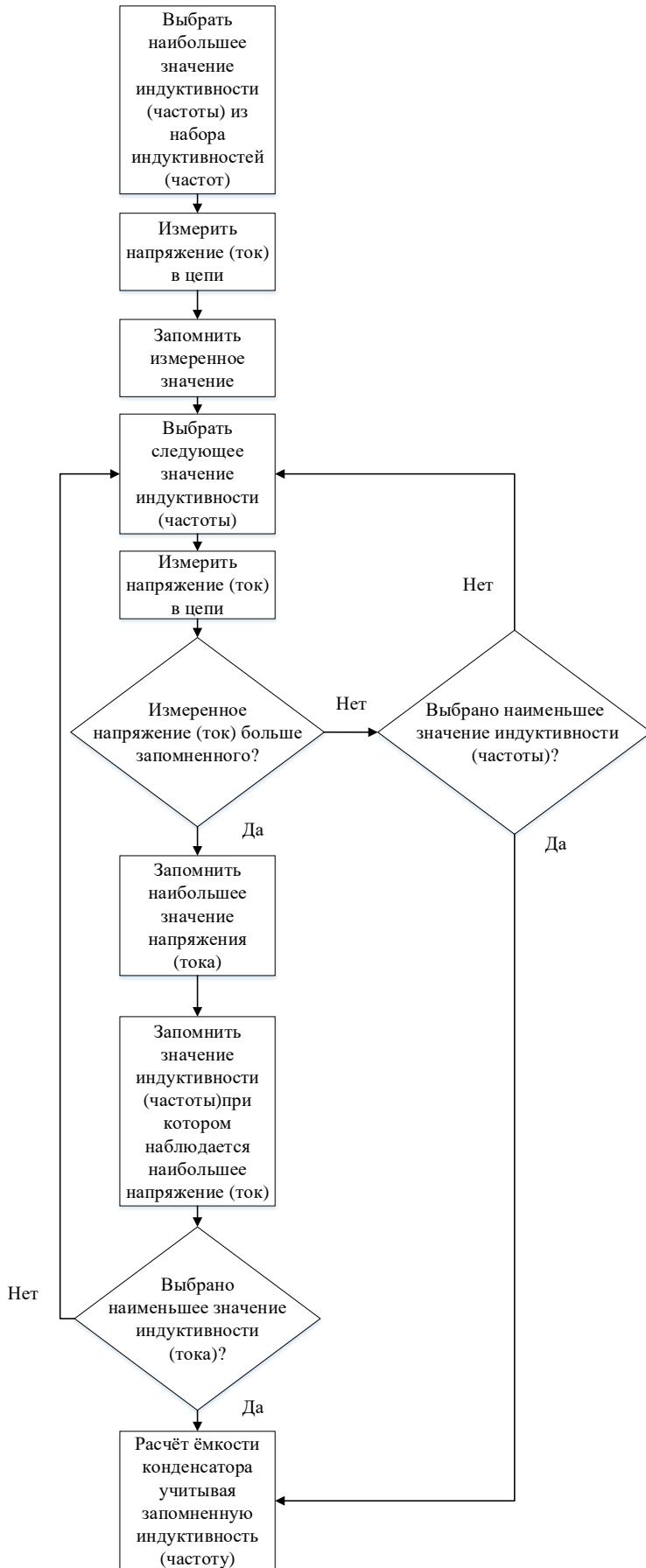


Рис. 13 – Алгоритм работы резонансного метода



Согласно представленному алгоритму измерение проводится следующим способом: выбирается максимальное значение индуктивности (частоты), измеряется напряжение (ток) в цепи, запоминается измеренное значение напряжения (тока), выбирается следующее значение индуктивности (частоты), снова измеряется напряжение (ток) в цепи, сравнивается измеренное значение напряжения (тока) с запомненным и если измеренное больше оно запоминается, иначе не запоминается, после сравнения выбирается следующее значение индуктивности (частоты), этот процесс повторяется пока не переберутся все доступные значения индуктивностей (частот), после перебора всех значений высчитывается ёмкость конденсатора на основе запомненного значения индуктивности (частоты).

В таблице 5 представлены результаты изменения ёмкости и индуктивности.

Таблица 5 Результаты изменения ёмкости и индуктивности

C, мкФ	L, Гн	C, мкФ	L, Гн
0,470	21,6	0,444	22,8
0,468	21,7	0,442	23,0
0,465	21,8	0,439	23,1
0,463	21,9	0,437	23,2
0,461	22,0	0,435	23,3
0,458	22,1	0,432	23,5
0,456	22,2	0,430	23,6
0,454	22,4	0,428	23,7
0,451	22,5	0,425	23,8
0,449	22,6	0,423	24,0
0,447	22,7		

В таблице 6 представлены результаты изменения ёмкости и частоты.

Таблица 6 Результаты изменения ёмкости и частоты

C, мкФ	f, Гц	C, мкФ	f, Гц
0,470	50,00	0,444	51,43
0,468	50,13	0,442	51,57
0,465	50,25	0,439	51,71
0,463	50,38	0,437	51,85
0,461	50,51	0,435	51,99
0,458	50,64	0,432	52,13
0,456	50,77	0,430	52,27
0,454	50,90	0,428	52,41
0,451	51,03	0,425	52,56
0,449	51,16	0,423	52,70
0,447	51,30		

В статье рассмотрены три метода измерения ёмкости конденсаторов, представлены функциональные схемы цифровой реализации этих методов, а также алгоритм измерения ёмкости конденсаторов с помощью этих методов.

Список цитируемой литературы

1. Ряднов А.С., Заитов С.И. Измерение ёмкости конденсаторов в цепях переменного тока // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2020, – №3. – С. 13.
2. Новодворец Л.А. Испытание силовых конденсаторных установок. – М.: Энергия, 1971. – 64 с.



3. Панфилов В. А. Электрические измерения: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.А. Панфилов. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
4. Meerzon A. M. Радиоизмерительная техника. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 416 с.

© С.И. Зайтов, А.С. Ряднов, М.В. Ланкин, И.Е. Матвеев , 2020