

УДК 621.319.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ПОТЕРЬ КОНДЕНСАТОРОВ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ МОСТОВ

П.О. Хачатрян, Э.В. Кургинян, Л.А. Варданян

Национальный политехнический университет Армении

Исследуется метод определения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов большой емкости с помощью цифровых мостов. Данный метод позволяет с большой точностью определять емкости различных типов конденсаторов большой емкости при их разработке, производстве, а также конденсаторов, находящихся длительное время в эксплуатации. Отметим, что точность измерений существенно зависит от измерительных средств и значений измеряемых C и $\text{tg}\delta$. Наиболее точными приборами для измерения емкости тангенса угла потерь являются автоматические цифровые мосты переменного тока. Представлен метод измерения с применением моста типа P5079. В предлагаемой работе показана возможность измерения больших емкостей (выше 100 мкФ) с помощью автоматических цифровых мостов переменного тока.

Ключевые слова: автоматический цифровой мост, емкость, тангенс угла потерь, измерительный прибор.

Введение. Для измерения электрических конденсаторов широкое распространение получили автоматические цифровые мосты типов E7-8, P5079 и др. Существующие цифровые автоматические мостовые приборы имеют ограниченный диапазон измерения емкостей (до 100 мкФ) и соответствующих тангенсов углов потерь. Однако при разработке и производстве специальных конденсаторов для тиристорных преобразователей (фильтровые - ФЖ-1,6-700, ФСТ-0,75-300; коммутирующие - ПСК-1,25-200; импульсные - ИС-5-200), а также низковольтных косинусных (КМ1-0,22-296; КС2-0,22-1052 и др.) [1] возникает необходимость измерения и контроля конденсаторов емкостью до 1000 мкФ и выше. Существуют также измерительные приборы промышленного производства [2,3], которые могут быть использованы для проведения испытаний в рассматриваемом диапазоне емкостей с погрешностью не выше допускаемой. Их можно подразделить следующим образом: безындуктивные мосты, мосты с индуктивно связанными плечами и приборы только для измерения емкости. Однако указанные приборы имеют ручное уравнивание, что трудоемко и трудно применимо в производственных условиях. Поэтому создание методики измерения больших емкостей существующими автоматическими цифровыми приборами является актуальной задачей.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка методики определения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов большой емкости с помощью быстродействующих автоматических цифровых мостов с ограниченными пределами измеряемых характеристик.

Решение данной задачи позволит также проверить работоспособность и качество большого количества указанных типов конденсаторов, находящихся длительное время в эксплуатации.

Обоснование методики измерения. Рассмотрим последовательное соединение двух конденсаторов C_1 известной емкости (менее 100 мкФ) и емкости C_x (более 100 мкФ).

При определении общей емкости и общего тангенса угла потерь двух последовательно соединяемых конденсаторов удобнее рассмотреть их последовательные эквивалентные схемы (рис.) [4], обозначив соответствующие значения емкостей C_1 , C_x и сопротивления, эквивалентные потерям r_1 , r_x .

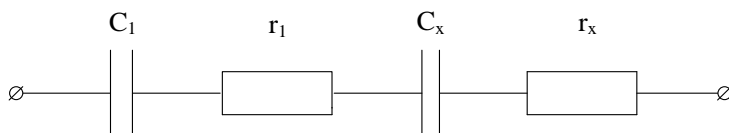


Рис. Эквивалентная схема замещения двух последовательно соединенных конденсаторов

В этом случае измеренные значения общей емкости и тангенса угла потерь будут, соответственно, равны [4]

$$C_u = \frac{C_1 \cdot C_x}{C_1 + C_x} \quad (1)$$

и

$$tg\delta_u = \frac{C_x tg\delta_1 + C_1 tg\delta_x}{C_1 + C_x}. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) можно, в частности, использовать для вычисления C_x и $tg\delta_x$ конденсаторов большой емкости по результатам измерения C_u и $tg\delta_u$ двух последовательно соединенных конденсаторов.

Решая (1) относительно C_x , получим

$$C_x = \frac{C_1 \cdot C_u}{C_1 - C_u}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2) и решая относительно $tg\delta_x$, после несложных преобразований получим

$$tg\delta_x = \frac{C_1 tg\delta_u - C_u tg\delta_1}{C_1 - C_u}, \quad (4)$$

где C_1 и $\operatorname{tg}\delta_1$ - емкость и тангенс угла потерь известного конденсатора ($C_1 < 100$ мкФ); $C_{\text{и}}$ и $\operatorname{tg}\delta_{\text{и}}$ - значения общей емкости и тангенса угла потерь последовательно соединенных конденсаторов, измеренных мостом.

Значение погрешностей Р5079 при измерении емкости на основных диапазонах составляет 0,02%, а основная погрешность при измерении тангенса угла потерь - 0,2%.

Таким образом, на основе результатов одного измерения двух последовательно соединенных конденсаторов по формулам (3) и (4) можно рассчитать емкость и тангенс угла потерь конденсатора емкостью более 100 мкФ.

В [5] предлагается измерять емкость цепочки из последовательно включенных конденсаторов, в том числе содержащей хотя бы один измеряемый конденсатор. Рассматриваются два варианта решения задачи: 1) емкость и тангенс угла потерь каждого из конденсаторов неизвестны; 2) емкость и тангенс угла потерь каждого из всех конденсаторов цепочки известны, кроме измеряемого. В первом варианте емкость и тангенс угла потерь каждого конденсатора предлагается определять по результатам двух измерений с измеряемым конденсатором и без него. Для второго варианта, хотя, как указано в [5], достаточно провести одно измерение емкости и тангенса угла потерь всей цепочки и по формулам определить C и $\operatorname{tg}\delta$, однако в формулы, на которые ссылаются авторы, входят, кроме C_3 и $\operatorname{tg}\delta_3$, также C_3^* и $\operatorname{tg}\delta_3^*$, для определения которых также нужно одно измерение, и в итоге получаются два измерения.

В предлагаемой нами методике один из последовательно соединенных конденсаторов емкостью менее 100 мкФ всегда выбирается известный и один и тот же.

Результаты исследования и их обсуждение. Для определения точности предлагаемого метода были выбраны два типа конденсаторов: бумажно-фольговые ЛСЕ емкостью 7,5 мкФ в количестве 18 штук и МБГО емкостью 20 мкФ в количестве 9 штук.

Каждый из указанных конденсаторов был измерен мостом Р5079, и из них были собраны три батареи по 6 штук конденсаторов ЛСЕ и одна батарея конденсаторов МБГО. С помощью моста Р5079 были измерены емкости и тангенсы углов потерь $\operatorname{tg}\delta$. Несомненным преимуществом этого прибора является высокая точность измерения емкости и тангенса угла потерь [6].

Для батарей конденсаторов ЛСЕ был выбран аналогичный конденсатор емкостью C_1 , равной 7,7 мкФ, и тангенсом угла потерь $\operatorname{tg}\delta_1=0,0062$, а для батареи конденсаторов МБГО - аналогичный конденсатор емкостью $C_1=20,57$ мкФ и $\operatorname{tg}\delta_1=0,012$.

По результатам измерений $C_{\text{и}}$, $\operatorname{tg}\delta_{\text{и}}$, C_1 и $\operatorname{tg}\delta_1$ были рассчитаны емкости и тангенсы углов потерь батарей. Данные измерений и расчетов указанных блоков конденсаторов приведены в табл. 1, анализ которых показал, что измеренные и расчетные значения емкостей и тангенсов углов потерь указанных блоков практически совпадают в пределах 0,5%. Следовательно, предлагаемую

методику с достаточной для инженерных расчетов точностью можно применять для определения емкости и тангенса углов потерь конденсаторов с емкостью более 100 мкФ.

В качестве примера были измерены емкости и тангенсы углов потерь трех конденсаторов типа ИС-5-200, каждый в отдельности, а затем их суммарные емкости и тангенсы углов потерь.

Таблица 1

Измеренные и расчетные значения C и tgδ блоков конденсаторов

№ пп.	Измеренные значения			Расчетные значения		Расхождение	
	C, мкФ	C _и , мкФ	tgδ _и	C _р , мкФ	tgδ _р	ΔC, %	Δtg, δ%
1	45,49	6,581	0,0062	45,284	0,00617	0,45	0,48
2	45,49	6,581	0,0062	45,284	0,00617	0,45	0,48
3	37,59	6,389	0,0062	37,45	0,00618	0,37	0,32
4	164,47	18,29	0,0059	165	0,0059	0,3	0,5

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов конденсаторов ИС-5-200

№ пп.	Измеренные значения		Расчетные значения		
	C _и , мкФ	tgδ _и	C _р , мкФ	tgδ _р	ΔC, %
1	29,29	0,0084	188,2	0,027	6,26
2	29,34	0,0098	187,87	0,042	6,45
3	29,14	0,0099	179,96	0,041	11,1
1+2	31,82	0,01	375	0,075	0,27
1+2+3	32,72	0,01	554,96	0,1	0,19

В табл. 2 приведены результаты определения C и tgδ трех конденсаторов типа ИС-6-200 У4 с номинальной емкостью 200 мкФ и допустимыми отклонениями емкости +20% или -10% от номинальной. Как видно из таблицы, емкости первых двух конденсаторов находятся в пределах минусового допуска, а емкость третьего конденсатора на 1% превышает допустимый минусовой допуск. Суммарные емкости двух и трех конденсаторов, определяемые предлагаемым методом, совпадают с погрешностью, не превышающей 0,3%.

Выводы

1. Значения емкостей конденсаторов большой емкости определяются с большой точностью по результатам измерений емкости последовательно включенных конденсаторов.

2. Данная методика позволяет с большей точностью, по сравнению с существующими приборами, определять емкости различных типов

конденсаторов большой емкости при их разработке, производстве, а также конденсаторов, находящихся длительное время в эксплуатации.

3. В предлагаемой методике один из последовательно соединенных конденсаторов емкостью менее 100 мкФ всегда выбирается известным и один и тот же.

4. Методику определения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов большой емкости (выше 100 мкФ) с помощью быстродействующих автоматических цифровых мостов с ограниченными пределами измеряемых характеристик можно рекомендовать для инженерных измерений.

Литература

1. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / Под общей редакцией Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатом, 1987. – 456 с.
2. Казарновский Д.М., Тареев Б.М. Испытание электроизоляционных материалов. – Л.: Энергия, 1969. – 269 с.
3. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. - М.: Маршрут, 2005. - 280 с.
4. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. – Л.: Энергия, 1969. – 592 с.
5. Рудаков В.В., Фоменко В.Г. Определение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторов большой емкости. - Харьков: НТУ ХПИ, 2010.
6. http://www.etalonpribor.ru/mosti_magazini_meri_soprotivleniya/product/R5079_Most_peremennogo_toka/

*Поступила в редакцию 05.04.2016.
Принята к опубликованию 26.05.2016.*

ՄԵԾ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ԱՆԿՅԱՆ ՏԱՆԳԵՆՍԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԱՎՏՈՄԱՏ ԹՎԱՅԻՆ ԿԱՄՐՋԱԿՆԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Պ.Հ. Խաչատրյան, Է.Վ. Կուրդինյան, Լ.Ա. Վարդանյան

Ուսումնասիրվել է ավտոմատ թվային կամրջակների միջոցով մեծ ունակությամբ կոնդենսատորների ունակության և կորուստների անկյան տանգենսի որոշման մեթոդը: Այն թույլ է տալիս մեծ ճշգրտությամբ որոշել տարբեր տիպերի մեծ ունակությամբ կոնդենսատորների ունակությունները մշակման, արտադրության, ինչպես նաև երկարատև շահագործման ընթացքում: Ունակությունների և կորուստների անկյան տանգենսի չափումների համար առավել ճշգրիտ սարքեր են փոփոխական հոսանքի ավտոմատ թվային կամրջակները: Ներկայացված է չափման մեթոդ՝ P5079 կամրջակի կիրառմամբ: Ցույց է

տրված փոփոխական հոսանքի ավտոմատ թվային կամրջակների միջոցով 100 մկՖ-ը գերազանցող ունակություններ չափելու հնարավորությունը:

Առանցքային բաներ. ավտոմատ թվային կամրջակ, ունակություն, կորուստների անկյան տանգենս, չափիչ սարքավորում:

DETERMINING THE CAPACITANCE AND THE LOSS TANGENT OF HIGH-CAPACITANCE CAPACITORS BY AUTOMATIC DIGITAL BRIDGES

P.H. Khachatryan, E.V. Kurghinyan, L.A. Vardanyan

The method for determining the capacitance and the loss tangent of high-capacitance capacitors by automatic digital bridges is considered. The capacitance of different types of high-capacity capacitors in their development, production, as well as capacitors which are in operation for long time. Note that the accuracy of the measurement greatly depends on the measurement and the measured values of capacitance and the loss tangent. The most accurate instruments for measuring the loss tangent capacitance are automatic digital AC bridges. The method of measurement using the R5079 bridge is introduced. The possibility of using an automatic digital AC bridges to measure a large capacities (over 100 μF) is shown.

Keywords: automatic digital bridge, capacity, loss tangent, measuring device.