

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

А.А. Мельников, А.И. Ляпин

В работе обсуждается способ измерения емкости конденсатора с помощью электростатического вольтметра. Разработана новая электрическая схема лабораторной установки. Теоретически и экспериментально показано, что включение в существующую схему дополнительного конденсатора и ключа позволяет сохранить до 50% электрического заряда.

Ключевые слова: электроемкость, измерение, электрический заряд, сохранение.

Лабораторный практикум по физике, как правило, включает в себя работу по измерению емкости конденсатора. Существуют различные методы измерения емкости. В Белорусско-Российском университете и в некоторых других учебных заведениях емкость конденсатора измеряется с помощью электростатического вольтметра. В этом методе [1] эталонный конденсатор заряжается от источника до определенной разности потенциалов, отключается от источника, измеряется разность потенциалов на батарее и по известной формуле вычисляется искомая емкость.

Во всех существующих методах измерения емкости происходит безвозвратная потеря энергии. В то же время, любая экономия энергии на любом рабочем месте является приоритетом государственной программы. Поэтому разработка способа измерения емкости конденсатора, позволяющего сохранить энергию, является актуальной.

Целью настоящей работы является разработка способа измерения емкости конденсатора с помощью электростатического вольтметра, позволяющего сохранить часть энергии, теряемой в существующем способе измерения.

Для подбора элементов и режимов работы лабораторной установки была создана виртуальная установка на симуляторе «Мультисим». Функциональная электрическая схема установки приведена на рисунке 1.

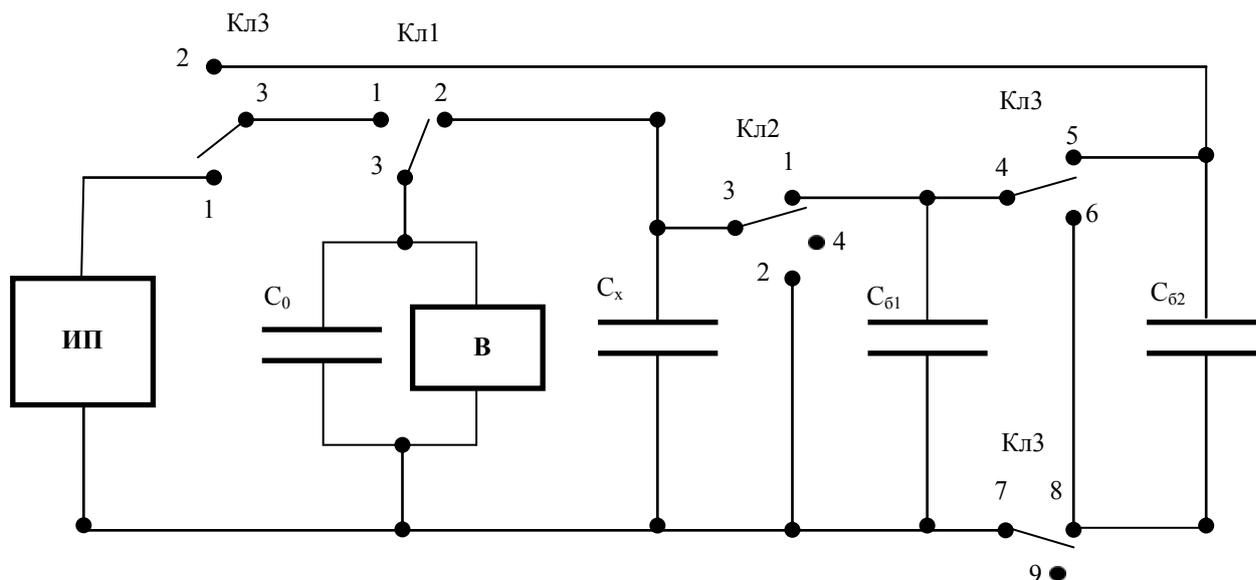


Рис. 1. Функциональная электрическая схема установки

По сравнению с существующей схемой нами добавлены дополнительный конденсатор C_6 и двоянный ключ Кл 2, 3.

В первой серии измерений при постоянном значении U_0 конденсатор C_0 заряжается от источника питания ИП. Затем конденсатор C_0 отключается от источника ИП, подключается к испытуемому конденсатору C_x , измеряется разность потенциалов U_x на батарее и по известной формуле вычисляется C_x . В этой части измерения соответствуют существующему способу.

В разработанном способе после измерений U_0 и U_x , сначала конденсаторы разряжаются на дополнительный конденсатор C_6 , а затем обнуляются подключением к низкоомной нагрузке для подготовки к следующему измерению. На этом этапе сохраняется достаточно большая часть энергии, которая полностью теряется в существующем способе измерения.

После зарядки конденсатора C_6 до требуемой разности потенциалов U_{60} в течение первой серии измерений он подключается вместо источника питания ИП и проводится вторая серия измерений на сэкономленной энергии. Измерения проводятся при разных значениях U_0 . Значение U_{60} определяется пределом измерения вольтметра (в нашем случае $U_{60} = 15В$).

Во второй серии после каждого измерения U_0 и U_x конденсаторы C_0 и C_x могут разряжаться на другой конденсатор C_6 перед подключением к низкоомной нагрузке. Таким образом, возможно дополнительное сохранение энергии.

Расчеты показывают, что экономичность разработанного способа измерения емкости конденсатора определяется отношением $C_6/(C_0 + C_x)$ и может быть оценена следующим выражением:

$$\eta = \frac{C_6}{(C_0 + C_x + C_6)}, (1)$$

При десятикратном превышении емкости C_6 над суммарной емкостью конденсаторов C_0 и C_x часть сохраненной энергии может превышать 90%.

Полученное значение экономичности разработанного способа измерения емкости конденсатора соответствуют случаю использования сэкономленного заряда в других целях. Например, для проведения опытов или демонстраций по электричеству и т.д.

Целесообразность использования сохраненной энергии для последующих измерений емкости вначале была проверена на симуляторе. Ниже приведены результаты первой серии измерений, проведенных на виртуальной установке. Измерения проводились при одном значении $U_0 = 30В$. На *рисунке 2* показано нарастание разности потенциалов U_6 на дополнительном конденсаторе (при $C_6 = 1 \cdot 10^{-3} Ф$) в зависимости от числа измерений.

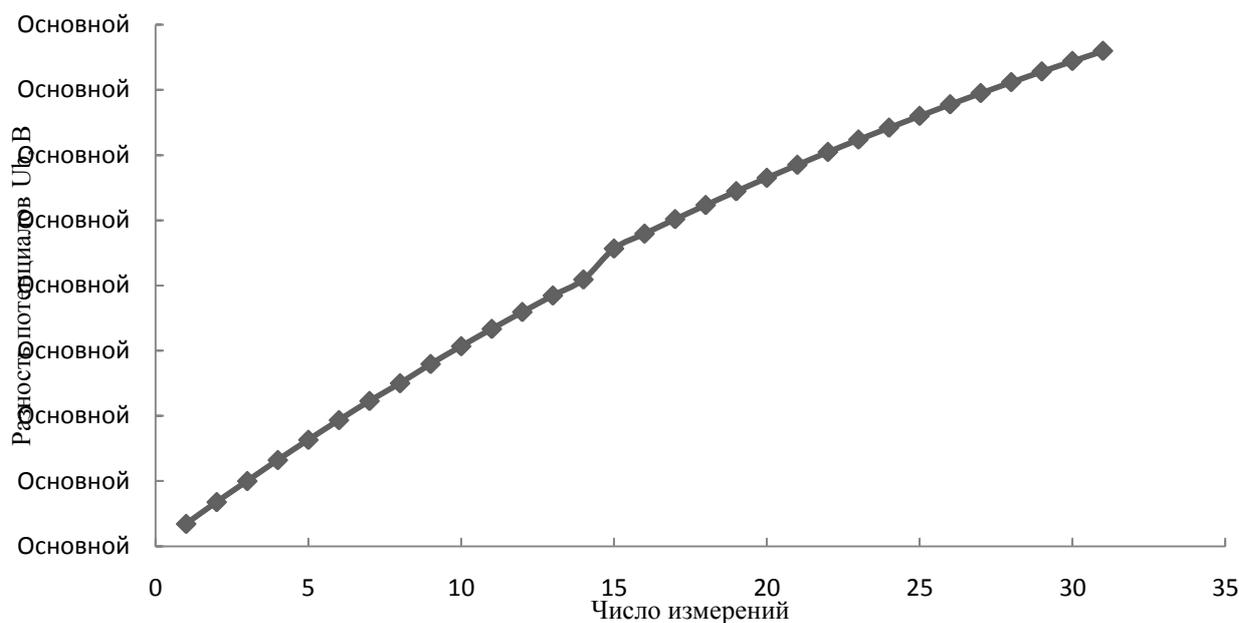


Рис. 2. Нарастание разности потенциалов на дополнительном конденсаторе C_6 в зависимости от числа измерений

Как видно из графика, зарядка дополнительного конденсатора C_6 до 15 В происходит в течение 30 измерений. При этом значение разности потенциалов U_6 изменяется от милливольт до 15 В и погрешность в значении C_x не превышает 0,27%. Такая высокая точность измерений в широком диапазоне значений измеряемой величины обусловлена возможностью выбора в «Мультисим» приборов сколь угодно высокого класса точности.

На рисунке 3 показаны изменения разностей потенциалов U_0 и U_6' в зависимости от числа второй серии измерений на виртуальной установке при $C_6 = 2 \cdot 10^{-3}$ Ф.

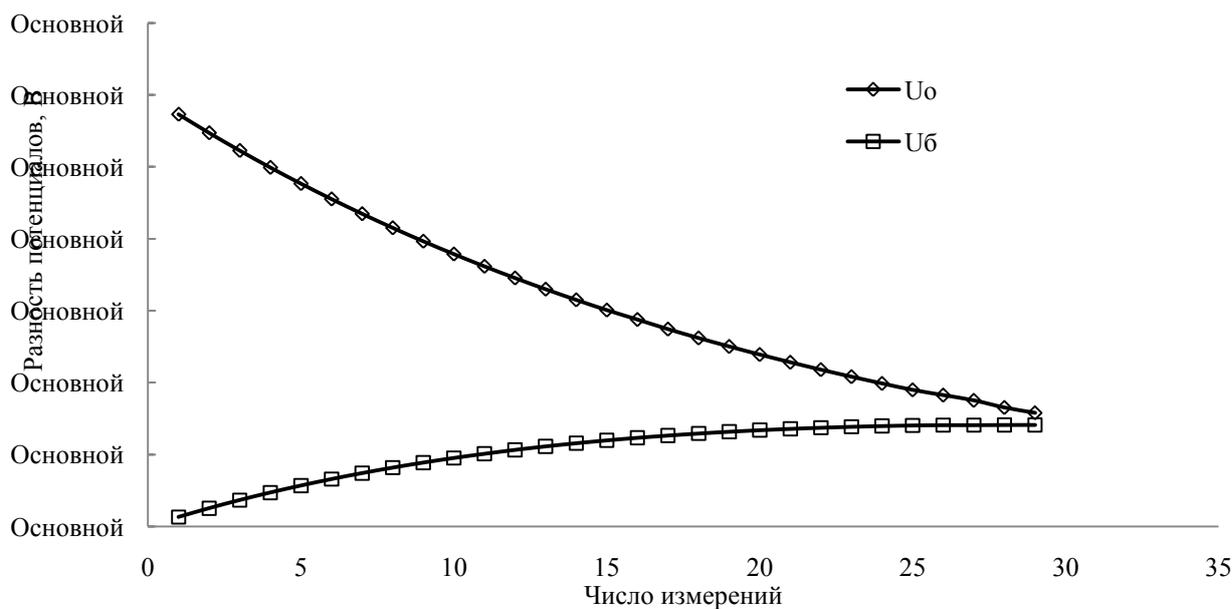


Рис. 3. Изменения U_0 и U_6' во второй серии измерений в зависимости от числа измерений

Из рисунка 3 следует, что на сохраненном заряде (энергии) можно провести, по крайней мере, до 25 измерений. То есть общее количество измерений может составить

55. Кроме того, если во второй серии измерений конденсаторы C_0 и C_x разряжать на дополнительный конденсатор C_6 , то возможно дополнительное сохранение заряда.

Как было сказано выше, первая серия измерений разработанным способом соответствует измерениям существующим способом (за исключением накопления заряда на C_6). Это означает, что если существующим способом можно провести только 30 измерений, то разработанным способом – 55 (без учета заряда, накопленного на C_6). То есть эффективность разработанного способа может достигать $(55-30)/30 = 0,83$.

Для проверки результатов моделирования и оценки реальной эффективности рассматриваемого способа при использовании сэкономленного заряда (энергии) для последующих измерений емкости была создана лабораторная установка. Электрическая схема установки соответствует *рисунку 1*. В качестве источника питания использовался АКПП-1137-200-1, разности потенциалов измерялись электростатическим вольтметром С50 с пределом измерения 30 В, в качестве добавочных конденсаторов использовались электролитические конденсаторы типа 608С2 (М) с емкостями $C_6 = 1 \cdot 10^{-3}$ Ф и $C_6' = 1 \cdot 10^{-3}$ Ф.

Расчеты и результаты моделирования показывают, что при сто- и более кратном превышении емкости C_6 над суммарной емкостью конденсаторов C_0 и C_x разность потенциалов U_6 на батарее ($C_0 + C_x + C_6$) составляет сотую и менее часть от U_x . При малых значениях C_0 и C_x и использованном в работе значении разности потенциалов $U_0 = 30$ В начальные значения U_6 составляют милливольты. Вольтметр С50 не позволяет уверенно измерять такие малые значения разности потенциалов. Поэтому для обеспечения точности измерения, особенно в начале серий, в опытах использовались конденсаторы с большими значениями емкостей C_0 и C_x .

На *рисунке 4* приведены результаты измерений U_6 в первой серии измерений.

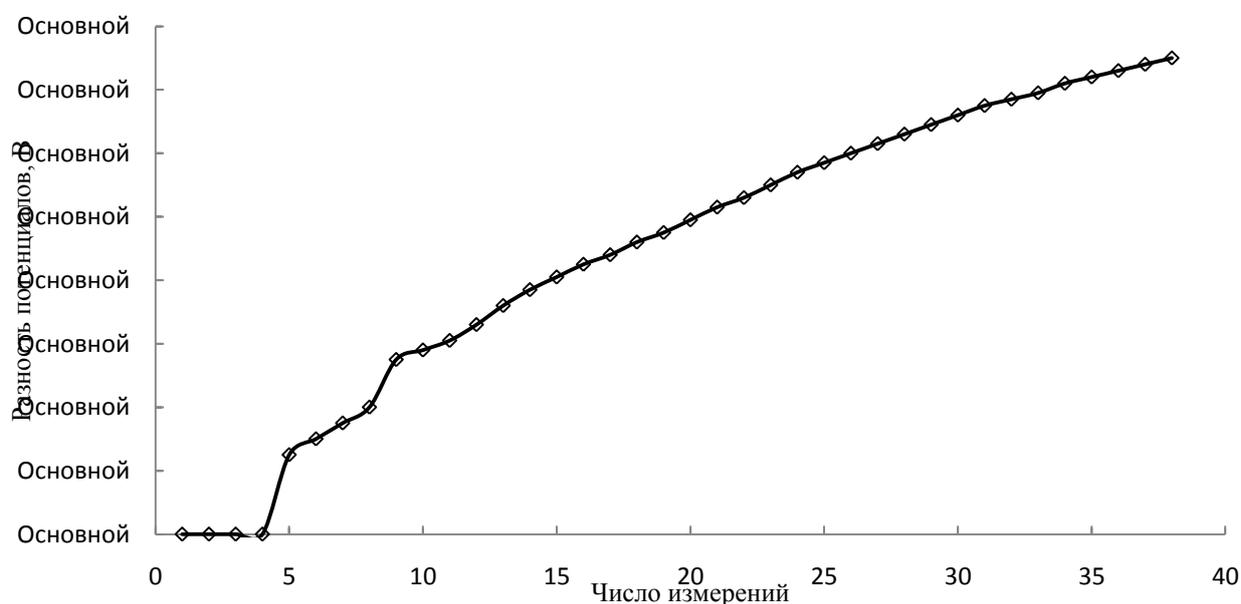


Рис. 4. Изменение U_6 в первой серии измерений в зависимости от номера измерения

Первые значения U_6 выходят за пределы чувствительности использованного вольтметра. Сравнивая *рисунки 2* и *4* можно заметить, что в реальных условиях (*рис. 4*) конденсатор C_6 заряжается медленнее. Это связано с потерями энергии при коммутациях и обнулениях конденсаторов C_0 и C_x . Погрешность в значении C_x достигает 1%.

Результаты измерений U_0 и U_6 во второй серии измерений показаны на *рисунке 5*.

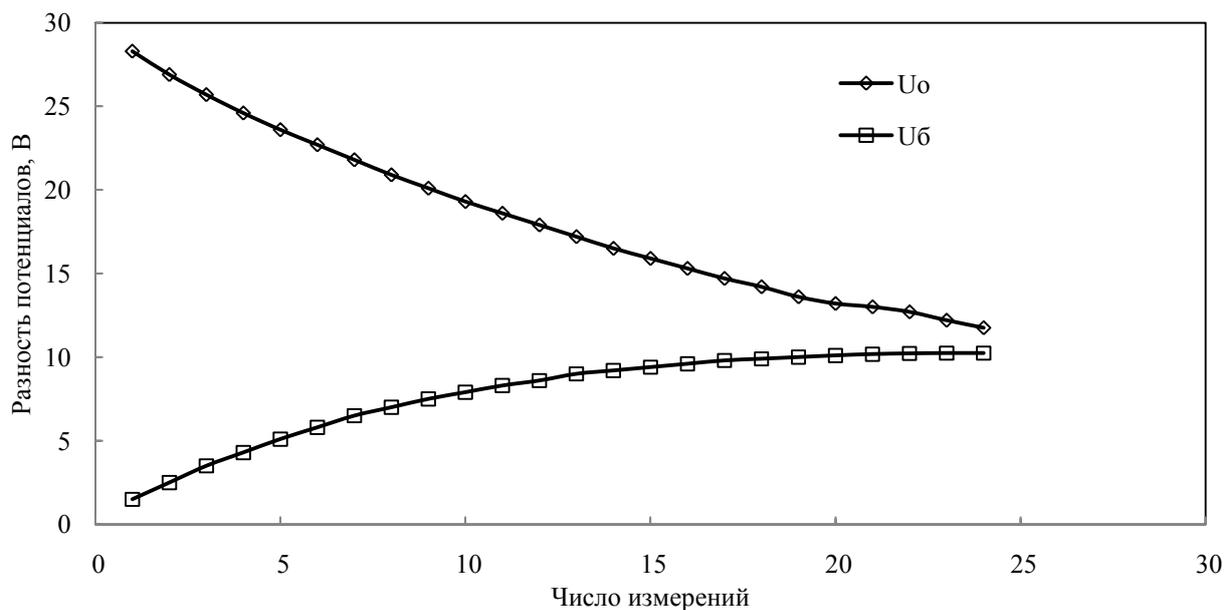


Рис. 5. Изменение U_0 и $U_б$ во второй серии измерений в зависимости от номера измерения

Из рисунка 5 следует, что сохраненную энергию можно использовать для проведения, по крайней мере, 20 измерений при погрешности в значении C_x до 4%.

В этом случае общее число измерений составляет 58 и эффективность разработанного способа измерения емкости конденсатора достигает $(58-38)/38 \approx 0,53$ (без учета заряда, накопленного на $C_б$).

Грубая оценка показывает, что разработанный способ позволит сохранить на одной установке до 10^3 Дж энергии в год.

Литература

1. Заявка на изобретение 93047134/09 Российская Федерация, МПК G 01 R 27/26. Устройство для измерения емкости электрических конденсаторов / Фомин Л.В.; заявл 11.10.1993 ; опубл. 10.07.1996.

Мельников Артем Александрович

Студент автомеханического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375(44) 465-10-32
E-mail: etzfr@gmail.com

Ляпин Али Ибрагимович

Доцент кафедры "Физика", канд физ.-матем. наук
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375 (29) 749-14-95
E-mail: ali_lyapin@tut.by