



УДК 519.242.1

ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А.С. Ряднов senior.ryadnov@yandex.ru, С.И. Заитов

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

В данной статье рассматривается метод для измерения емкости конденсаторов, подключенных к цепям переменного тока в течение длительного времени. Суть метода заключается в том, что измеряя синусоидальное действующее напряжение и синусоидальный действующий ток, проходящий через исследуемый объект - конденсатор, можем в любой момент времени вычислить его емкость и спрогнозировать время выхода емкости из допустимого диапазона

Ключевые слова: импеданс, активное сопротивление, реактивное сопротивление, синусоидальное напряжение, колебательный контур, допустимый интервал

MEASUREMENT OF CAPACITANCE OF CAPACITORS IN AC CIRCUITS

A.S. Ryadnov, S.I. Zaitov

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

This article discusses a method for measuring the capacitance of capacitors connected to an alternating voltage circuit for a long time. The essence of the method is that by measuring the sinusoidal acting voltage and the sinusoidal acting current passing through the researched object - the capacitor, we can calculate its capacitance at any time and predict the time when the capacitance will go out of the allowable range

Keywords: impedance, active resistance, reactance, sinusoidal voltage, oscillating circuit, allowable range

Для определения емкости конденсатора, включенного в сеть переменного действующего напряжения, необходимо вычислить общее сопротивление конденсатора, называемого импедансом [1]. Импеданс переменному сигналу складывается из составляющих активного и реактивного сопротивления. В данном случае к активному сопротивлению можно отнести лишь сопротивление шунта (сопротивлением проводов можно пренебречь). К реактивному сопротивлению (то есть к такому, которое не потребляют мощности [2]) относим ёмкостное сопротивление. Схема подключения изображена на рис.1:

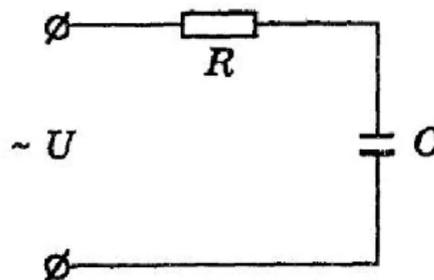


Рис. 1 – Схема подключения конденсатора

Исходя из этого, общий импеданс цепи находится как:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}, \quad (1)$$

где R – активное сопротивление (шунта), X_c – реактивное сопротивление (ёмкостное) [3].



Отсюда выражаем емкостное сопротивление:

$$X_c = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (2)$$

В свою очередь ёмкостное сопротивление равно:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (3)$$

где f – частота (Гц), C – емкость конденсатора (мкФ).

Таким образом, емкость конденсатора равна:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2\pi f \sqrt{Z^2 - R^2}} \quad (4)$$

Рассмотрим колебательный контур переменного синусоидального напряжения [4], проходящий через конденсатор (рис.2):

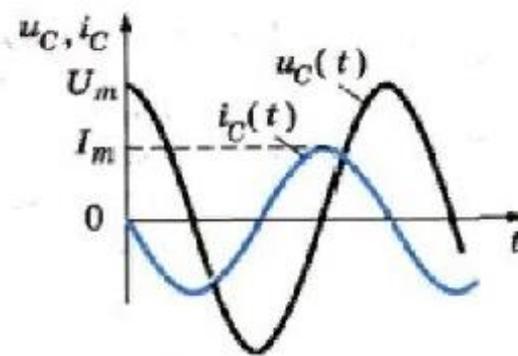


Рис. 2 – График колебательного контура

Пусть ток, протекающий через конденсатор, изменяется по гармоническому закону [5]:

$$I_d = I_m \cos(\omega t), \quad (5)$$

где I_d – действующий ток, проходящий через конденсатор, I_m – амплитудное значение силы тока, ω – угловая частота.

Тогда напряжение на этом конденсаторе также будет изменяться по гармоническому закону той же частоты:

$$U_d = U_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad (6)$$

где U_d – действующее напряжение, U_m – амплитудное значение напряжения.

Ток, протекающий через конденсатор, опережает по фазе на $\frac{\pi}{2}$ напряжение на нем [6].

Применяя закон Ома, получаем коэффициент, равный отношению амплитуды напряжения на конденсаторе к амплитуде силы тока, протекающего через него, который также будет импедансом:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} \quad (7)$$

Мгновенными или амплитудными значениями тока и напряжения на практике пользоваться неудобно. Амперметры и вольтметры в цепи переменного тока измеряют действующие или эффективные значения переменного тока, которые связаны с амплитудными значениями по формулам (7) и (8):



$$I\vartheta = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

$$U\vartheta = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Выразив амплитудные значения тока и напряжения и подставив их в формулу (7), получаем:

$$Z = \frac{U_d\sqrt{2}}{I_d\sqrt{2}} \quad (9)$$

Выраженный через действующие значения тока и напряжения импеданс подставим в формулу (4). Таким образом, искомая емкость измеряемого конденсатора равна:

$$C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\left(\frac{U_d\sqrt{2}}{I_d\sqrt{2}}\right)^2 - R^2}}, \quad (10)$$

Вычисляя емкость конденсатора в начале испытаний и через определенные интервалы времени, можно графически изобразить полученные значения. Например, изобразим график емкости конденсатора номинального значения 470 мкФ [7] от суточного времени рисунок 3.

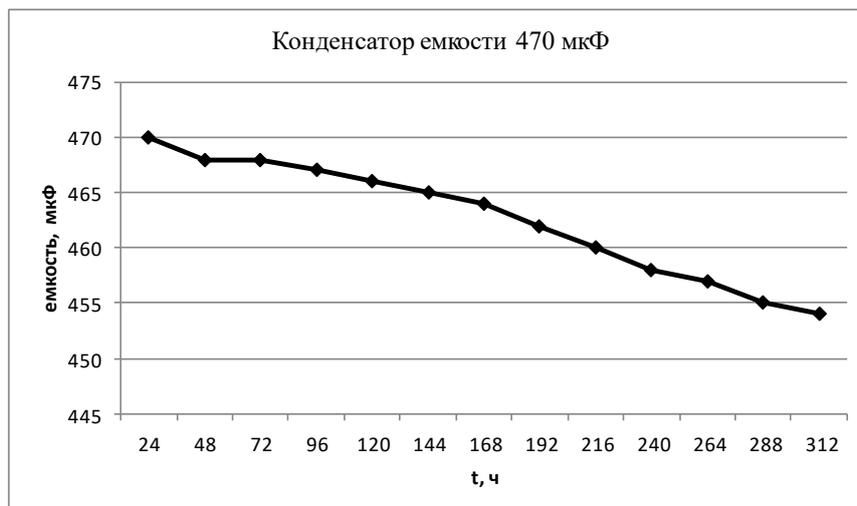


Рис. 3 – График изменения емкости конденсатора с течением времени

Добавим на график допустимый интервал $\pm 10\%$ (423 мкФ, 517 мкФ) от номинальной емкости 470 мкФ, рисунок 4. Как видно из графика, на протяжении первых 312 часов емкость не выходит из допустимого интервала. Анализируя график изменения (падения) емкости с течением времени и видя в нем экспоненциальную зависимость [8-12], можно сделать прогнозирование: время от начала испытаний, когда емкость конденсатора выйдет из допустимого (доверительного интервала) рисунок 5.

Как видно из графика, на протяжении первых 312 часов емкость не выходит из допустимого интервала. Анализируя график изменения (падения) емкости с течением времени и видя в нем экспоненциальную зависимость [8-12], можно сделать прогнозирование: время от начала испытаний, когда емкость конденсатора выйдет из допустимого (доверительного интервала).

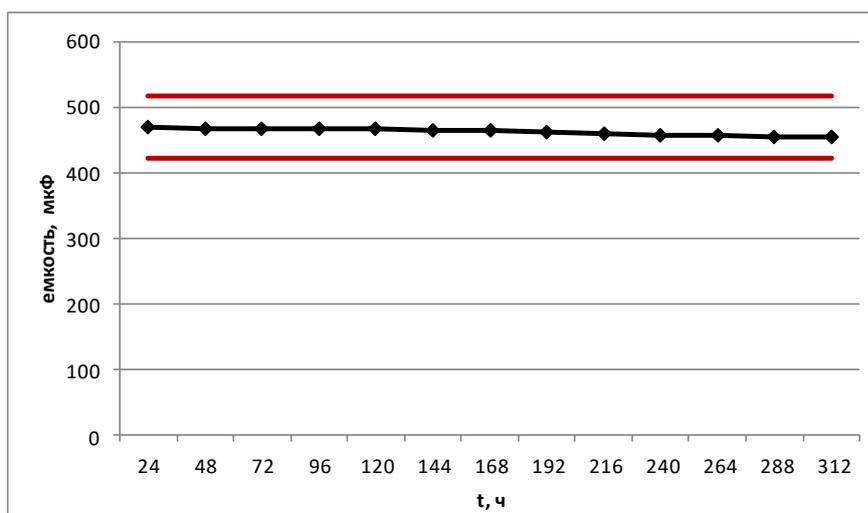


Рис. 4 – График изменения емкости с допустимым интервалом

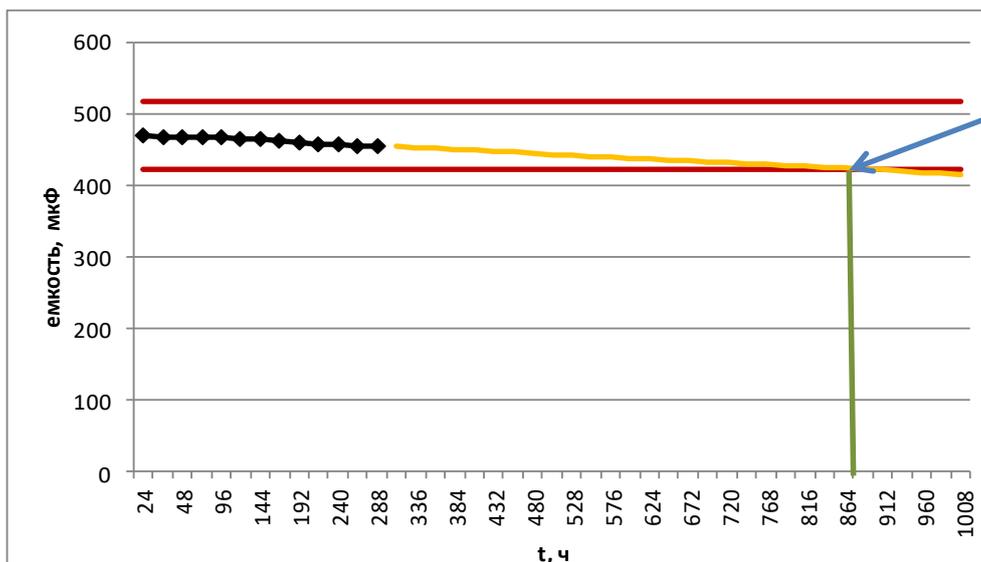


Рис. 5 – Прогнозирование выхода емкости конденсатора из допустимого интервала

Таким образом, вычисляя емкость конденсатора и делая прогнозирование выхода его емкости за границы допустимого интервала, можно определить время жизни (*life time*) и среднюю наработку на отказ (*MTBF*) конденсатора для оценки его качества и надежности в процессе эксплуатации.

Список цитируемой литературы

1. Большой энциклопедический словарь. Политехнический. 4 - е (репринтное) издание. Гл.ред.: А. Ю. Ишлинский. – М.: Большая Российская энциклопедия. 1998. – 656 с.
2. В.Г. Герасимов, Э.В. Кузнецов, О.В. Николаева и др. Электротехника и электроника: кн. 1 – М.: Энергоатомиздат. 1996. – 288 с.
3. Tortai J-H., Denat A., Bonifaci N. Self-healing of capacitors with metallized film technology: experimental observations and theoretical model. *Journal of Electrostatics*, 2001, vol. 53, no. 2, pp. 159-169.
4. Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренко Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭС: Справ. Беларусь, 1994. 335с
5. Schneider, M.A., Macdonald, J.R., Schalnat, M.C., Ennis J.B. Electrical breakdown in capacitor



- dielectric films: Scaling laws and the role of self-healing. IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference. San Diego, CA, 2012. pp. 284 –287.
6. М.Н. Мальков, В.Н. Свитенко. Устройства функциональной радиоэлектроники электрорадиоэлементы: конспект лекций. Часть 1 / - Харьков: ХИРЭ 2002. - 140с.
 7. Aluminum Electrolytic Capacitor Introduction of Life Calculation Formula // TEAPO. February, 2014
 8. Schneider, M.A., Macdonald, J.R., Schalnath, M.C., Ennis J.B. Electrical breakdown in capacitor dielectric films: Scaling laws and the role of self-healing. IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference. San Diego, CA, 2012. pp. 284 –287.
 9. К.Ю. Соломенцев, В.И. Лачин, А.А. Ховпачев, Я.К. Соломенцев. Измеритель малых токов для исследования токов абсорбции в диэлектриках // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2019. – №3 – 69 с
 10. К.Ю. Соломенцев, В.И. Лачин, А.А. Ховпачев, Я.К. Соломенцев. Применение низкочастотного сигнала для пофидерного контроля изолированных от земли сетей // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2019. – №3 – 70 с.
 11. К.Ю. Соломенцев, В.И. Лачин, И.В. Хоружий, В.А. Ильчуков. Источник напряжения для испытания устройств контроля изоляции // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2019. – №3 – 71 с
 12. В.И. Лачин, К.Ю. Соломенцев, И.В. Хоружий, А.В. Чернявский. Повышение точности измерителя сопротивления изоляции // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России», 2019. – №3 – 72 с.