

второго – 132,1 мкОм, третьего – 117,6 мкОм. Таким образом, можно сделать вывод, что исследуемый разъединитель РЛНД-1-10П/200 не соответствует требованиям ГОСТ Р 52726–2007, по которым максимально допустимым является сопротивление замкнутых главных контактов, равное 120 мкОм.

Далее были рассчитаны потери в контактах разъединителя, которые наблюдались бы при протекании через него номинального тока $I = 200$ А. Потери рассчитывались без учета повышения сопротивления при нагревании контактов из-за протекающего тока по формуле

$$P_{\text{потр}} = I^2(R_1 + R_2 + R_3), \quad (2)$$

где $R_1 - R_3$ – значения сопротивлений главных контактов разъединителя.

В результате суммарные потери составили 15,5 Вт.

Тогда годовые потери электроэнергии вычисляются по формуле

$$W = P_{\text{потр}} t_{\text{г}} = 15,5 \cdot 8760 = 135,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

где $t_{\text{г}}$ – количество часов в году, равное 8760.

В финансовом выражении это эквивалентно 32,7 бел. руб. (при стоимости – 0,2459 бел. руб. за 1 кВт·ч. Исходя из данных расчетов можно сделать вывод о том, что разъединители имеют достаточно низкие энергетические потери, но это не отменяет важности контроля их сопротивлений.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ В ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Р. Ш. Шипецкий

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Д. И. Зализный

Рассмотрены два вида алгоритмов расчёта активной мощности в программном обеспечении современных измерительных приборов: с разложением в ряд Фурье и без этого разложения. Показано, что при выполнении условий теоремы Котельникова эти алгоритмы практически равноценны, однако второй тип алгоритма значительно менее требователен к вычислительным ресурсам измерительного прибора.

Ключевые слова: активная мощность, алгоритм, ряд Фурье, период дискретизации, точность.

Существует два метода расчета активной мощности нагрузки электрической сети по измеренным значениям напряжения и тока:

– на основе действующих значений напряжения и тока с разложением в ряд Фурье;

– на основе мгновенных значений напряжения и тока.

В рамках первого метода расчет выполняется за один период напряжения сети T по формуле

$$P = \sum_{j=1}^k \frac{U_{m,j}}{\sqrt{2}} \frac{I_{m,j}}{\sqrt{2}} \cos(\Delta\varphi_j), \quad (1)$$

где j – номер гармонической составляющей; k – количество учитываемых гармонических составляющих; U_{mj} , I_{mj} – амплитудные значения соответственно j -й гармонической составляющей напряжения и тока; $\Delta\varphi_j$ – разность фаз j -х гармонических составляющих напряжения и тока.

По второму методу расчетная формула записывается следующим образом:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt, \quad (2)$$

где T – период напряжения электрической сети; $u(t)$, $i(t)$ – соответственно мгновенные значения напряжения и тока.

Для того чтобы использовать формулу (2) в программном обеспечении измерительного прибора, необходимо от интеграла перейти к приближенной сумме:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt \approx \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n U_i I_i \Delta t = \frac{\Delta t}{T} \sum_{i=1}^n U_i I_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i I_i, \quad (3)$$

где i – номер отсчета (выборки) в процессе дискретизации напряжения и тока; n – количество отсчетов (выборок) за период T ; Δt – период дискретизации; U_i , I_i – соответственно отсчеты (выборки) напряжения и тока.

Для сравнения точности алгоритмов (1) и (3) выполним имитационное моделирование в пакете Mathcad. Будем задавать различные значения периода дискретизации Δt и сравнивать результаты расчетов по формулам (1), (3) с исходным значением, полученным по формуле (2).

В качестве исходных данных примем сумму трех гармонических составляющих (первой, третьей и седьмой) для напряжения и для тока в соответствии со значениями, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Параметры исследуемых сигналов

Частота гармоники, Гц	50	150	250
U_m , В	300	10	5
φ_U , град	0	0	0
I_m , А	5	2	1
φ_I , град	-30	-10	10

Параметры гармонических составляющих подбирались таким образом, чтобы полученные диаграммы напряжения и тока по форме соответствовали реальным: напряжение – близким к наблюдаемому в ГГТУ им. П. О. Сухого, а ток – прибли-

тельно таким, который потребляют электронные приборы. Полученные диаграммы показаны на рис. 1.

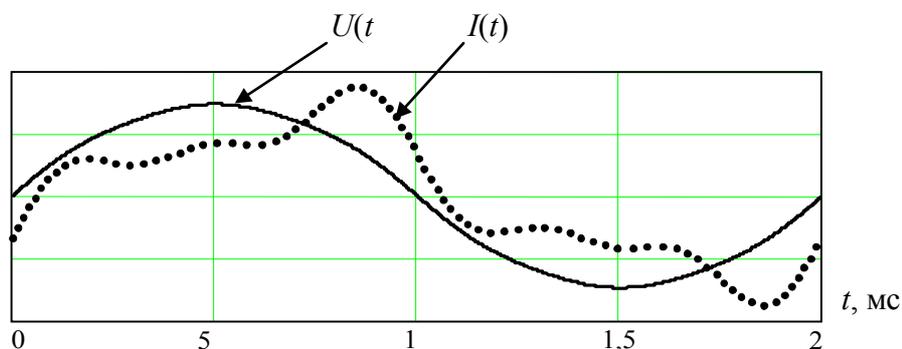


Рис. 1. Исследуемые сигналы тока и напряжения

Для исследований влияния значения периода дискретизации на результаты расчетов в программе Mathcad вначале были получены кривые, показанные на рис. 1, за период сети 20 мс. Затем при меньших значениях n выполнялись выборки значений напряжения и тока с требуемым периодом дискретизации, далее проводилось разложение полученных сигналов в ряд Фурье. После этого проводился расчёт активной мощности по алгоритмам (1) и (3). Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета активной мощности

n	10000	100	10	5	4
P по алгоритму (1), Вт	661,823	661,817	659,306	1318	1481
P по алгоритму (3), Вт	661,823	661,817	659,305	659,245	493,529

Из табл. 2 следует, что если выполняются требования теоремы Котельникова, т. е. количество точек на период n в процессе дискретизации в два раза и более превышает номер учитываемой высшей гармоники, то погрешности расчета незначительны по обоим алгоритмам. В рассматриваемом примере учитывается пятая высшая гармоника и достаточно получить только 10 точек на период, что и подтверждается данными в табл. 2. При снижении значения n ниже требований теоремы Котельникова алгоритм (3) оказывается более точным.

Итак, окончательно можно сделать выводы, что алгоритмы (1) и (3) практически равноценны по точности расчетов вне зависимости от значения периода дискретизации, если выполняются условия теоремы Котельникова. Однако несомненным преимуществом алгоритма (3) перед алгоритмом (1) является отсутствие необходимости выполнять разложение в ряд Фурье, что значительно повышает скорость расчетов и снижает требования к аппаратной части измерительного прибора.

Литература

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1996. – 638 с.

2. Зализный, Д. И. Микроэлектронные и микропроцессорные устройства в энергетике : учеб. пособие / Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 194 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СВЕТОДИОДОВ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

К. А. Агунович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: А. И. Кравченко, Т. Н. Савкова

Получено выражение для расчета остаточного ресурса светодиодов осветительной установки. Проведен расчет остаточного ресурса светодиода для температур активной области в диапазоне 85–150 °С при токах инжекции от 0,35 до 0,7 А. Показано, что нормированное, гарантированное значение срока службы 50000 ч соответствует режиму работы светодиода при токе инжекции 0,375 А с температурой перехода около 91 °С.

Ключевые слова: остаточный ресурс, срок службы, светодиод, температура активной области, ток инжекции, осветительное устройство.

Надежность и срок службы светодиодных осветительных устройств зависят от различных факторов. К наиболее важным из них следует отнести влажность, температуру, ток и напряжение питания, механическое и химическое воздействия, световое излучение. Один или несколько факторов могут привести к полному отказу осветительного устройства или повлиять на характеристики старения в долгосрочной перспективе и таким образом вызвать изменение надежности и срока службы светодиодных источников света. Определение остаточного ресурса светодиодной осветительной установки в реальном времени может повысить эксплуатационную надёжность систем освещения, а также позволит своевременно осуществлять их замену. Для оценки срока службы светодиодов (СД) на основе предложенной в [1–3] методики учета остаточного ресурса СД в осветительной установке рассматривались различные режимы работы СД ARPL-3W6000

Чтобы спрогнозировать остаточный ресурс светодиодов светодиодной осветительной установки (ОС), используем коэффициент оптического и теплового износа f_i , который находится по выражению

$$f_i = \frac{E_{\Delta t_i}}{E_{\text{норм}}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{норм}}$ – нормированное значение срока службы СД; $E_{\Delta t_i}$ – значение остаточного ресурса светодиодной осветительной установки за период дискретизации по закону Аррениуса для i -го измерения.

Тогда время выработки светодиодной осветительной установки за период дискретизации Δt_i равно:

$$E_{\text{выпр}i} = \frac{\Delta t_i}{f_i}. \quad (2)$$

Остаточный ресурс определяем по выражению