

УДК 621.316.925

## ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Кандидаты техн. наук, доценты НОВАШ И. В., МАЗУРЕНКО А. А.,  
инж. КУЦЫЛО А. В.

*Белорусский национальный технический университет*

Метод математического моделирования и вычислительного эксперимента широко применяется в настоящее время для исследования режимов работы сложных электронных и электротехнических устройств и систем. Актуальность этого метода исследования возрастает с использованием компьютерных систем динамического моделирования (Electronics Workbench, MatLab), а также математических пакетов, таких как Mathematica и MathCad. Использование математических пакетов позволяет значительно упростить компьютерные программы вычислительного эксперимента. Нет надобности включать в компьютерные программы блоки (подпрограммы) для выполнения различных вспомогательных функций по обработке получаемых в ходе вычислительного эксперимента расчетных данных: построения графиков расчетных функций, проведения гармонического анализа и т. д. Достаточно записать результаты расчетов во внешний файл данных и проводить обработку полученной информации с помощью стандартных математических пакетов.

В настоящей работе рассматривается методика проведения гармонического анализа функций тока, напряжения (и других функций), получаемых в ходе вычислительного эксперимента и сохраняемых во внешнем файле данных программой пользователя, реализующей расчет режимов исследуемой установки методом математического моделирования. В файле данных результаты расчетов хранятся в виде массивов численных значений функций (мгновенных значений токов, напряжений и др.) для соответствующих расчетных моментов времени. Построение графиков расчетных функций и гармонический анализ проводится в среде математического пакета MathCad после считывания информации из внешнего файла данных с результатами расчета вычислительного эксперимента.

Математический пакет MathCad [1] – это мощная программная среда. Она позволяет выполнять математические вычисления различной сложности – от простой арифметики до интегрального и дифференциального исчисления; визуализировать результаты расчетов в виде разных типов графиков, диаграмм, анимационных динамических роликов; осуществлять процедуры интерполяции, аппроксимации данных и множество других операций по обработке и исследованию дискретных и непрерывных функций.

Как и во многих программных продуктах с большими наборами библиотечных встроенных функций и процедур, в MathCad существует воз-

возможность реализовать задачу различными способами. Рассмотрим один из вариантов проведения гармонического анализа расчетных функций, сохраненных во внешнем файле в виде массивов численных значений.

Для примера воспользуемся результатами расчета токов и напряжений трехфазного мостового тиристорного преобразователя с автоматической стабилизацией выходного тока при работе на дуговую нагрузку. Компьютерная программа вычислительного эксперимента по расчету режимов работы блока «Питающая система – трехфазный трансформатор – мостовой трехфазный тиристорный преобразователь со стабилизацией тока нагрузки – электродуговая установка постоянного тока» позволяет рассчитать на заданном интервале времени мгновенные значения напряжения на выходе преобразователя, напряжения на дуге и тока нагрузки (электрической дуги постоянного тока). Результаты расчетов сохраняются во внешнем файле данных «Rez.dat».

Проведение гармонического анализа какой-либо функции из внешнего файла данных проводится в среде MathCad в три этапа:

1-й этап: считывание информации из внешнего файла в массив среды MathCad;

2-й этап: преобразование массива мгновенных значений расчетной функции в непрерывную функцию времени  $y(t)$ ;

3-й этап: выполнение гармонического анализа полученной функции  $y(t)$ .

Рассмотрим выполнение каждого этапа в отдельности.

Для выполнения 1-го этапа в среде MathCad имеется встроенная функция READPRN («имя файла»), предназначенная для чтения данных из внешнего файла. Данные заносятся в массив с произвольным именем. Размерность массива по умолчанию соответствует количеству функций, записанных в файле данных с учетом значений моментов времени расчетного интервала. Так, если в файле данных записаны четыре расчетные функции

и временной интервал, то массив  $d$  в MathCad будет иметь размерность 5 (рис. 1).

	1	2	3	4	5
1	0.0242	647.21	64.72	-183.52	2.3
2	0.0244	676.04	67.6	423	2.28
3	0.0246	710.85	71.09	489.65	2.27
4	0.0248	741.18	74.12	451.35	2.25
5	0.025	766.93	76.69	411.47	2.24
6	0.0252	788.04	78.8	368.69	2.24
7	0.0254	804.45	80.44	324.46	2.23
8	0.0256	816.12	81.61	279.17	2.23
9	0.0258	823.05	82.31	234.27	2.23
10	0.026	825.23	82.52	186.23	2.24
11	0.0262	822.69	82.27	138.82	2.24
12	0.0264	815.46	81.55	90.81	2.24
13	0.0266	803.6	80.36	42.66	2.24
14	0.0268	787.19	78.72	-6.57	2.24
15	0.027	766.31	76.63	-55.51	2.24
16	0.0272	741.08	74.11	-447.35	...

Результат считывания информации из файла данных может быть представлен в виде графиков расчетных функций (рис. 2).

Выполнение 2-го этапа требует наличие двух одномерных массивов:

- $ik$  – массив мгновенных значений расчетной функции, например тока дуги (в данном случае 100 значений);

- $tk$  – массив, содержащий номера расчетных точек интервала времени, на котором проводился расчет (в данном случае от 1 до 100 через 1).

Рис. 1. Фрагмент массива  $d$  с численными значениями расчетных функций из файла данных

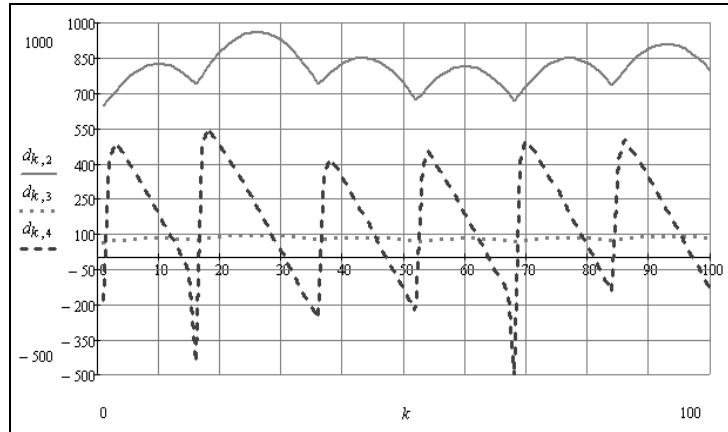


Рис. 2. Графики расчетных функций из файла данных «Rez.dat»:  $d_{k,2}$  – ток нагрузки преобразователя (дуги);  $d_{k,3}$  – напряжение на дуге;  $d_{k,4}$  – то же на выходе преобразователя

Для формирования непрерывной функции  $i(t)$  в MathCad используются библиотечные функции кубической сплайновой аппроксимации  $s = cspline(tk, ik)$  и интерполяции  $i(t) = interp(s, tk, ik, t)$ .

На рис. 3 показаны процедуры формирования непрерывной функции тока  $i(t)$ , его график и точечный график мгновенных значений тока  $ik(tk)$ .

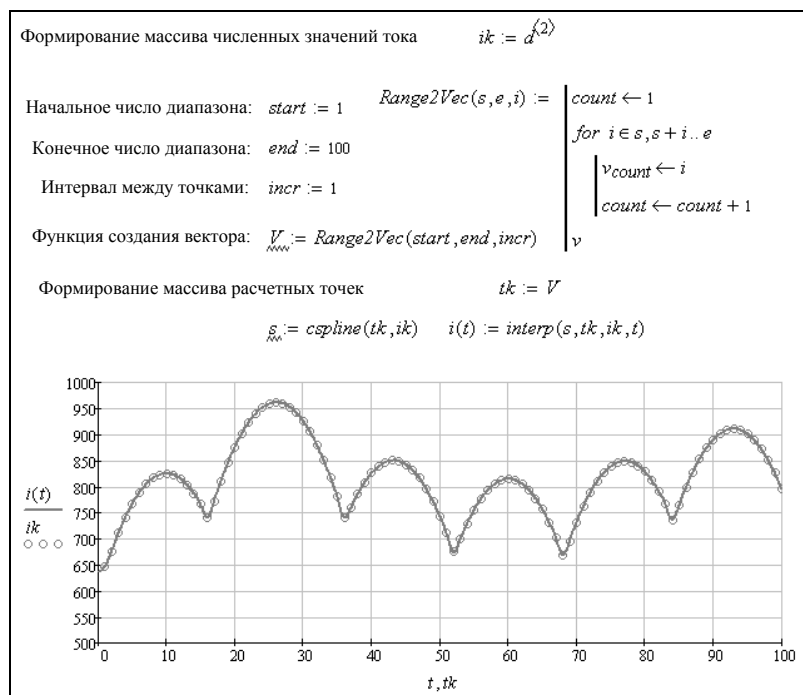


Рис. 3. График непрерывной функции тока  $i(t)$  и точечный график мгновенных значений тока  $ik(tk)$

На 3-м этапе гармонический анализ выполняется по формулам нахождения гармонических составляющих через синусные и косинусные гармо-

ники [2]. Процедуры выполнения гармонического анализа в MathCad показаны на рис. 4.

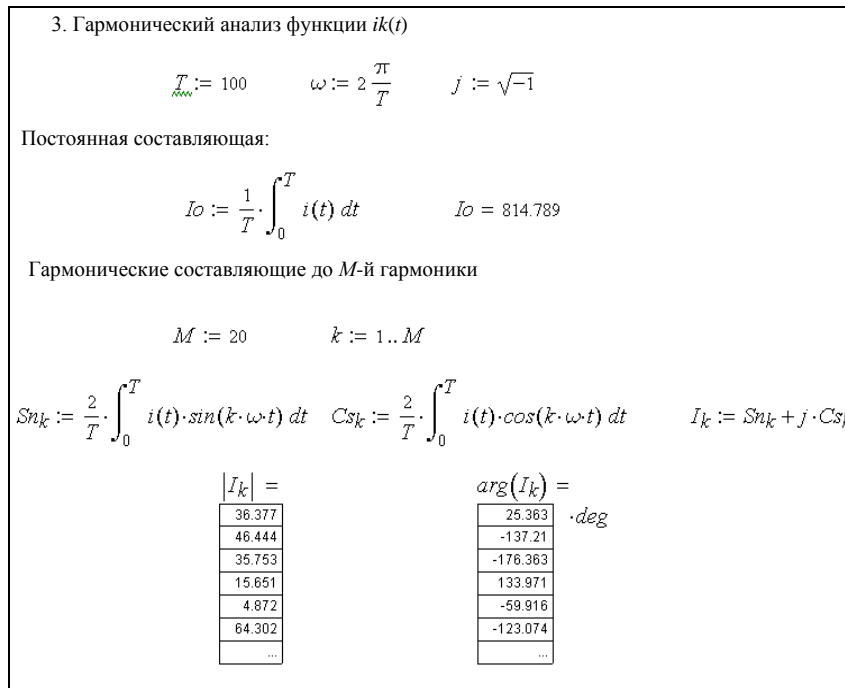


Рис. 4. Гармонический анализ функции тока  $i(t)$

Для проверки выполнения гармонического анализа можно построить совмещенные графики: исходной функции  $i(t)$  и функции, полученной путем суммирования гармонических составляющих  $ir(t)$ .

Сопоставление графиков  $i(t)$  и  $ir(t)$  при  $M = 20$  представлено на рис. 5.

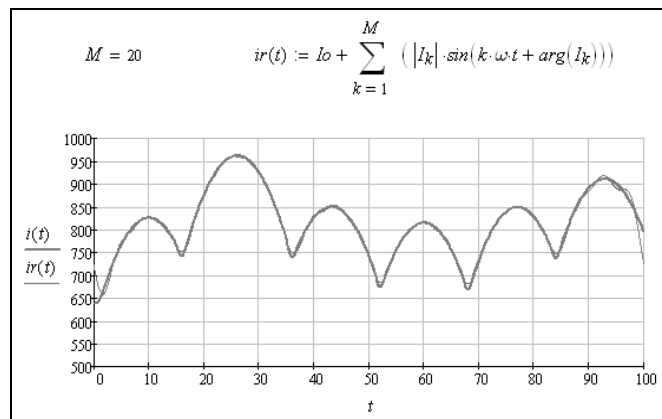


Рис. 5. Графики тока  $i(t)$  и  $ir(t)$  при  $M = 20$

При уменьшении числа гармонических составляющих различие в графиках  $i(t)$  и  $ir(t)$  существенно возрастает. На рис. 6 приведены графики  $i(t)$  и  $ir(t)$  при  $M = 6$ .

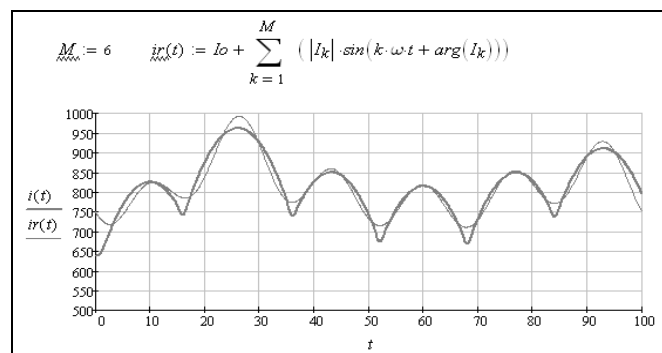


Рис. 6. Графики тока  $i(t)$  и  $i_r(t)$  при  $M = 6$

## ВЫВОДЫ

1. Предложена методика проведения гармонического анализа в среде MathCad расчетных функций, полученных в ходе вычислительного эксперимента с помощью пользовательских компьютерных программ и сохраненных во внешнем файле данных.

2. Выполнен гармонический анализ массива расчетных значений тока дуги тиристорного преобразователя и проведено сопоставление результатов гармонического состава с исходной функцией тока.

3. Результаты сопоставления гармонического состава с исходной функцией тока показывают работоспособность разработанной методики и ее реализации в среде MathCad.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров, Е. Г. MathCad: учеб. курс (+CD) / Е. Г. Макаров. – СПб.: Питер, 2009. – 384 с.
2. Теоретические основы электротехники: учеб. для вузов: в 3 т. / К. С. Демирчан [и др.]. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – Т. 1. – 462 с.

Представлена кафедрой  
электротехники и электроники

Поступила 31.01.2011

УДК 621.314.1

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ И ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Инж. АЛЕКСАНДРОВСКИЙ С. В., канд. техн. наук, доц. ПЕТРЕНКО Ю. Н.

*Белорусский национальный технический университет*

Вентильно-индукторный двигатель (ВИД) представляет интерес для использования в различных областях (станкостроении, приводах стиральных машин и электроинструмента и др.). Наиболее широко ВИД применяется в качестве привода для легких транспортных средств. Основные пре-