

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Смирнова М.А.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Введение

Одним из направлений повышения эффективности функционирования современных технических систем является совершенствование методов управления на основе математического моделирования процессов их функционирования. В связи с этим весьма актуальны задачи совершенствования методик исследования, математического описания и анализа параметров систем, с том числе систем механообработки.

Использование в современных системах механообработки измерительных комплексов с аналогово-цифровыми преобразователями существенно расширяет возможности исследований параметров процесса резания. Математический аппарат анализа сигналов весьма обширен и широко применяется на практике.

В работе [1] на основании корреляционного и спектрального анализа решаются задачи исследования влияния электродвижущей силы – ЭДС резания на шероховатость обработанной поверхности.

В работах [2, 3] предлагается способ определения гармонического состава сигналов (токов и напряжений), возникающих при измерении сил и температур резания в установившихся и переходных режимах. В результате выполненных исследований обоснована возможность расширения области применения известной в электрических системах методики определения гармонического состава фазных токов и напряжений [4] для определения гармонического состава сигналов, полученных с помощью натуральных осциллограмм при измерении сил и температур резания. В результате расчетов определяются значения постоянной составляющей и коэффициентов ряда Фурье, что позволяет дать математическое описание исследуемых сигналов с заданной точностью, а также с помощью коэффициента несинусоидальности устанавливается вклад каждой гармоники в результирующий сигнал.

Однако, в представленных методиках обработки сигналов, возникающих при измерении ЭДС, сил и температур резания, недостаточное внимание уделяется возможности сравнительного анализа их гармонического состава в зависимости от условий механообработки. Представляет интерес дальнейшее развитие указанной методики и расширения области ее применения для различных условий функционирования системы резания.

Целью работы является совершенствование методики оценки гармонического состава токов и напряжений для исследования и математического описания сигналов, полученных с помощью натуральных осциллограмм при измерении параметров процесса резания в различных условиях механообработки.

Основное содержание и результаты работы

Основной параметр процесса резания, исследуемый в работе – ЭДС, представляемая в виде осциллограмм, полученных при измерениях на токарном станке с ЧПУ 16K20Ф3 с помощью аналогово-цифрового преобразователя модели ADC-16 (PicoLog Ltd. Company), тензометрического усилителя ТА-5, тензометрических датчиков.

Осциллограммы, используемые в качестве исходных данных для исследования гармонического состава сигналов, на которых зарегистрированы мгновенные значения напряжений, возникающих при измерении ЭДС резания, представлены на рис.1. Осциллограммы характеризуют различные варианты обработки (1 вариант характеризует ЭДС при износе по задней поверхности лезвия $h_1 = 0,05$ мм – E_1 ; 2 вариант – $h_2 = 0,15$ мм – E_2 ; 3 вариант – $h_3 = 0,17$ мм – E_3).

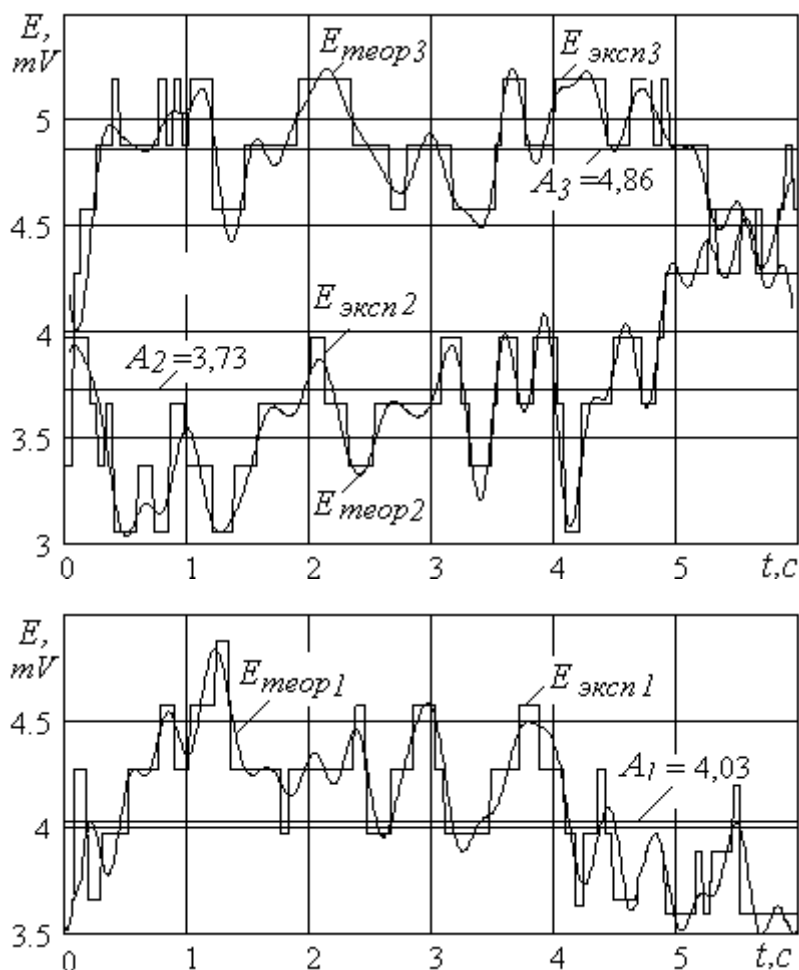


Рис.1. Исходные осциллограммы ЭДС – $E_{эксп}$ и их гармонический состав по результатам разложения в ряд Фурье – $E_{теор}$ для различных вариантов обработки

В работе выполнено разложение напряжений, возникающих при измерении ЭДС резания, на гармонические составляющие, а также определены коэффициенты несинусоидальности, позволяющих оценить степень влияния отдельных гармонических на результирующий сигнал.

Известно, что несинусоидальная периодическая функция может быть представлена в виде составляющих ряда Фурье [1]. Анализ осциллограмм сил, возникающих в процессе резания металлов, позволяет выявить периодический характер изменения этих сил и применить методику [1].

На выбранном интервале времени исходная величина (ток, напряжение) представляется в виде ряда Фурье:

Осциллограммы получены для следующих условий обработки: обрабатываемый материал – сталь 45; инструментальный материал Т5К10; диаметр обработки $d = 45$ мм; режимы обработки: глубина резания $t = 1$ мм; подача $s = 0.4$ мм/об; скорость резания $v = 80$ м/мин, частота вращения $n = 200$ с⁻¹.

На этом же рис. 1 представлены графики результирующей ЭДС $E_{теор}$, полученной по результатам разложения в ряд Фурье путем суммирования мгновенных значений напряжений. Представленные экспериментальные и теоретические графики ЭДС свидетельствуют о достаточно хорошем их совпадении (погрешность не превышает 10%).

$$i(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \cos(k\omega t - \varphi_k) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos k\omega t, \quad (1)$$

где A_0 – постоянная составляющая, определяемая как среднее значение n дискретно выделенных величин на интервале:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} i(t) dt \approx \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n i_s(t); \quad (2)$$

I_{mk}, φ_k – амплитудное значение и начальная фаза тока (напряжения) k -й гармоники;

$$B_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} i(t) \sin(k\omega t) dt \approx \frac{2}{n} i\left(s \frac{T}{n}\right) \sin\left(ks \frac{T}{n}\right); \quad (3)$$

$$C_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} i(t) \cos(k\omega t) dt \approx \frac{2}{n} i\left(s \frac{T}{n}\right) \cos\left(ks \frac{T}{n}\right).$$

Здесь период T делится на n равных интервалов и в каждой точке деления вычисляются ординаты $i(sT/ns)$, полагая $s = 1, 2, 3, \dots, n$. Зная B_k и C_k , можем найти амплитуду и начальную фазу k -й гармоники:

$$I_{mk} = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}; \quad \varphi_k = \arctg(B_k / C_k). \quad (4)$$

Теперь представляется возможным сформировать выражения для мгновенных комплексных значений периодических составляющих токов (напряжений) для каждой гармоники:

$$\underline{imgn}_{k_s} = I_{mk} (\cos(k\omega t_s - \varphi_k) + j \sin(k\omega t_s - \varphi_k)).$$

Далее можно найти значение коэффициента несинусоидальности $K_{НС}$ [4]:

$$K_H = 100 I_k / I_{НОМ}; \quad (7)$$

где $I_{НОМ}$ – действующее значение тока (напряжения): $I_{НОМ} = \sqrt{\sum_{s=1}^n i_s(t)^2 / n}$;

I_k – действующее значение тока (напряжения) k -й гармоники: $I_k = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{s=1}^n \left(\text{Re}(\underline{imgn}_{k_s}) \right)^2}$.

Адекватность предложенного метода оценивается по степени совпадения исходной кривой сигнала с результирующей кривой, полученной по сумме гармонических составляющих.

По предложенному алгоритму разработана программа, позволяющая разложить исходную кривую тока (напряжения) в ряд Фурье с различным количеством гармоник и рассчитать коэффициент несинусоидальности.

Результаты расчета коэффициента несинусоидальности K_H для 30 гармоник представлены на рис.2. Визуальное сравнение представленных графиков, как по постоянным составляющим, так и по структуре гармонического ряда и степени влияния на результирующий сигнал, не позволяет установить их сходство или различие.

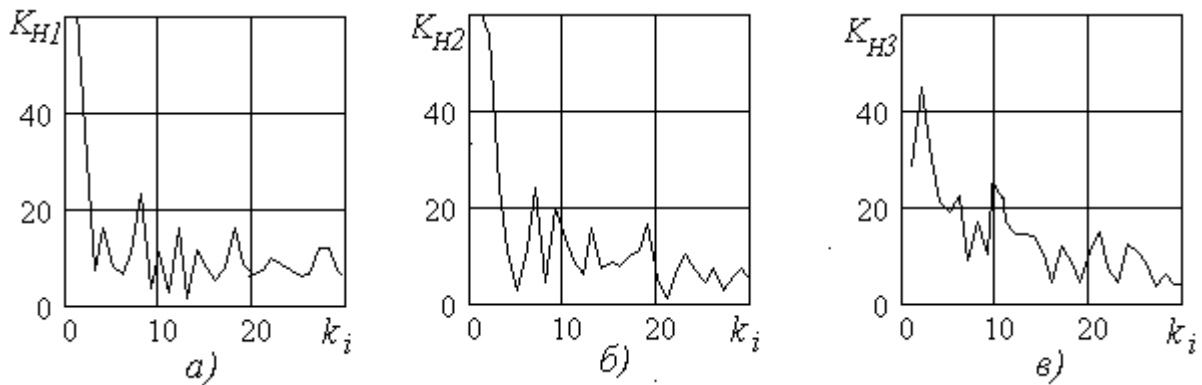


Рис. 2. Графики коэффициентов несинусоидальности для различных вариантов:
 а) – 1 вариант обработки при износе по задней поверхности лезвия $h_1 = 0,05$ мм – K_{H1} ;

Для сравнительного анализа структуры гармонического ряда в настоящей работе предлагается ввести относительный коэффициент несинусоидальности K_o , представляющий собой отношение оцениваемого коэффициента несинусоидальности K_H к коэффициенту, принятому за базу для сравнения $K_{Hбаз}$:

$$K_o = K_H / K_{Hбаз} , \quad (4)$$

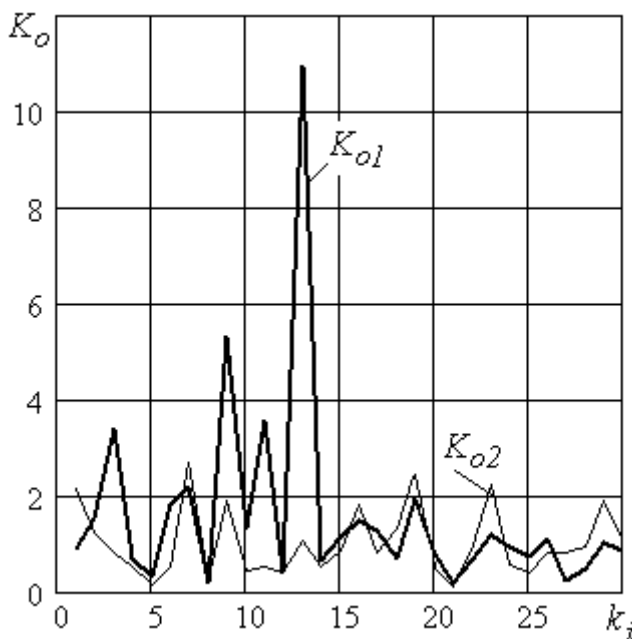


Рис. 3. Графики относительных коэффициентов несинусоидальности для различных вариантов:
 сравнение 2 – го варианта с 1 – K_{o1} ;
 сравнение 2 – го варианта с 3 – K_{o2}

На рис. 3 приведены графики относительных коэффициентов несинусоидальности для различных вариантов механообработки.

В первом случае сравнивается коэффициент несинусоидальности, характеризующий обработку при износе по задней поверхности лезвия $h_2 = 0,15$ мм с обработкой неизношенным лезвием инструмента при $h_1 = 0,05$ мм:

$$K_{o1} = K_{H2} / K_{H1} .$$

Во втором случае сравнивается тот же коэффициент несинусоидальности с обработкой инструментом при износе $h_3 = 0,17$ мм:

$$K_{o2} = K_{H2} / K_{H3} .$$

Графики относительных коэффициентов несинусоидальности для первого варианта K_{o1} свидетельствуют о том, что для 13 гармоники его значение существенно превышает остальные, то есть степень влияния этой гармоники на результирующий сигнал весьма значительна и отражает характерные изменения, связанные с особенностями сравниваемых вариантов, отличавшихся существенным различием в износе задней поверхности лезвия инструмента.

Для второго варианта значения относительных коэффициентов несинусоидальности K_{o2} отличаются весьма незначительно и имеют среднее значение, близкое к 1, что свидетельствует об отсутствии существенных различий сравниваемых вариантов по структуре гармонического ряда, что вполне соответствует практически равным значениям износа задней поверхности лезвия инструмента.

Таким образом, на основании предложенного относительного коэффициента несинусоидальности K_o может быть осуществлен сравнительный анализ структуры гармонического ряда параметров процесса резания при различных вариантах и условиях обработки.

Выводы

На основании предложенного относительного коэффициента несинусоидальности усовершенствована методика оценки гармонического состава токов и напряжений для исследования и математического описания сигналов, полученных с помощью натурных осциллограмм при измерении параметров процесса резания в различных условиях механообработки.

С применением усовершенствованной методики выполнена сравнительная оценка гармонического состава и коэффициента несинусоидальности для напряжений при измерении ЭДС резания для вариантов обработки с различными значениями износов по задней поверхности лезвия инструмента.

Предложенная методика может найти широкое применение для анализа закономерностей формирования параметров процесса резания, а также моделирования и управления процессами механообработки в целом.

Список литературы: 1. Матвиенко А.В., Феник Л.Н. К вопросу о влиянии ЭДС резания на шероховатость обработанной поверхности // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Вып. 32. – С.74-77. 2. Смирнова М.А. Определение гармонического состава токов и напряжений при измерении сил резания в механообработке // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 4 (124). – Донецьк, ДонНТУ, 2007. – С.49-55. 3. Смирнова М.А., Матвиенко А.В., Ивченко Т.Г. Применение методики определения гармонического состава сигналов при анализе параметров процесса резания // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип.21. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – С.312-318. 4. Сивокобыленко В.Ф., Меженкова М.А. Метод определения мгновенных значений симметричных составляющих токов и напряжений в переходных режимах // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів: Львівська політехніка, №403. – 2000. – С.149-156. 5. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 1/ Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 7-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ГАРМОНІЙНОГО СКЛАДУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

Смірнова М.А.

Удосконалена методика визначення миттєвих значень струмів (напруги) з будь-яким гармонійним складом, заснована на розкладанні в ряд Фур'є. Із застосуванням вказаної методики виконана оцінка гармонійного складу і коефіцієнта несінусоїдальності для струмів (напруги) при вимірюванні параметрів процесу різання.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Смирнова М.А.

Усовершенствована методика определения мгновенных значений токов (напряжений) с любым гармоническим составом, основанная на разложении в ряд Фурье. С применением указанной методики выполнена оценка гармонического состава и коэффициента несинусоидальности для токов (напряжений) при измерении параметров процесса резания.

PERFECTION OF ESTIMATION METHOD OF HARMONIC COMPOSITION OF CUTTING PROCESS PARAMETERS

Smirnova M.A.

The method of determination of instantaneous values of currents (voltages) with any harmonic composition based on decomposition in the row of Fure is improved. Using the indicated method the estimation of harmonic composition and nonsinusoidal coefficient for currents (voltages) at measuring of parameters of cutting process is executed.

Рецензент: д.т.н., проф. Гусев В.В.