

мов одним оператором при использовании автоматического режима управления;

– Современный подход и элементная база позволяют осуществлять коррекцию параметров под конкретные требования;

– Возможность управления станком в ручном или автоматическом режиме по желанию оператора;

– Данная система является адаптивной, существует возможность модификации системы для модернизации систем позиционирования на различных станках;

– Возможность эксплуатации станка операторами с различной квалификацией: как операторами с владениями навыками работы со станками с числовым программным управлением (ЧПУ), так и высококвалифицированными специалистами, профессиональные навыки и опыт которых позволяет им выполнять операции с высокой точностью в ручном режиме управления;

– Невысокая стоимость комплектующих элементов.

#### Текущая стадия проекта

Опытная конструкторско-технологическая работа с внедрением.

#### Потенциальные потребители

Металлообрабатывающие предприятия: организация оснастки металлообрабатывающих станков средствами автоматического управления.

Работа была выполнена на базе студенческой научно-исследовательской лаборатории полупроводниковой техники, организованной на кафедре «Информационно-измерительная техника и технологии» приборостроительного факультета.

#### Литература

1. Альперович Т.А., Константинов К.Н., Шапиро А.Я. Наладка и эксплуатация шлифовальных станков Учебник. – М.: Высшая школа, 1989. – 240 с.: ил.
2. Ашкиназий Я.М. Бесцентровые круглошлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка М.: Машиностроение, 2003. – 352 с.
3. Карабчиевский Л.П., Воскресенский Л.А. Автоматизация шлифовальных станков М.: Машиностроение, 1982. – 95 с.: ил.

УДК 621.396

### ОЦЕНКА СКОРОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ Шейников А.А.<sup>1</sup>, Исаев А.В.<sup>2</sup>, Зеленко В.В.<sup>2</sup>, Суходолов Ю.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Информацию о значениях физических величин внутри измерительной системы переносят измерительные сигналы. Эта информация может содержаться в совокупности некоторых мгновенных значений основного параметра сигнала, в статистических параметрах, если сигнал является случайным и т.д. В импульсных измерительных системах наиболее часто применяются частотные параметры сигнала. При этом для синтеза и анализа измерительных сигналов используется спектральный метод. Из теории преобразования Фурье известно, что отображение сигнала в частотной области верно для стационарных сигналов. Тем не менее, на практике спектральный анализ применяется на конечном интервале времени [1] и связан с квазистационарными измерительными сигналами [2]. Поэтому, нужна разработка математического аппарата, обеспечивающего однообразное описание спектров периодических и квазипериодических сигналов. Целесообразный путь достижения этой цели – анализ процесса формирования дискретного спектра из спектральной плотности при периодизации сигнала. При этом имеется

несколько подходов к представлению этого процесса. Так, из теоремы Котельникова [3] следует, что спектр непериодического сигнала можно найти, умножая спектр периодического сигнала на прямоугольную функцию в частотной области. Но практическая реализация точного преобразования спектральной плотности в дискретный спектр с помощью ряда Котельникова неосуществима. Дело в том, что сигнал с ограниченным спектром – это сигнал, продолжающийся бесконечно долго. При дискретизации этого сигнала будет получено бесконечное число отсчетов. Для восстановления исходного непрерывного сигнала, а, следовательно, и для получения дискретного спектра этого сигнала, надо учесть все отсчеты сигнала, что невозможно ввиду неограниченной длительности последнего. Второй подход к решению задачи состоит в получении периодической последовательности импульсов, представляющей собой сумму одиночных сигналов, равно задержанных на время  $t_3$  относительно друг друга [4]. К примеру можно рассмотреть сигнал последовательности радиоимпульсов (рисунк 1).

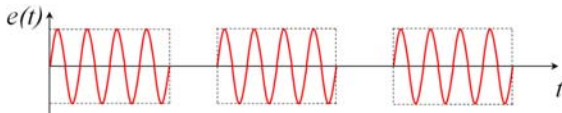


Рисунок 1 – Периодическая последовательность радиоимпульсов

Пользуясь теоремой о смещении, спектральную плотность сигнала суммы из двух радиоимпульсов  $S_2(j\omega)$ , задержанных относительно друг друга на время  $t_3$ , можно представить в виде произведения спектральной плотности исходного одиночного радиоимпульса  $S_1(j\omega)$  и коэффициента, учитывающего задержку между импульсами  $[1 + e^{j\omega t_3}]$ . Следовательно для спектральной плотности сигнала суммы из трех радиоимпульсов верно выражение:

$$S_m(j\omega) = S_1(j\omega)[1 + e^{j\omega t_3} + e^{j\omega 2t_3}], \quad (1)$$

а для спектральной плотности сигнала суммы из  $m$  радиоимпульсов:

$$S_m(j\omega) = S_1(j\omega)[1 + e^{j\omega t_3} + \dots + e^{j\omega(K-1)t_3}]. \quad (2)$$

Следует учитывать, что рассмотрение реального сигнала как периодического приведет к ненормируемой погрешности из-за конечности длительности измерительных процессов. Соответственно целесообразным является определение влияния погрешности формирования дискретного спектра в зависимости от числа повторений  $N$  при периодизации. С ростом числа импульсов во время периодизации в спектральной плотности сигнала образуется все больше нулей [5]. Так как каждый ноль спектральной плотности находится на определенной частоте, он является спектральной составляющей дискретного спектра, а сам спектр квазипериодического сигнала можно считать комбинированным, т. е. состоящим из участков спектральной плотности, разбитых спектральными составляющими с нулевой амплитудой. При увеличении количества нулей уменьшается расстояние между ними и растет спектральная плотность в области частот, кратных частоте периодизации, т.е. формируются гармоники будущего дискретного спектра. Другими словами, при периодизации происходит процесс преобразования спектральной плотности в дискретный спектр (рисунок 2).

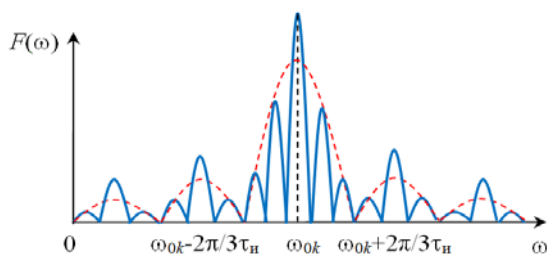


Рисунок 2 – Изменение формы спектральной плотности сигнала последовательности радиоимпульсов при увеличении их количества

Поэтому появляется необходимость введения классификационного критерия для определения периодических процессов. Таким критерием может быть длительность интервала времени, достаточного для установления между частотными компонентами соотношений, характерных для периодического процесса, с заданной точностью. С целью обоснования классификационного критерия надо рассмотреть влияние на спектр возмущения в виде скачкообразного изменения параметра импульсного процесса в момент времени  $t_0$ , считая, что до этого момента времени спектр был дискретным. В этом случае, в силу линейности преобразования Фурье [5], текущий спектр последовательности импульсов, подвергнутой изменению параметра (3), представляет собой сумму дискретного спектра невозмущенной последовательности импульсов и спектра возмущающего сигнала [6]:

$$F(\omega, \varepsilon) = F_0(\omega) \frac{\sin\left(\frac{N\omega T}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)} e^{-\frac{j(N-1)\omega T}{2}} + F_0[\omega, (\varepsilon - NT)]e^{-j\omega NT}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – частота следования импульсов в пачке,  $T$  – период следования пачек импульсов;  $N$  – количество импульсов в пачке;  $\varepsilon$  – любой конечный ряд.

Из этого следует, что скорость формирования всех частотных компонент (4) одинакова и опережается функцией:

$$\gamma(N) = \left| \frac{\sin\left(\frac{N\omega T}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)} \right|. \quad (4)$$

В связи с тем, что амплитуда и ширина основного лепестка этой функции однозначно определяется числом импульсов  $N$  в сигнале с измененным значением возмущенного параметра, для оценки завершенности процесса формирования гармоник спектра должно быть введено такое значение  $N = N_0$ , которое было бы связано с различными условиями фиксации параметров частотных компонентов.

Очевидно, что в случае фиксации изменений  $n$ -ной гармоники исходного сигнала из-за вариации контролируемого параметра следует соотносить ширину лепестка основного максимума кривой  $\left| \frac{\sin\left(\frac{N\omega T}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)} \right| = \varepsilon(\omega)$  с шириной резонансной кривой избирательной системы, применяемой для регистрации, на установленном уровне. Ориентируясь на избирательную систему типа «колебательный контур» [7] с шириной полосы пропускания  $2\Delta\omega = \frac{n\omega}{Q} = \frac{2\pi n}{QT}$  ( $Q$  – добротность) получено соотношение (5) для определения количества импульсов  $N_0$ , при котором ширина

основного лепестка анализируемой кривой на уровне  $0,707$  в  $\beta$  раз меньше ширины резонансной кривой на том же уровне:

$$N_0 = \frac{\beta Q}{\pi} \arcsin \left( 0,707 N_0 \sin \left( \frac{n\pi}{\beta Q} \right) \right). \quad (5)$$

Обоснованное значение  $\beta$  может быть выбрано с учетом связи времени переходного процесса с относительной шириной полосы пропускания (или добротности) избирательной системы, применяемой для регистрации. С учетом того, что время переходного процесса  $t_{\text{перех}} = \frac{5QT}{\pi}$ , можно получить:

$$0,707 N_0 = \frac{\sin \left( \frac{5N_0 T}{\beta t_{\text{перех}}} \right)}{\sin \left( \frac{5T}{\beta t_{\text{перех}}} \right)}. \quad (6)$$

Это выражение позволяет сравнить скорость формирования гармонических составляющих спектра сигнала со скоростью переходного процесса и найти условия, удовлетворяющие требованиям решаемой технической задачи.

Тем не менее полный ответ на вопрос о необходимом количестве импульсов  $N_0$  для установления процесса формирования частотных компонентов после возмущения может быть дан лишь на основе определения выходного напряжения избирательной системы с использованием обратного преобразования Фурье. Указание отсчетного уровня данного напряжения, соответствующего окончанию переходного процесса, позволяет с заданной точностью определить нужное число периодов регистрируемого процесса.

Принципиальная возможность вычисления  $N_0$  позволяет более определенно классифицировать детерминированные процессы по отношению к строгому понятию периодичности. Поэтому предлагается считать, что детерминированные процессы могут с заданной погрешностью считаться периодическими, если количество реализаций процесса с измененными значениями параметров  $N \geq N_0$ .

Результаты анализа результатов проведенного исследования актуализируют вопрос о более дифференцированном разделении процессов внутри категории периодических. Необходимость такого разделения определяется практикой измерительного преобразования.

#### Литература

1. Глинченко А.С. Цифровая обработка сигналов: в 2 ч. Ч. 1 / А.С. Глинченко. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2001. – 199 с.
2. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К.Б. Клаассен. – М: Постмаркет, 2000. – 352 с.
3. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов / В.С. Гутников. Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высш. шк., 2000. – 462 с.
6. Панфилов В.А. Электрические измерения / В.А. Панфилов. – М.: Академия, 2008. – 288 с.
7. Ревин В.Т. Преобразование и преобразователи измерительной информации: учеб. пособие: в 5 ч. – Ч.1 / В.Т. Ревин. – Минск: БГУИР, 2002. – 70 с.

УДК 621.313

### AUTOMATIC NAIL TRANSFER TO THE IMM ZONE SYSTEM

Kandratsyeva N.K., Pronchack A.N., Isayev A.V.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

Injection molding machine (IMM) also known as an injection press, is a machine used for the thermoplastics parts manufacturing by injection molding. Currently, more than a third of the world's single-piece products from polymer materials are produced using injection molding machines. The injection molding technology is ideally suited to the mass production of complex shapes, an important requirement for which is exact size matching [1].

The cycle time in the casting process varies widely – thin-walled products can be produced in a few seconds, castings weighing hundreds of kilograms can be produced in minutes.

Plastics remain one of the most popular materials used in almost any area of technology and med-

icine. This is one of the most common methods. The main reason for its prevalence is the injection molding machine low cost with the ability to obtain any geometric shape products. Metal, wood or glass are significantly more expensive, so they can compete with polymer materials only in narrow niches. By using IMM you are allowed to automate the manufacturing process as much as possible, to obtain high-precision products at a low cost.

This process automation takes place, since injection molding technology has many advantages over other methods. Let's list the most significant of them:

- minimum waste;
- high performance;
- accelerated technological process;