



Тромпет Г.М. г. Екатеринбург УГТУ-УПИ, кафедра технологии машиностроения

ВИБРОКОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В Уральском государственном техническом университете – УПИ ведутся работы по проектированию, исследованию, изготовлению и промышленной эксплуатации приборов управляющего контроля виброконтрактного принципа измерения.

У истоков применяемого метода вибрирующего измерительного щупа стояли Г.Л. Перфильев, А.С. Нечаев, В.В. Шушерин. Большую помощь в развитии этого метода оказал В.И. Сурков, признанный специалист в области автоматизированной измерительной техники, один из руководителей Челябинского завода измерительных приборов.

В последнее время (конец XX и начало XXI века) наше внимание было обращено на создание приборов управляющего контроля при обработке

прерывистых поверхностей и изготовлении деталей на многоцелевых станках и станках с параллельной кинематикой.

Использование вибрирующего измерительного щупа позволило увеличить контактную поверхность наконечника с измеряемой поверхностью (патент на изобретение №2270415 от 20.02.2006г.), что привело к возможности постоянного соприкосновения с деталью в процессе её обработки и имеющей большие разрывы обрабатываемой поверхности. Пример, поршневые кольца различных размеров, когда скорость перемещения деталей достигает 130 м/мин.

Большие скорости технологического перемещения деталей при бесцентровом шлифовании незначительно влияют на процесс измерения при использовании вибрирующего щупа (авт. свид. № 1348633), например, обработка деталей «Ось сателлита», имеющих радиальные отверстия и проточки. Такие приборы работают на отечественных станках, например, мод. 3М184 и зарубежных, например, мод. «САСЛ-125».

На многоцелевые и многофункциональные станки разработаны измерительные модули двухкоординатные (авт. свид. № 1245865) и трёхкоординатные (авт. свид. № 1409856), одноконтактные и двухконтактные (авт. свид. № 1229562). Основой этих модулей является первичный измерительный преобразователь в виде головки контакта (касания), головки отклонения и комбинированная конструкция (патент на изображение № 2284466 от 27.09.2006г.).

Приёмно-передающие устройства разработаны с учётом выходного сигнала первичного преобразователя частотой 100 Гц и напряжением до 6 В. При кабельной связи передача информации от подвижной части (инструментальный магазин - шпиндель станка) осуществляется через стыковочный узел автоматического соединения разъёма. Индуктивное бесконтактное устройство имеет малые габариты, но в процессе эксплуатации возникают изменения зазора, так как поверхности покрываются пылью, влагой, абразивной и металлической пылью. Первое радиопередающее устройство было

разработано в 80-х годах и явилось прообразом современных сотовых. Трудности были в выборе рабочей частоты, так как нужно было получить разрешение КГБ.

Для станков с параллельной кинематикой разработано устройство с первичным измерительным преобразователем комбинированной конструкции (патент на изобретение № 2284466 от 27.09.06 и решение о выдаче патента на изобретение № 2005121795 от 10.10.06). Комбинированная конструкция выполняет функции головки отклонения и головки контакта.

Все разработки внедрены на производстве. В этом столетии мы проводим заводские испытания систем управляющего контроля на том оборудовании, какое имеется на предприятиях (Тромпет Г.М., Федоров В.А., Александров В.А. Заводские испытания измерительного модуля на многоцелевом станке // Машиностроитель, № 7, 2005.) В настоящее время в Федеральном институте промышленной собственности находится четыре заявки о выдаче патента на изобретение.

ПРИБОР АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ВИБРОКОНТАКТНОГО ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ КАК ОПЕРАТОР ДИНАМИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Аннотация

В работе рассматривается преобразование информационного сигнала элементами прибора активного контроля (ПАК) с вибрирующим измерительным щупом. На основе математической модели ПАК приводится анализ влияния случайных помех на параметры устройства, обеспечивающего получение требуемой последовательности команд для управления станком.

Прибор активного контроля (ПАК), являясь узлом технологической системы, воспринимает действие характерных для технологического процесса возмущающих факторов [1], которые могут значительно влиять на точностные возможности прибора как измерительно-управляющей динамической системы. Поэтому при создании прибора и исследовании его как динамической системы в первую очередь решается основная задача: составить оператор, позволяющий по заданному воздействию $x(t)$ определить реакцию системы $y(t)$. Однако для полного исследования и оценки ее технологических качеств такой подход является недостаточным. В действительности воздействие всегда искажено некоторыми случайными помехами: на вход системы поступает сигнал в виде случайной функции времени $X(t) = \{x(t), t \in T\}$, где T – интервал наблюдения. В соответствии с этим система вырабатывает в качестве реакции случайную функцию $Y(t) = \{y(t), t \in T\}$. Необходимо решить, на сколько велики будут случайные отклонения реакции системы при наличии случайных возмущений на ее вход. Сигналом, действующим на вход ПАК, является контролируемая часть $x(t)$ текущего размера обрабатываемой детали. Реакция системы представляет собой случайную функцию времени $Y(t)$ и определяется, как семейство случайных переменных $\{y(t), t \in T\}$, которые зависят от параметра t , принадлежащего соответствующему множеству

$$Y(t) = L\{x(t), t \in T\},$$

где L – оператор, описывающий прибор как динамическую систему автоматического активного контроля.

Рассмотрим вероятностные характеристики размеров деталей при обработке различных поверхностей на многоцелевом станке с использованием активного контроля виброконтрастного принципа измерения (рис 1)[2].



Рис.1. Подготовка ПАК к работе на многоцелевом станке IP-800

Математическое ожидание размеров обрабатываемых деталей изменяется в общем случае по линейному закону [3, 4] $m_x = m_0 - \alpha t$, где α - коэффициент, зависящий от скорости подачи абразивного круга и интенсивности износа инструмента

$$x(t) = m_0 - \alpha t + f(t), \quad (1)$$

где $f(t)$ – центрированная случайная функция помех, для которой дисперсию можно представить в виде постоянной величины $D_x = \text{const}$, что соответствует реальному процессу обработки при стабильных размерах заготовок [5]. Центрированную корреляционную функцию представим для часто встречающегося случая в виде экспоненты.

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\beta|\tau|}. \quad (2)$$

Функциональная схема рассматриваемого прибора активного контроля виброконтрастного принципа измерения представлена на рис.2

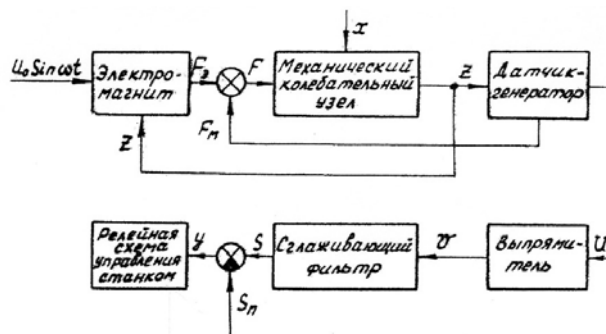


Рис.2. Функциональная схема прибора активного контроля виброконтрастного принципа измерения

в которой сигнал от измеряющегося размера деталей $x(t)$ преобразуется в сигнал управления работой станка $y(t)$. Напряжение питания $U_0 \sin \omega t$ электромагнита 2 (рис.3) определяет его периодическую силу $F_3(t)$, которая приводит в возвратно-поступательное движение $Z(t)$ измерительный щуп 1 механического колебательного узла.

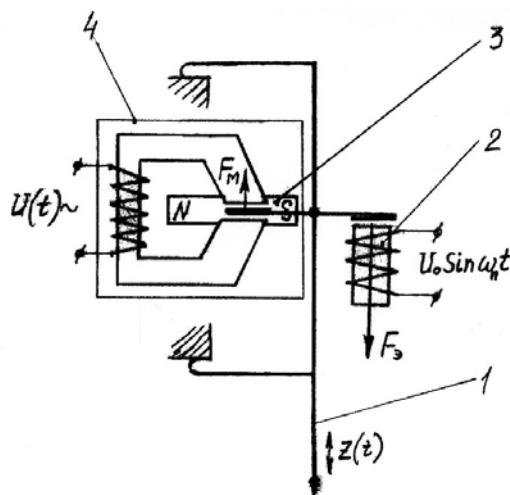


Рис.3.Первичный виброконтактный преобразователь прибора активного контроля.

Датчик-генератор 4 преобразует перемещение $Z(t)$ благодаря измерению магнитного потока постоянного магнита 3 в напряжение $u(t)$, которое выпрямляется, сглаживается фильтром и сравнивается с установленным пороговым напряжением $S_{п.}$. Релейная схема управления станком срабатывает при условии $y(t) \geq 0$. Перемещение якоря электромагнита $Z(t)$ изменяет силу F_3 , а колебания якоря датчика-генератора вызывают периодическую силу $F_M(t)$, что отражено на функциональной схеме (рис.2), в виде обратных связей.

Механический контакт виброщупа с измеряемой деталью приводит к изменению амплитуды колебаний $Z(t)$, низшую гармонику которых можно представить в первом приближении как

$$Z_1(t) = [A_0 - x(t)] \sin(2\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3)$$

где A_0 – амплитуда колебаний щупа без контакта с деталью (свободные колебания),

$x(t)$ – изменение амплитуды при наличии контакта с измеряемой поверхностью, причем

$$|x(t)| < A_0, \quad (4)$$

Приведем уравнения элементов прибора [6]:

$$F_3(t) = a_1 \Phi_3^2(t), \quad (5)$$

$$\Phi_3(t) = \frac{a_2}{b_1 - Z(t)} i_3, \quad (6)$$

$$W_3 \Phi_3(t) + i_3(t) r_3 = U_0 \sin \omega_0 t, \quad (7)$$

$$M \ddot{z}(t) + h \dot{z}(t) + k z(t) = F(t), \quad (8)$$

$$F(t) = F_3(t) + F_M(t), \quad (9)$$

$$F_M(t) = a_3 \Phi_M^2(t), \quad (10)$$

$$\Phi_M(t) = \frac{a_4}{b_2 - Z(t)}, \quad (11)$$

$$T_r u(t) + U(t) = \frac{W_r}{2} \Phi_M(t), \quad (12)$$

$$v(t) = |U(t)|, \quad (13)$$

$$T_\phi \dot{S}_{cp} + S_{cp}(t) = v_{cp}(t), \quad (14)$$

где i_3 , Φ_3 , Φ_M – соответственно сила тока и магнитные потоки электромагнита 2 (см рис.3), постоянного магнита 3 и датчика-генератора 4; a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , b_1 , b_2 , W_3 , r_3 , M , h , k , T_r , W_r , T_ϕ – коэффициенты, определяющие конструктивные и физические особенности магнитных, механических и электрических элементов.

Решая систему уравнений (5) – (11) можно определить амплитуду A_0 колебаний щупа (максимальная величина контролирующего припуска на обработку деталей) в свободном состоянии [7]. При рассмотрении контакта щупа и детали с учетом (3) уравнение (11) примет вид

$$\Phi_M(t) = \frac{a_4}{b_2 - [A_0 - x(t)] \sin(2W_0 + \varphi_0)}, \quad (15)$$

что позволяет проанализировать преобразование информационного сигнала $x(t)$ в соответствии с уравнениями (12) – (14).

Считая достаточно малыми скорости изменения величины $x(t)$, т.е. при

$$A_0 - x(t) \approx A = \text{const}, \quad (16)$$

можно уравнение (15) разложить в ряд Фурье и рассматривать только низшую гармонику

$$\Phi_M(t) = \frac{a_4}{\sqrt{b_2^2 - A^2}} + \frac{2\pi(b_2 - \sqrt{b_2^2 - A^2})a_4}{A\sqrt{b_2^2 - A^2}} \sin(2W_0 t + \varphi_0), \quad (17)$$

Учитывая (4) и (16), разложим в ряд Тейлора функции амплитуды A в (17) и ограничимся членами первого приближения

$$\Phi_M(t) = \Phi_0 + g x(t) + [B_0 - g_1 x(t)] \sin(2\omega_0 + \varphi_0), \quad (18)$$

где Φ_0 , B_0 , g_1 , g – коэффициенты разложения, определяемые величиной A_0 .

При достаточно больших T_r уравнение (12) приводится к приближенному соотношению

$$T_r \dot{u}(t) = \frac{W_r}{2} \Phi_M(t). \quad (19)$$

Используя (18) при достаточно малых величинах $|x(t)|$ по сравнению с величинами производных $\frac{d}{dt}[x(t) \sin(2W_0 t + \varphi_0)]$, получаем приближенный результат

$$\dot{U}(t) = \left[B_0 \frac{W_r}{2T_r} - \frac{q_1 W_r}{2T_r} x(t) \right] \sin(2W_0 t + \varphi_0). \quad (20)$$

Если выполняется принятое допущение о величинах $|x(t)|$, то согласно (13) и (20) получаем среднее значение выпрямленного напряжения

$$V_{ср}(t) = \frac{B_0 W_r}{\pi T_r} - \frac{q_1 W_r}{\pi T_r} x(t), \quad (21)$$

или с учетом (14)

$$T_\phi \dot{S}_{ср}(t) + S_{ср}(t) = \frac{q_1 W_r}{\pi T_r} \left[\frac{B_0}{q_1} - x(t) \right], \quad (22)$$

где $S_{ср}$ – среднее значение выхода сглаживающего фильтра.

Из этого уравнения, используя соотношение $y(t) = S_{ср}(t) - S_n$ (см рис. 2) получаем уравнение, позволяющее оценить результат преобразования сигнала $x(t)$ в напряжение уравнения релейной схемой $y(t)$

$$T_\phi y(t) + \dot{y}(t) = -S_n + \frac{q_1 W_r}{\pi T_r} \left[\frac{B_0}{q_1} - x(t) \right]. \quad (23)$$

Представим сигнал $y(t)$ в виде $y(t)=m_y(t)+E(t)$, где $m_y(t)$ – математическое ожидание, $E(t)$ -центрированная случайная функция – результат преобразования помехи $f(t)$, указанной в уравнении (1). учитывая, что постоянная времени сглаживания $T_\phi \ll t_k$, где t_k – время срабатывания схемы управления, определяя математическое ожидание управляющего сигнала $y(t)$ при $x(t)$ вида (1) выражением

$$m_y(t) = -S_n + \frac{q_1 W_r}{\pi T_r} \left[\frac{B_0}{q_1} - m_0 + \alpha(t - T_\phi) \right] \quad (24)$$

как вынужденную составляющую решения уравнения (23) при $f(t)=0$. Время обработки детали определяется условием

$$m_x(t_k) = m_0 - \alpha t_k = x_k, \quad (25)$$

где x_k - требуемое конечное значение контролируемой части размера детали, устанавливаемое при настройке ПАК на заданный размер.

На основании (24) и (25) можно оценить с учетом запаздывания сигнала при сглаживании требуемое значение порогового напряжения S_n из условия срабатывания релейной схемы при $m_y(t_k)=0$

$$S_n = \frac{q_1 W_r}{\pi T_r} \left[\frac{B_0}{q_1} - x_k + \alpha T_\phi \right]. \quad (26)$$

Сглаживание помехи $f(t)$ согласно (23) описывается уравнением

$$T_\phi \dot{E}(t) + E(t) = kf(t), \quad (27)$$

где $k = -\frac{q_1 W_r}{\pi T_r}$.

Для принятых дисперсий D_x и центрированной корреляционной функции $R_x(\tau)$ измеряемого сигнала на основании (27) известными методами [8] определим дисперсию управляющего сигнала. Спектральная плотность помехи, соответствующая (2), определяется выражением

$$S_x(w) = D_x - \frac{2\beta}{w^2 + \beta^2}.$$

На выходе сглаживающего фильтра помеха характеризуется спектральной плотностью

$$S_y(w) = S_x(w) \left| \frac{K}{1 + jTW} \right|^2 = Dx \frac{2BK^2}{(W^2 + \beta^2)(T_{cp}^2 w^2 + 1)}$$

Центрированная случайная функция $E(t)$ имеет дисперсию

$$Dy = Ry(T)_{T=0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_y(w) dw = 2DxK^2BJ,$$

где $R_y(t)$ корреляционная функция помехи на выходе сглаживающего фильтра;

$$J = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dw}{(w^2 + \beta^2)(T_{\phi}^2 w^2 + 1)}$$

-интеграл, вычисляемый по известным формулам [8]

Отсюда дисперсия управляющего сигнала

$$Dy = DxK^2 \frac{1}{T_{\phi}\beta + 1}. \quad (28)$$

Вывод

1. По найденной дисперсии D_y (28) оцениваем точностные характеристики преобразования информации приборам активного контроля виброконтактного принципа действия.

2. Уравнение (26) позволяет рассчитать ряд значений задающего (порогового) напряжения $S_{п.}$, обеспечивающих получение требуемой последовательности команд для управления станком.

Список литературы

1. Безъязычный В.Ф., Бакунина Т.А., Чистяков Ю.П. Расчет погрешности обработки на основе термомеханических явлений в зоне резания//СТИН. – 2004.-№ 11-с. 23-26.
2. Патент на изобретение № 2270415 от 20.02.2006 г.
3. Волосов С.С., Педь Е.И. Приборы для автоматического контроля в машиностроении. –М., Издательство стандартов, 1975.
4. Волосов С.С., Гейлер З.Ш. Управление качеством продукции средствами активного контроля. –М.: Издательство стандартов, 1989.
5. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. вузов.-2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999.
6. Тромпет Г.М. Формирование сигнала в виброконттактных системах управляющего контроля // Технология производства машин: Межвузовский сборник научных трудов, Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. Вып.1.-137с.
7. Тромпет Г.М., Клиньских Н.А. Расчет выходных параметров виброгенераторных преобразователей по заданному технологическому процессу. – Сб. Пятая научно-техническая конференция УПИ им. С.М. Кирова. Часть 1. Свердловск, Изд. УПИ, 1976.
8. Теория автоматического управления. Часть II. Под ред. А.А. Воронова. М.: «Высшая школа», 1977.