УДК 622.7.06

А.М.КУРЧУКОВ
Норильский индустриальный институт

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ В РУДЕ

Целью работы является повышение надежности устройств с вихретоковыми автогенераторными датчиками для обнаружения сорных металлических включений в потоке технологического сырья и материалов. Эффективным способом увеличения надежности является повышение соотношения полезного сигнала и помех в канале преобразования сигнала устройства. Повышение этого соотношения возможно путем синтеза оптимальной структуры устройства. Выполнен синтез структуры устройства с использованием методов оптимальной согласованной фильтрации сигналов на фоне помех.

The purpose of this work is to increase reliability of devices to detect metal impurities in the production line of technological raw materials and materials with application of eddy current self-maintained sensors. An effective way to increase their reliability is to enhance correlation between the useful signal and the background noise in the transformation signal channel of the device. It is possible to enhance this ratio by designing an optimum device structure. The device structure has been designed using the method of optimum coordinated filtration of the signals against the background noise.

Большинство отказов в работе устройств с вихретоковыми автогенераторными датчиками связано либо с их низкой чувствительностью, либо с высокой вероятностью ложных срабатываний, обусловленных электромагнитными помехами и нестабильностью информативного параметра системы в процессе ее работы.

Эффективным способом увеличения надежности является повышение соотношения полезный сигнал/помеха в канале преобразования сигнала устройства. Повышение этого соотношения возможно либо путем оптимального выбора параметров звеньев принятой неизменной структуры, либо синтезом новой оптимизированной структуры устройства, позволяющей наилучшим образом выделить полезный сигнал на фоне помех.

Исходя из этого, одной из основных задач работы явился синтез оптимальной структуры по критерию максимума соотношения уровня сигнала к среднеквадратическому значению помехи.

Методика решения задачи зависит от типа полезного сигнала и помехи, а также их основных параметров. Обычно форма информационного видеоимпульса, поступающего с амплитудного детектора, известна, и в этом смысле полезный сигнал относится к классу детерминированных, однако период информационного импульса является случайной величиной. Как правило, помеха описывается случайной функцией времени с известными статистическими параметрами. Поэтому методика синтеза оптимальных структур может быть различной.

При выборе методики необходимо учитывать, что системные операторы нескольких звеньев динамической системы уже заданы. По отношению к огибающей сигнала автогенераторный преобразователь является практически безынерционным звеном с постоянным коэффициентом $K_{\text{г}}$ и изменение добротности индуктивного вихретокового датчика пропорционально изменению амплитуды генерируемых колебаний [1, 3]. Будем также считать, что амплитуда автогенератора может линейно изменяться в зависимости от некоторого управляющего напряжения на его входе управления с тем же коэффициентом $K_{\text{г}}$. Последовательно с ав-

тогенератором для выделения огибающей радиоимпульса включают амплитудный детектор. В общем случае системный оператор амплитудного детектора представляет собой нелинейную функцию, однако при использовании современной элементной базы электронных устройств (например, операционных усилителей) его характеристику преобразования можно сделать линейной. Тогда его свойства могут быть описаны линейным коэффициентом $K_д$. В последующем будем представлять линейную цепь, состоящую из автогенератора, включающего датчик, амплитудного детектора и линейного усилителя одним безынерционным звеном с коэффициентом передачи $K_1 = K_г K_д K_у$.

Сделанные допущения оправдывают применение методик синтеза оптимальных структур в классе линейных стационарных систем.

Рассмотрим синтез оптимизированной структуры с использованием метода оптимальной согласованной фильтрации сигналов на фоне помех.

Пусть на входе устройства в качестве воздействия присутствует смесь сигналов

$$x(t) = g(t) + s(t),$$

где $g(t)$ – случайный сигнал помехи с известной спектральной плотностью; $s(t)$ – известный информационный импульс со случайным периодом.

В качестве модели помехи примем сумму

$$g(t) = n(t) + u(t),$$

где $n(t)$ – белый шум; $u(t) = U_м(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ – медленно нарастающий с постоянной времени T до амплитуды $U_м$ перепад входного сигнала.

Спектральная плотность белого шума на всех частотах постоянна, поэтому

$$n(t) = N(j\omega) = N = \text{const}.$$

Тогда спектральная плотность входного воздействия описывается суммой

$$X(j\omega) = U(j\omega) + N + S(j\omega),$$

где

$$s(t) = S(j\omega) = \frac{1}{j\omega}(1 - e^{-j\omega t_и});$$

$$u(t) = U(j\omega) = \frac{U_м}{j\omega(1 + j\omega T)}.$$

Предположим сначала, что $U(j\omega) = 0$, тогда

$$X(j\omega) = X_1(j\omega) = S(j\omega) + N.$$

Используя методы теории оптимальной согласованной фильтрации сигналов [2] найдем комплексную частотную передаточную функцию согласованного фильтра

$$W_{о.ф}(p) = \frac{B}{p}(1 - e^{-pt_и}),$$

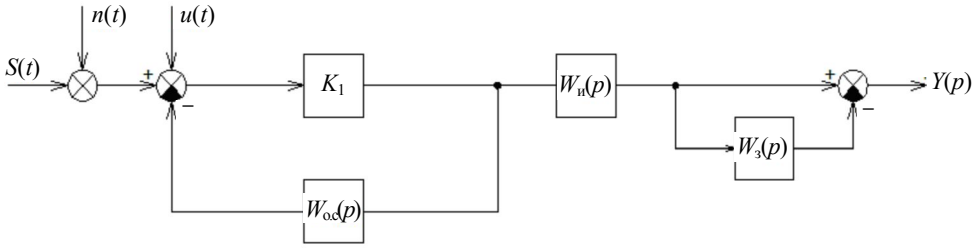
где B – постоянный коэффициент.

Полученная передаточная функция синтезирована из предположения, что $u(t) = 0$; $U(j\omega) = 0$, т.е. амплитуда автогенератора в статическом режиме стабильна, нет медленно изменяющихся дестабилизирующих воздействий. Однако на практике амплитуда этих составляющих шума во много раз превышает уровень белого шума и информативного сигнала, поэтому амплитуду автогенератора при воздействиях $u(t) \neq 0$ необходимо стабилизировать. Так возникает задача синтеза фильтра сглаживающего возмущения $u(t)$ и пропускающего на вход оптимального фильтра смесь $n(t) + s(t)$.

Такой фильтр может иметь замкнутую структуру, в цепь прямой передачи которой включен генераторно-преобразовательный блок с коэффициентом передачи K_1, охваченный цепью отрицательной обратной связи (ООС) с передаточной функцией соответствующей спектральной плотности $U(j\omega)$:

$$W_{о.с} = \frac{K_2}{p(Tp + 1)},$$

где статический коэффициент передачи K_2 цепи ООС выбирается с учетом амплитуды



Оптимизированная структура преобразования сигнала датчика на фоне помех

$U_м$ дестабилизирующего фактора, а постоянная времени T с учетом скорости его изменения. Следует отметить, что величина постоянной T во много раз превосходит $t_и$, поэтому сигнал $s(t)$ не искажается цепью ООС. На рисунке представлена общая оптимизированная структура преобразования сигнала датчика на фоне помех.

Таким образом, исходя из анализа спектральных характеристик полезного сигнала и помехи, получена оптимизированная структура преобразования сигнала вихретокового автогенераторного датчика обнаружения движущихся металлических включений в потоке сырья и материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арш Э.И.* Автогенераторные измерения. М.: Энергия, 1976.

2. *Горовиц А. М.* Синтез систем с обратной связью: Пер с англ. М.: Сов. радио, 1970.

3. *Синицын В.И.* Оптимизация конструкции и расчет параметров вихретокового стрежневого датчика обнаружения металлических частиц в волокнистых материалах // Изв. вузов. Технологии текстильной промышленности. 1990. № 6.

Научный руководитель преп. *Е.А.Тараканов*