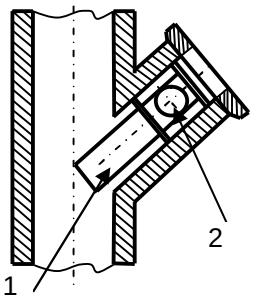
СИГНАЛИЗАТОР ПРИСУТСТВИЯ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ В ПРОДУКТОПРОВОДЕ НА ОСНОВЕ НЕАВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев, В. Н. Седалищев
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

В настоящее время для нужд промышленности выпускается большое разнообразие сигнализаторов для сыпучих материалов. С их помощью обеспечивают постоянное наличие в продуктопроводе потока материала, что необходимо для нормального хода технологического процесса. Наибольшее распространение получили сигнализаторы основанные на ёмкостном, акустическом, вибрационном и микроволновом методе контроля. Условия эксплуатации сигнализаторов в промышленном производстве являются тяжёлыми. К тяжёлым факторам относятся следующие: вибрации и промышленные шумы, запылённость, высокие температуры, механическое воздействие на чувствительный элемент. Конструкции сигнализаторов содержат блоки обработки сигналов повышающие помехоустойчивость.

Предлагаемый сигнализатор присутствия обладает помехоустойчивостью на физическом уровне за счёт использования в нём неавтономного генератора хаоса.

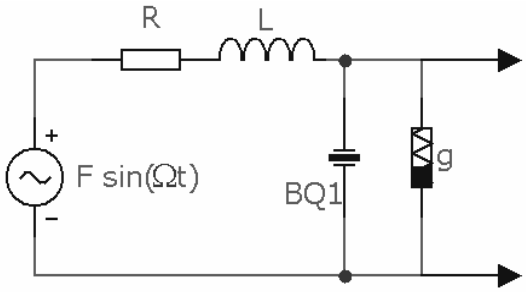


Условные обозначения:
1 – вибратор; 2 – пьезоэлемент.

Рисунок 1 – Расположение чувствительного элемента в продуктопроводе

В основу устройства положен импедансный сигнализатор, схематично представленный на рисунке 1. Чувствительным элементом является тонкий вибратор из закалённой углеродистой стали, жёстко закреплённый с одной стороны. Пьезоэлемент осуществляет возбуждение изгибных колебаний в вибраторе. Наличие контакта вибратора с сыпучей средой существенно повышает импеданс системы вибратор-пьезоэлемент на частотах вблизи механического резонанса вибратора. Будем называть такое состояние пьезоэлемента – заторможенным. Определение силы тока, протекающей через пьезолемент на резонансной частоте позволяет безошибочно определить присутствие сыпучего материала. Однако, этот подход существенно усложняется, если предполагается движение сыпучего материала по продуктопроводу. Столкновение движущихся частиц с вибратором приводит к появлению в нём и в пьезоэлементе шумоподобных колебаний, что существенно ухудшает распознаваемость состояния. Использование в основе сигнализатора генератора хаоса решает эту проблему на физическом уровне.

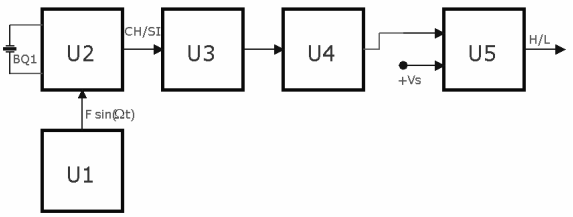
Среди множества уникальных свойств генераторов детерминированного хаоса стоит выделить их устойчивость к внешним шумоподобным воздействиям. Это их свойство может быть использовано для обнаружения гармонических сигналов на фоне многократно превосходящих их шумов [1]. Однако, в представленной работе обнаружение осуществляется в процессе цифровой обработки, когда генератор хаоса лишь моделируется численными методами, физически реализованный генератор хаоса не используется.



Условные обозначения:
g – диод Чуа; BQ1 – пьезоэлемент

Рисунок 2 – Схема генератора хаоса на основе MLC-цепи

Предлагаемый подход состоит в использовании чувствительного элемента непосредственно в генераторе хаоса (рисунок 2). За основу был взят неавтономный генератор хаоса – MLC-цепь [2]. Вместо ёмкости, в схему генератора включён пьезоэлемент BQ1, возбуждающий колебания в вибраторе (рисунок 2). Статическая ёмкость пьезоэлемента в заторможенном состоянии учитывалась для выбора параметров схемы таким образом, чтобы достигался режим генерации хаоса. В случае, если вибратор не имеет контакта с сыпучим веществом, импеданс пьезоэлемента существенно уменьшается и MLC-цепь переходит в состояние генерации периодических колебаний на резонансной частоте вибратора. Хаотический сигнал имеет широкополосный спектр шумоподобного вида, в то время как резонансные периодические колебания имеют главный максимум на частоте колебания и на частотах высших гармоник. По состоянию спектра выходных колебаний MLC-цепи определяется присутствие сыпучего вещества.



Условные обозначения:
BQ1 – пьезоэлемент; U1 – генератор синусоидальных сигналов; U2 – генератор хаоса; U3 – фильтр; U4 – амплитудный детектор; U5 - компаратор

Рисунок 3 – Структурная схема сигнализатора.

Общая структурная схема сигнализатора приведена на рисунке 3. Она включает генератор синусоидальных колебаний U1, являющийся источником для генератора хаоса U2. Выходной сигнал генератора хаоса подвергается прохождению через узкополосный фильтр U3, в котором выделяются только частоты, близкие к резонансной частоте вибратора. Таким образом, выходной сигнал фильтра будет минимальным если MLC-цепь работает в хаотическом режиме и максимальным, если в периодическом. Далее сигнал пропускается через амплитудный детектор U4 и компаратор напряжения U5, выходной сигнал которого соответствует логическим уровням цифровых устройств.

Рассмотрим подробно процедуру расчёта параметров устройства.

Первым этапом конструируется система вибратор-пьезоэлемент и обеспечивается надёжное изменение импеданса в ней на лабораторной установке в статичных условиях. Изобразим зависимость полной проводимости пьезоэлемента от частоты на рисунке 4, сплошной линией показана зависимость для пьезоэлемента при отсутствии контакта с сыпучей средой; мелким штрихом изображён случай для заторможенного пьезоэлемента; крупным штрихом показана проводимость для ёмкости C'_0. Также определяются параметры эквивалентной электрической схемы замещения (рисунок 5).

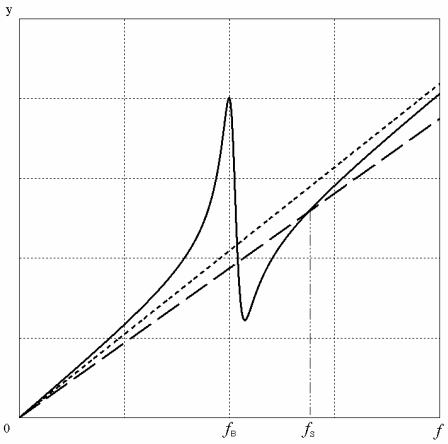
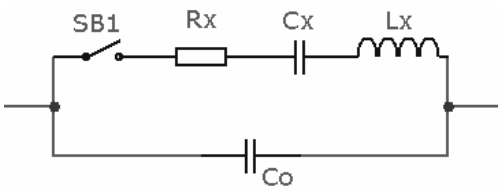


Рисунок 4 – Зависимость полной проводимости y от частоты f



Условные обозначения:
Rx,Cx,Lx – динамические параметры пьезоэлемента; C_0 – статическая ёмкость пьезоэлемента. В случае, если пьезоэлемент заторможен SB1 – разомкнут, если пьезоэлемент не нагружен – замкнут

Рисунок 5 – Эквивалентная электрическая схема замещения пьезоэлемента

Следующим этапом идёт выбор рабочей частоты. На основании работы [3] зададимся следующими значениями в безразмерных единицах для хаотического режима – (A=0.2; ω=1; β=0,95); для периодического режима 3T – (A=0.2; ω=1; β'=0,85), где A – безразмерная

амплитуда синусоидального генератора; ω – безразмерная циклическая частота синусоидального генератора; $\beta = \frac{C}{LG^2}$ - бифуркационный параметр системы. Как видим, $\mu = \frac{\beta'}{\beta} = 0{,}895$, что эквивалентно уменьшению ёмкости С на 10,5%, т.е. $C' = C \cdot \mu$. Заметим, что статическая ёмкость пьезоэлемента не зависит от того, находится он заторможенном или ненагруженном состоянии, имеет место лишь исчезновение резонансного и антирезонансного пиков на графике АЧХ. На резонансной частоте пьезоэлемент ведёт себя подобно активному сопротивлению и не может заменять собой емкость в схеме MLC-цепи, поэтому рабочая частота выбрана несколько большей резонансной, так, чтобы при работе обеспечивалось изменение импеданса на 10,5%. Выбор оптимальной рабочей частоты на рисунке 4 обозначен как f_s. Отметим ещё один важный момент – генератор синусоидальных колебаний настраивается на частоту втрое большую от полученной, т.е. $f_g = 3 \cdot f_s$, поскольку периодический режим MLC-цепи 3Т характеризует наличие утроения периода, то есть все токи в ней будут протекать преимущественно на частоте третьей субгармоники. Разумеется, будут составляющие и более высоких порядков, но для нас главным будет выбор такой частоты задающего синусоидального генератора, чтобы в системе установились субгармонические колебания периода 3, вблизи частоты резонанса вибратора. Субгармонические колебания в технике известны давно, как нежелательное явление, их появление как правило объясняется наличием нелинейностей и неудачным выбором параметров элементов конструкции. Сюда же добавим, что выбранная частота синусоидального генератора задаёт все остальные величины элементов MLC-цепи для получения детерминированного хаоса.

Третьим этапом определяются абсолютные величины номиналов элементов MLC-цепи. Принимая во внимание рекомендованные значения крутизны вольт-амперной характеристики для нелинейного элемента Ga=-0,76мСм, Gb=-0.41мСм и R=1340 Ом можно воспользоваться робастной схемой [4]. Далее определяют все остальные значения согласно рисунку 2:

$$G = \frac{1}{R};\ \Omega = 2\pi f_g;\ C = \frac{G\omega}{\Omega};\ \ L = \frac{C}{\beta G^2}. \quad (1)$$

Если, в результате расчёта, значение С оказалось далёким от статической ёмкости пьезоэлемента C_0, выполняют подключение корректирующих ёмкостей к пьезоэлементу для получения требуемой величины.

Был реализован лабораторный макет на основе трубопровода диаметром 50мм. Вибратор с рабочей длиной 160мм обеспечивал резонанс на частоте $f_в$=2000Гц, что соответствует пятой моде изгибных колебаний вибратора. Были определены параметры эквивалентной электрической схемы замещения пьезоэлемента. Рабочая частота для третьей субгармоники выбрана f_S=2730Гц. Частота синусоидального генератора составила f_g=8200 Гц, центральная частота фильтра 2730 Гц.

Вся электрическая часть согласно структурной схеме (рисунок 3) предварительно была опробована на PSPICE-модели, в которой был осуществлён окончательный подбор элементов электрической схемы.

Практическая реализация схемы подтвердила высокую степень соответствия эксперимента и результатов вычислений на моделях.

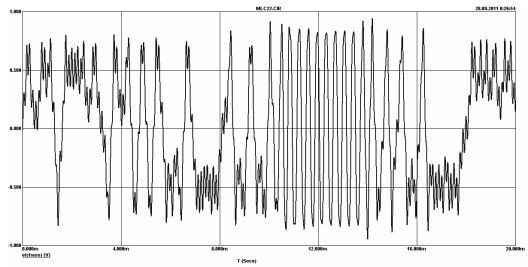


Рисунок 6 – Выходной сигнал генератора хаоса. Временная реализация показывает хаос, соответствующий заторможенному пьезоэлементу, и ламинарную фазу, соответствующую ненагруженному пьезоэлементу

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патрушев Е.М., Патрушева Т.В. Исследование механизма чувствительности измерительных преобразователей, основанных на использовании неавтономных генераторов хаоса // ИКИ-2011. - Барнаул: АлтГТУ, 2011. с139-143.
2. K. Murali, M. Lakshmanan, L .O. Chua, The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit/ IEEE Trans. Circuits Syst, 1994.Vol.41, pp.462-463.
3. Т.В.Патрушева, Е.М.Патрушев. Двухпараметрический анализ динамики измерительного преобразователя на основе детерминированного хаоса/ В этом сборнике.
4. M.P.Kennedy, "Robust Op-Amp Realization of Chua's Circuit," Frequenz, Vol. 46, No. 3-4, March-April 1992. pp. 66-80.