

К. т. н. О. Н. НЕГОДЕНКО, к. т. н. В. И. СЕМЕНЦОВ,
Ю. П. МАРДАМШИИ

Россия, Таганрогский гос. радиотехнический ун-т
E-mail: metbis@fep.tsure.ru

Дата поступления в редакцию
10.01 2001 г.
Оппонент к. т. н. В. С. ГОЛУБ

ДАТЧИКИ ПРИБЛИЖЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНДУКТИВНЫХ БАЛАНСНЫХ СЕНСОРОВ

Рассмотрены методы повышения чувствительности датчиков приближения и положения на основе индуктивных балансных сенсоров.

Простейший индуктивный балансный сенсор (ИБС) состоит из двух катушек индуктивности, сдвинутых в плоскости таким образом, что при наличии переменного напряжения на первой (входной) катушке сигнал на второй (выходной) отсутствует (сенсор сбалансирован). Условия баланса для ИБС с катушками разной формы (круглой, прямоугольной, треугольной), области применения ИБС рассмотрены в [1–4]. Остаются малоизученными вопросы *повышения чувствительности ИБС*, а также особенности их *применения в датчиках приближения и положения*, широко используемых в устройствах автоматики.

В настоящей работе датчики и ИБС исследуются экспериментальным путем. Схема используемого в экспериментах аналога негatronа приведена на **рис. 1** [5, с. 151]. Здесь ИБС условно представлен в виде двух одновитковых катушек. Его первая катушка L_1 вместе с конденсатором C_2 задают частоту генератора, вторая катушка L_2 подключается к входу осциллографа, R_n — дополнительно включаемый резистор нагрузки (при необходимости).

Принципом действия выпускаемых промышленностью датчиков приближения (бесконтактных выключателей) является уменьшение или срыв колебаний генератора при внесении в активную зону катушки металлической пластины. В исследуемых датчиках приближения по мере приближения металлической пластины колебания генератора не срываются, а увеличивается амплитуда колебаний на выходной обмотке ИБС. Если после

ИБС будет поставлено пороговое устройство, получается бесконтактный выключатель, а если усилитель и индикатор — датчик положения металлической пластины.

Под чувствительностью ИБС или датчика положения понимается отношение изменения выходного напряжения к изменению расстояния между ИБС и проводящей пластиной (В/м). Для датчика приближения важно номинальное расстояние переключения между ИБС и проводящей пластиной при заданном пороге срабатывания.

Повышать чувствительность ИБС при неизменном сигнале предлагается путем использования резонансных явлений в контуре с выходной катушкой, а также путем увеличения числа входных катушек. Эти катушки соединяются последовательно, и с каждой из них выходная катушка устанавливается в положение баланса. При приближении металлической пластины к ИБС напряжения разбаланса от всех катушек, наводимые в выходной катушке, склады-

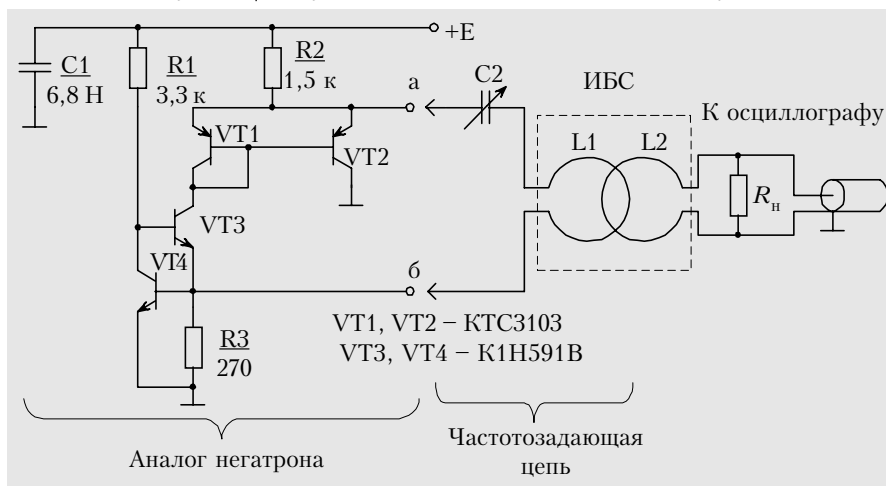


Рис. 1. Схема аналога негatronа с ИБС

ваются. Поэтому выходное напряжение становится больше, чем при одной входной катушке. Предполагается использование автогенераторов, в которых катушки ИБС обеспечивают положительную обратную связь, а также автогенераторов на транзисторных аналогах негatronов, т. к. последние имеют внутренние положительные обратные связи и поэтому легко реализуются методами микроэлектроники. Достоинством ИБС является также планарность его

Работа выполнена при поддержке совместного гранта Минобразования РФ и Американского фонда гражданских исследований и развития № REC-004.

катушек; они могут быть выполнены по технологии печатных плат или пленочных и даже полупроводниковых интегральных микросхем.

Из **рис. 2**, на котором представлены графики зависимости амплитуды выходного напряжения ($U_{\text{вых}}$) от расстояния между медной пластиной и ИБС (l), видно влияние резонансных явлений в выходном контуре, составленном катушкой L_2 , емкостью кабеля и входной емкостью осциллографа (30 пФ). (Резистор R_n не использовался. Круглые катушки ИБС имели диаметр $D=11$ см, число витков $N=20$ (провод ПЭВ-0,21). Конденсатор C_2 имел емкость 25–150 пФ (подстроечный), напряжение питания генератора $E=12$ В.)

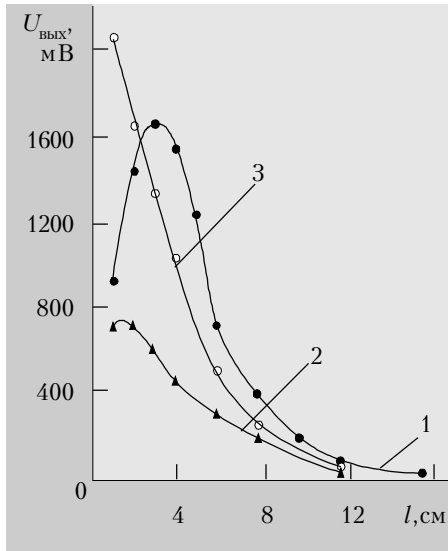


Рис. 2. Графики зависимости амплитуды выходного напряжения ИБС от расстояния между ИБС и медной пластиной:

1 - $f_r = f_k$; 2 - $f_r < f_k$; 3 - $f_r > f_k$

Емкостью конденсатора C_2 менялась частота генератора f_r ($f_r \approx 1$ МГц) относительно резонансной частоты выходного контура f_k . При $f_r = f_k$ амплитуда колебаний, чувствительность (наклон кривой) выше, чем при отсутствии резонанса в широком диапазоне значений l . Если $l < 2,5$ см, амплитуда колебаний выше при $f_r > f_k$. Это, видимо, связано с тем, что при поднесении медной пластины к ИБС оказывает влияние вносимая пластиной емкость (при $f_r = f_k$ выходной контур расстраивается, а при $f_r > f_k$ он настраивается в резонанс). Если выбрать порог срабатывания датчика приближения 200 мВ, то при $f_r = f_k$ расстояние переключения l_n максимально (10 см). При этом $l_n \approx 0,9D$.

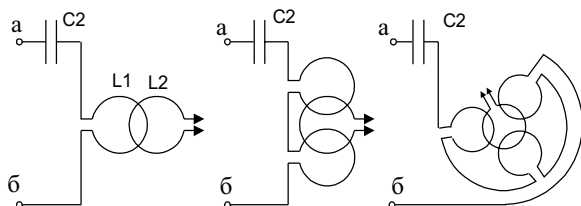


Рис. 3. ИБС с разным количеством первых катушек

Чтобы исследовать влияние количества первых катушек ИБС на выходное напряжение, они включались так, как показано на **рис. 3**. При этом для исключения резонансных явлений использовался резистор нагрузки $R_n = 1,2$ кОм. Диаметр катушек ИБС $D=6,5$ см, число витков $N=20$ (ПЭЛ-0,21), $E=12$ В. При $C_2=70$ пФ и одной первой катушке частота генератора $f_r=1,3$ МГц, при двух катушках $f_r=1,1$ МГц, при трех катушках $f_r=0,9$ МГц. Как видно из **рис. 4**, с ростом числа первых катушек n выходной сигнал возрастает при заданном пороге срабатывания (например, 40 мВ), растет и расстояние переключения.

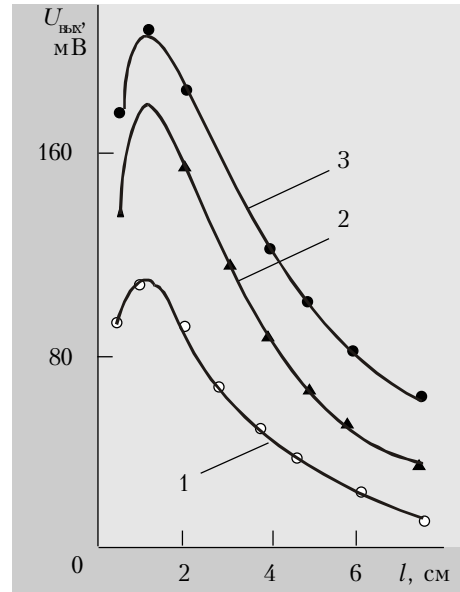


Рис. 4. Графики зависимости $U_{\text{вых}}$ ИБС от l при различном количестве первых катушек:

1 - $n=1$; 2 - $n=2$; 3 - $n=3$

Если при использовании аналогов негатронов с ИБС для реализации датчика приближения необходимо использовать пороговое устройство, то датчик приближения на генераторе с индуктивной обратной связью не требует применения порогового устройства. Схема такого датчика приведена на **рис. 5**. При этом $C_1=240$ пФ, использовались круглые катушки диаметром $D=11$ см ($N=20$). При $E=1,5-2,5$ В

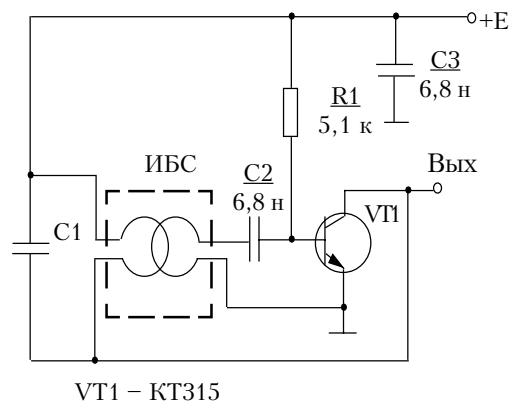


Рис. 5. Датчик приближения по схеме с индуктивной обратной связью

генератор возбуждался при расстоянии между ИБС и проводящей пластиной менее 16 см. В этом случае $l_{п}=1,4D$. Поскольку у выпускаемых промышленностью датчиков приближения $l_{п}=(0,3-0,6)D$, то применение ИБС позволяет увеличить расстояние переключения в 2–3 раза.

Часто возникает необходимость расположения ИБС на металлическом (проводящем) основании. Замечено, что в этом случае сенсор легко балансируется, но расстояние переключения резко уменьшается. Для увеличения этого расстояния между ИБС и металлической поверхностью следует прокладывать слой диэлектрика толщиной h .

В эксперименте в качестве проводящей поверхности использовалась нержавеющая сталь, материал прокладки – пенополистирол. ИБС содержал две первых катушки прямоугольной формы с размерами сторон $a=6$ см и $b=20$ см ($N=10$). Датчик реализовывался на аналоге негatrona (рис. 1) при $C_2=49$ пФ, $E=12$ В. Графики зависимости выходного напряжения датчика от расстояния между ИБС и приближающейся проводящей пластиной из нержавеющей стали представлены на рис. 6. Если задаться порогом срабатывания 400 мВ, то расстояние переключения с увеличением толщины диэлектрической прокладки на 1 см возрастает с 12 до 16 см.

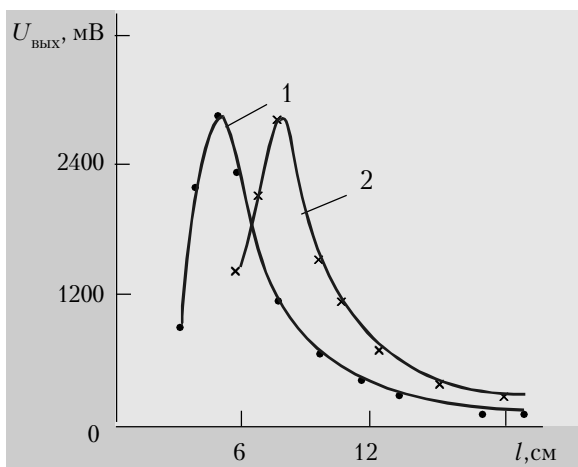


Рис. 6. Графики зависимости $U_{\text{вых}}$ ИБС, расположенного на проводящей поверхности с прослойкой диэлектрика, от l при различной толщине диэлектрика: 1 – $h=2$ см; 2 – $h=3$ см

ИБС способен балансироваться в изогнутом состоянии, как показано на рис. 7. Обмотки располагались на картоне, который потом изгибался. Полученные графики зависимости выходного напряжения ИБС от расстояния между ИБС и медной пластиной показывают, что область значений l , при которых выходное напряжение сильно возрастает при приближении пластины, резко сокращена, составляет не более 0,1 диаметра цилиндра. Выходное напряжение максимально при движении пластины по направлению I и минимально, если пластина приближается к ИБС по направлению IV.

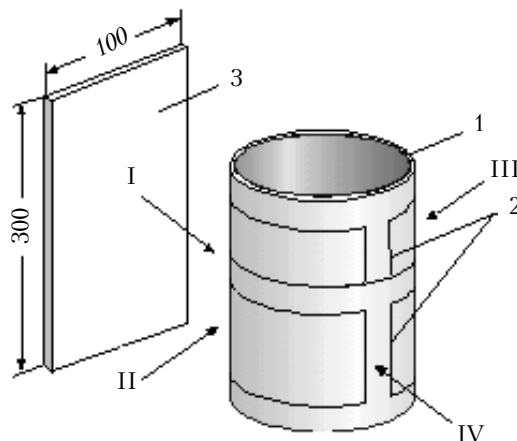


Рис. 7. Конструкция изогнутого ИБС: 1 – цилиндр из диэлектрика; 2 – катушки ИБС; 3 – медная пластина

Датчик положения на основе ИБС использован в определителе скорости течения воды. Принцип его действия основан на удалении под действием текущей воды металлической пластины от ИБС, который сбалансирован в воде при наличии рядом проводящей пластины.

Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы:

- настройка выходного контура в резонанс с частотой генератора и увеличение количества входных катушек увеличивают выходное напряжение и чувствительность ИБС;
- применение ИБС в датчиках приближения позволяет в 2–3 раза увеличить их расстояние переключения;
- датчики приближения на ИБС могут размещаться на проводящей поверхности, но между нею и ИБС необходимо располагать диэлектрическую прокладку;
- изогнутый ИБС реагирует на приближение проводящей пластины с любой стороны, но расстояние переключения намного меньше диаметра цилиндра, на котором он расположен.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Румянцев К. Е., Негоденко О. Н., Семенцов В. И. Датчики на основе индуктивных балансных сенсоров // Изв. вузов. Электроника. – 1995. – № 4. – С. 99–101.
2. Кошелев С. Т., Негоденко О. Н., Семенцов В. И. Особенности характеристик индуктивных балансных сенсоров // Метрология. – 1998. – № 12. – С. 23–26.
3. Кошелев С. Т., Негоденко О. Н., Семенцов В. И. Индуктивные балансные сенсоры и возможности их применения // Приборы и системы управления. – 1999. – № 3. – С. 35–36.
4. Негоденко О. Н., Семенцов В. И., Кошелев С. Т. Технические возможности индуктивных балансных сенсоров // Изв. вузов. Электромеханика. – 1999. – № 2. – С. 45–49.
5. Негатроника / А. Н. Серьезнов, Л. Н. Степанова, С. А. Гаряинов и др. – Новосибирск: Наука, 1995.