

УДК 681.327

**ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ РЕЗОНАТОРА
НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ**

И.В. Крейс, В.Ф. Катаев

В данной статье рассмотрен датчик для беспроводного радиоконтроля величины магнитного поля на основе резонатора на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Приведены конструкции сенсоров с применением различных магнитострикционных пленок, произведен выбор материалов. Построена математическая модель датчика магнитного поля, приведены графические зависимости параметров выходного сигнала датчика от величины магнитного поля.

Ключевые слова: магнитное поле, поверхностные акустические волны, линия задержки, магнитострикционная пленка, радиоконтроль, математическая модель.

Key words: magnetic field, surface acoustic waves, delay line, magnetostrictive film, radio control, mathematical model.

Магнитное поле промышленной частоты может быть опасным для здоровья человека, если происходит продолжительное облучение с уровнем выше 0,2 мкТл. Биологический эффект электромагнитного поля в условиях длительного многолетнего воздействия накапливается, в результате возможно развитие отдаленных последствий [3].

Поэтому одно из главных направлений использования датчиков магнитного поля – создание и обеспечение функционирования систем безопасности.

Примером применения датчиков магнитного поля может также являться их использование для измерения расстояния. Измеритель определяет объект с постоянным магнитом, который используется в качестве метки. Благодаря тому, что многие немагнитные материалы проницаемы для магнитных полей, можно производить измерения, даже если в поле между датчиком и магнитным объектом попадают другие материалы.

Отличительная особенность сенсоров на ПАВ – высокая чувствительность и, как следствие, широкая зона реагирования в отличие от других типов датчиков. Принцип действия разрабатываемых датчиков основан на пропорциональном изменении центральной частоты амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) выходного сигнала под воздействием внешнего магнитного поля. Предлагаемые датчики являются пассивными устройствами и не требуют источника питания, поэтому проблема его замены отпадает [2]. Такой датчик может быть установлен в труднодоступном или опасном месте лишь однажды. Он представляет собой резонатор на поверхностных акустических волнах (ПАВ), деформация которого происходит под действием прикрепленной к нему пластины из магнитострикционного материала.

На рис. 1 приведены зависимости относительного продольного удлинения для Ni, сплава 54 % Pt, 46 % Fe и 60 % Co, 40 % Fe и др. от величины напряженности внешнего магнитного поля, выраженной в Эрстедах.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

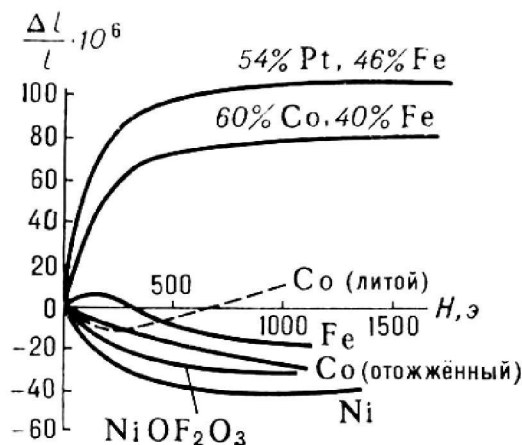


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения магнитострикционных материалов от величины напряженности магнитного поля [1]

Как видно из приведенных графических зависимостей, наибольшей величиной удлинения обладают сплавы 54 % Pt, 46 % Fe, 60 % Co, 40 % Fe и чистый Ni.

Конструкция датчика на основе пластины, изготовленной из никеля, приведена на рис. 2.

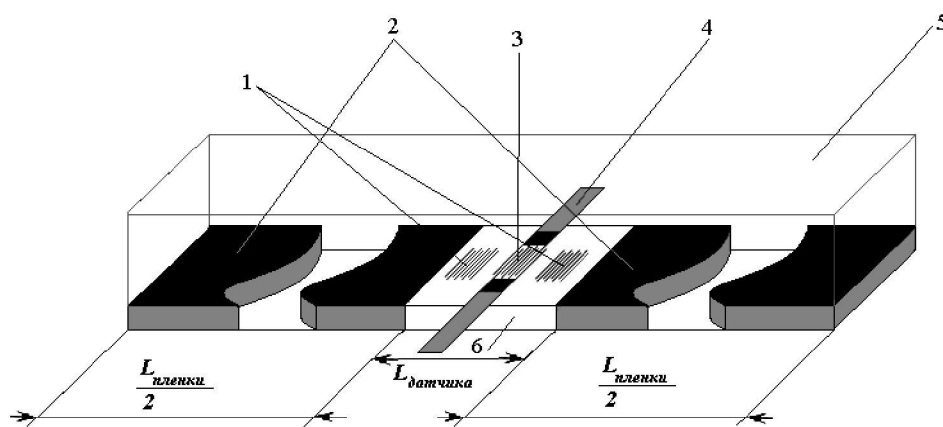


Рис. 2. Конструкция датчика магнитного поля на основе резонатора на ПАВ с применением магнитострикционной пластины, изготовленной из Ni: 1 – отражательные электроды резонатора на ПАВ, 2 – магнитострикционная пластина, 3 – встречно-штыревой преобразователь, 4 – антенна – полуволновой вибратор, 5 – корпус датчика, 6 – пьезоэлектрическая подложка на основе ST-кварца

На рис. 2 длина пленки никеля выбрана равной 10^{-1} (м), при этом она поделена на 2 равные части длиной по $5 \cdot 10^{-1}$ (м), между которыми располагается резонатор на ПАВ, выполненный на подложке, изготовленной из кварца ST-среза. Одним краем каждая магнитострикционная пластина крепится к подложке резонатора на ПАВ, а другим жестко прикрепляется к корпусу датчика. Такая конструкция датчика выбрана, исходя из условия, что пластина, изготовленная из Ni, при воздействии на нее внешнего магнитного поля сжимается, как видно из графика на рис. 3.

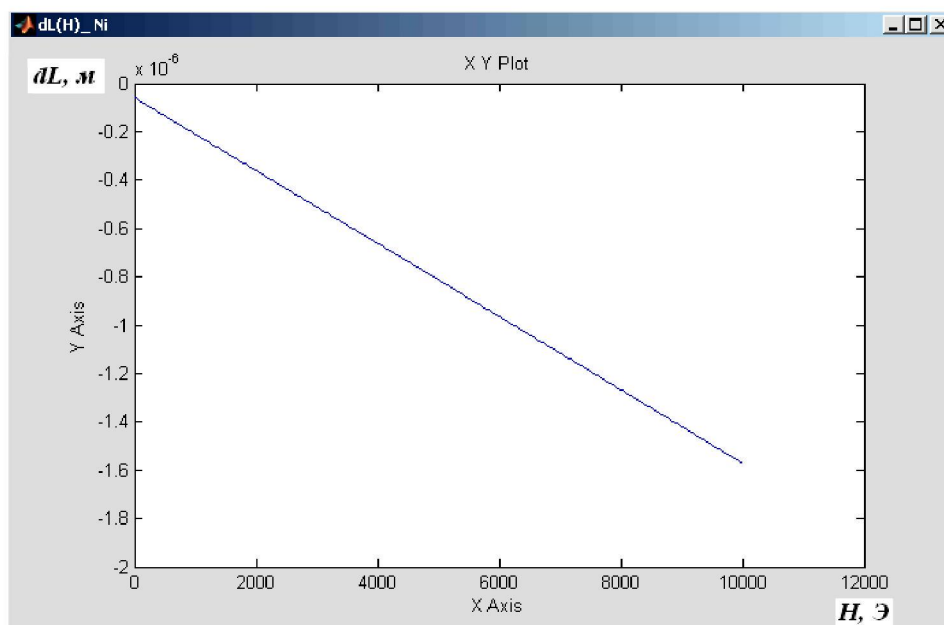


Рис. 3. Зависимость абсолютного удлинения магнитострикционной пластины, изготовленной из Ni, от величины напряженности магнитного поля

Данная числовая зависимость рассчитана, исходя из графика, изображенного на рис. 1, по формуле:

$$dL = (-0,35 \cdot 10^{-7} \cdot (H_{\text{ersted}} \cdot (0,004 \cdot \pi))^3 + 0,12 \cdot 10^{-5} \cdot (H_{\text{ersted}} \cdot (0,004 \cdot \pi))^2 - 0,12 \cdot (H_{\text{ersted}} \cdot (0,004 \cdot \pi)) - 0,59) \cdot 10^{-6} \cdot L_{\text{pl}}, \quad (1)$$

где H_{ersted} – величина внешнего магнитного поля, выраженная в Эрстедах, $L_{\text{pl}} = 10^{-1}(\text{м})$ – суммарная длина магнитострикционной пленки.

При воздействии внешнего магнитного поля, длина подложки резонатора увеличивается, пропорционально растет расстояние между электродами, что выражается формулой:

$$dp = p \cdot L / (dL), \quad (2)$$

где dL – абсолютное удлинение подложки резонатора, p – период следования электродов ($p = 1,84 \cdot 10^{-6}(\text{м})$ и $p = 3,64 \cdot 10^{-6}(\text{м})$), начальные периоды электродов встречно-штыревого преобразователя для датчика магнитного поля с центральной частотой соответственно, 860 МГц и 433,92 МГц), L – длина подложки резонатора на ПАВ ($L_{\text{подложки}} = 7 \cdot 10^{-3}(\text{м})$).

$$f_c = v / (2 \cdot (p + dp)), \quad (3)$$

где v – скорость ПАВ ($v = 3158(\text{м/с})$ – скорость ПАВ в кварцевой подложке), f_c – центральная частота амплитудно-частотной характеристики резонатора на ПАВ.

На основе приведенных выше формул построена графическая зависимость центральной частоты датчика от величины внешнего магнитного поля, приведенная на рис. 4.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

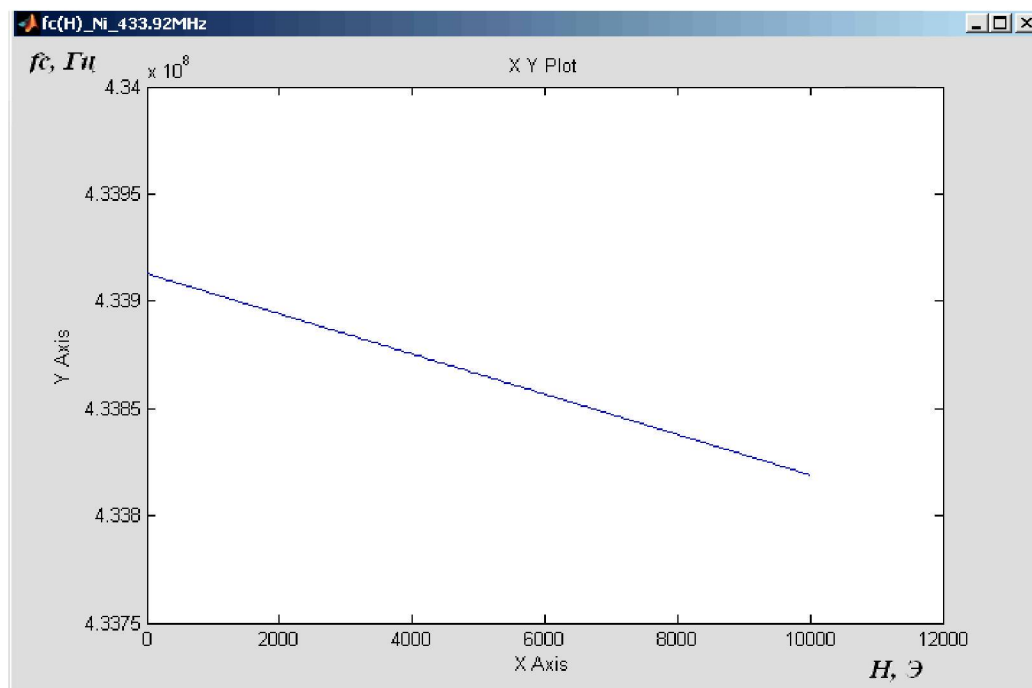


Рис. 4. Зависимость центральной частоты датчика на основе магнитострикционной пластины Ni от величины напряженности магнитного поля

Датчик на основе резонатора на ПАВ по сути представляет собой фильтр, АЧХ которого рассчитывается по формуле 4:

$$A(w) = 10 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot Y_g \cdot G_a(w)}{(G_a(w) + Y_g)^2 + (w \cdot C_{\text{випп}} - 1/(w \cdot L_c))^2} \right] \quad (4)$$

где Y_g – проводимость генератора, G_a – входная проводимость ВШП, $C_{\text{випп}}$ – емкость преобразователя, w – циклическая частота, L_c – согласующая индуктивность.

На основании формул (1), (2), (3) и (4) можно построить для датчика магнитного поля на основе резонатора на ПАВ с резонансной частотой, равной $f_0 = 433,92$ МГц, амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) с применением программных средств Matlab&Simulink (рис. 5).

Для повышения чувствительности датчика магнитного поля можно повысить его рабочую частоту до 860 МГц. Тогда изменение центральной частоты датчика будет иметь вид, приведенный на рис. 6.

Тогда по формуле (4), АЧХ датчика магнитного поля с центральной частотой 860 МГц будет иметь вид, изображенный на рис. 7.

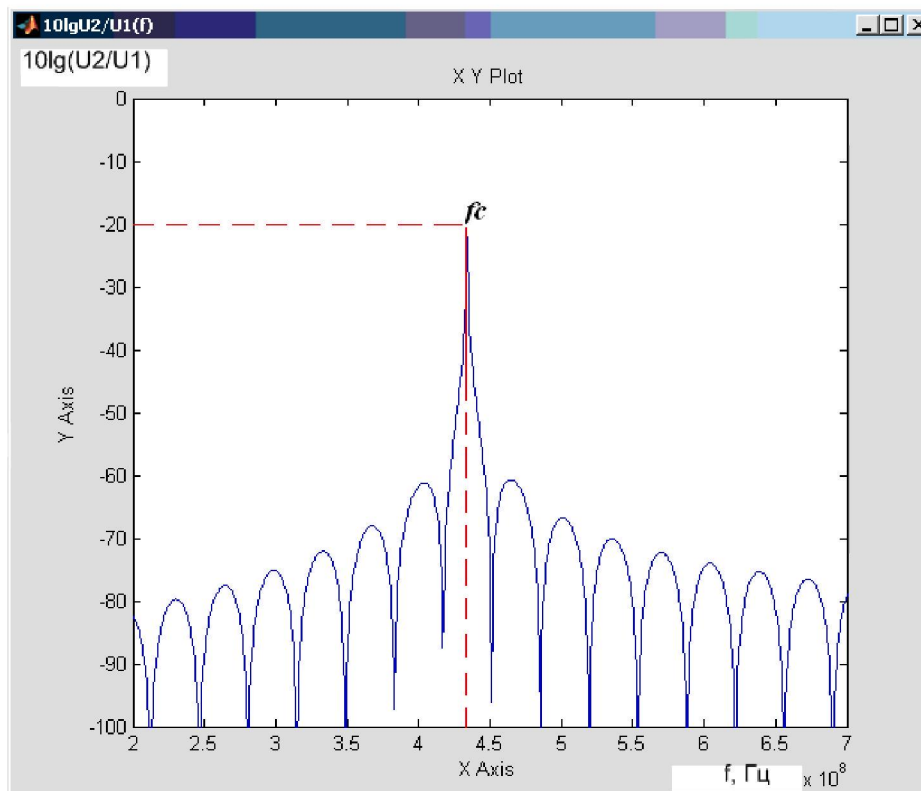


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика датчика магнитного поля на основе магнитострикционной пленки Ni с центральной частотой $f_c = 433,92$ МГц

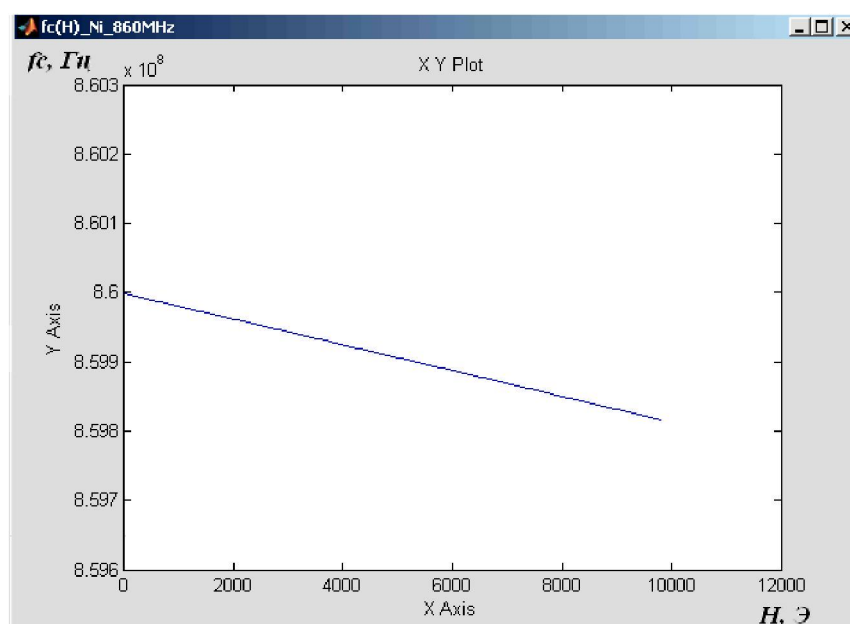


Рис. 6. Зависимость центральной частоты датчика на основе магнитострикционной пленки Ni от величины напряженности магнитного поля

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

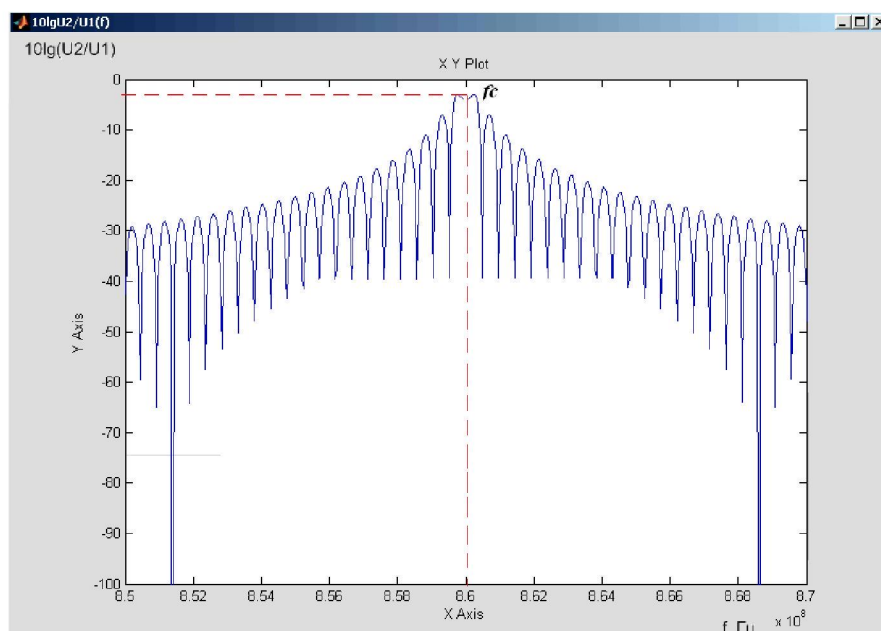


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика датчика магнитного поля на основе магнестрикционной пластины Ni с центральной частотой $f_0 = 860$ МГц

Как видно из графика, на данной частоте затухание электромагнитной волны меньше, чем в случае датчика с центральной частотой 433,92 МГц.

Конструкция датчика на основе сплавов 54 % Pt, 46 % Fe и 60 % Co, 40 % Fe приведена на рис. 8. Такая конструкция обусловлена тем фактом, что пластина, изготовленная из таких материалов, будет растягиваться под воздействием внешнего магнитного поля. В данном случае пластина крепится под резонатором на ПАВ, при этом первый жестко крепится к ее противоположным концам с помощью зажимов либо сварных соединений.

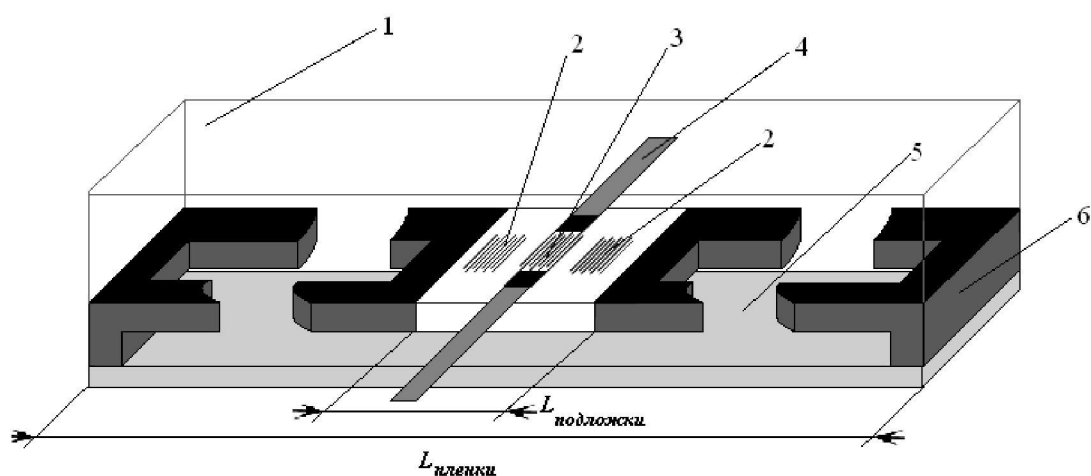


Рис. 8. Конструкция датчика магнитного поля на основе резонатора на ПАВ с применением магнестрикционных пленок из сплавов 54 % Pt, 46 % Fe и 60 % Co, 40 % Fe: 1 – корпус датчика, 2 – отражающие электроды резонатора на ПАВ, 3 – встречно-штыревой преобразователь, 4 – антенна – полуволновой вибратор, 5 – магнестрикционная пленка, 6 – крепления

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:

управление и высокие технологии № 4 (8) 2009

Таким образом, под воздействием внешнего магнитного поля пластина, изготовленная из магнитострикционного материала, будет удлиняться, растягивая подложку резонатора на ПАВ, что будет приводить к эффекту изменения частоты, о чем упоминалось выше.

Опрос датчиков может производиться по радиоканалу. При этом сигнал опросного устройства поступает на антенну сенсора, центральная частота которого изменилась под действием приложенного магнитного поля. Ответный сигнал датчика будет нести в себе значение измененной центральной частоты АЧХ.

Библиографический список

1. *Белов, К. П.* Магнитострикционные явления и их технические приложения / К. П. Белов. – М. : Наука, 1987.
2. *Однонаправленный* преобразователь поверхностных акустических волн / Г. Я. Карапетян, С. А. Багдасарян. – Патент на изобретение 2195069, приоритет 08.04.2002, БИ № 35, 2002.