

05

Преобразователь напряжения на основе инверсного магнитоэлектрического эффекта

© Д.А. Филиппов, Т.А. Галкина, В.М. Лалетин, G. Srinivasan

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого,
Великий Новгород, Россия
Институт технической акустики, Витебск, Беларусь
Physics Department, Oakland University, Rochester, MI 48309, USA
E-mail: Dmitry.Filippov@novsu.ru

Поступило в Редакцию 30 июня 2011 г.

Представлены экспериментальные исследования магнитоэлектрического преобразователя напряжения, работа которого основана на инверсном магнитоэлектрическом эффекте. Преобразователь напряжения состоит из конденсатора, представляющего собой слоистую структуру никель–цирконат-титанат свинца–никель, на которую намотана катушка индуктивности. Показано, что частотная зависимость имеет резонансный характер, а передаточная характеристика является линейной в широком диапазоне входных напряжений.

Инверсный магнитоэлектрический (МЭ) эффект заключается в изменении намагниченности под действием электрического поля. Он представляет интерес не только с теоретической, но и с практической точки зрения, поскольку позволяет управлять магнитными характеристиками вещества посредством электрического поля. В частности, на основе инверсного МЭ эффекта можно создать трансформатор, имеющий, в отличие от классического, всего одну катушку индуктивности.

Ранее [1–3] рассматривался принцип работы и конструкции МЭ трансформаторов. В [1,2] рассматривался МЭ трансформатор, в основу которого был положен принцип работы пьезоэлектрического трансформатора, управление свойствами которого, в частности резонансной частотой, осуществлялось при воздействии на магнитострикционную компоненту постоянным магнитным полем. Измерение резонансной частоты в такой структуре происходит вследствие дельта- E эффекта [4], т. е. изменения в магнитном поле Юнга. Присутствие магнитострикционной фазы позволяет управлять характеристиками МЭ трансформа-

тора, однако ее наличие приводит к значительному ухудшению характеристик таких структур по сравнению с обычными пьезоэлектрическими трансформаторами. Например, наличие в структуре пьезоэлектрического трансформатора магнитострикционной пластинки из D-терфенола толщиной 2.51 mm уменьшает коэффициент преобразования напряжения $k = U_{out}/U_{in}$, где U_{in} — входное напряжение, а U_{out} — выходное напряжение при резонансе в десятки раз, в частности с 75 до 3.1, для первой моды колебаний и с 115 до 4.2 для второй моды колебаний [2].

В работе [3] исследовалась структура, где в качестве магнитострикционной фазы использовался сплав FeBSiC, а в качестве пьезоэлектрической фазы — пьезокерамика цирконат-титанат свинца. Входной цепью являлась катушка индуктивности, намотанная на слоистую структуру в виде пластинки. Использование в качестве входной цепи катушки индуктивности позволяет использовать такую структуру в качестве гиратора, т.е. преобразователя ток–напряжение. Однако применение такой структуры в качестве преобразователя напряжения является неэффективным, поскольку использование в качестве входной цепи катушки индуктивности приводит к большим потерям энергии. В данной работе предложен преобразователь напряжения, действие которого основано на инверсном МЭ эффекте.

В феррит-пьезоэлектрических структурах МЭ эффект возникает в результате механического взаимодействия магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем. При инверсном эффекте в пьезоэлектрике под действием электрического поля возникают деформации, которые передаются в ферритовую фазу, где, вследствие магнитострикции, происходит изменение намагниченности. В работе [5] была представлена теория инверсного МЭ эффекта для образцов в форме пластинки. В качестве модели была рассмотрена структура, представляющая собой плоский конденсатор с намотанной на него катушкой индуктивности. Было показано, что с электрической точки зрения такую структуру можно рассматривать как преобразователь напряжения, коэффициент трансформации которого при продольной ориентации полей определяется выражением

$$k_L = \omega N \frac{WL}{t} \frac{d_{31}q_{31}}{s_{11}} \left(\frac{\operatorname{tg}(\kappa)}{\kappa} - 1 \right). \quad (1)$$

Здесь ω — угловая частота, N — число витков катушки, L , W , t — длина, ширина и толщина структуры соответственно, d_{31} , q_{31} — пьезоэлектрический и пьезомагнитный модули, s_{11} — модуль

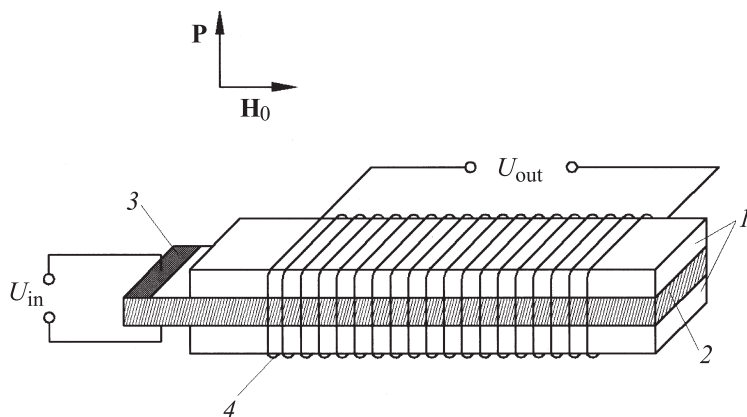


Рис. 1. Схематическое изображение структуры. 1 — феррит, 2 — пьезоэлектрик, 3 — контактные площадки, 4 — катушка. Стрелки указывают направление поляризации и направление постоянного магнитного поля.

податливости, $\kappa = kL$ — безразмерный параметр, где волновой вектор $k = \omega \sqrt{\rho s_{11}}$, ρ — плотность материала.

С целью экспериментальной проверки теории была изготовлена структура, изображенная на рис. 1.

Она представляла собой трехслойную структуру никель–цирконат-титанат свинца–никель, изготовленную в форме прямоугольной пластины длиной $L = 20$ mm, шириной $W = 3$ mm, толщина одной пластины никеля $t_1 = 0.25$ mm, толщина пьезокерамики $t_2 = 0.2$ mm. При исследовании на обкладки конденсатора подавалось переменное напряжение частотой 0–500 kHz и снималась выходное напряжение с катушки индуктивности.

На рис. 2 представлена частотная зависимость выходного напряжения на катушке индуктивности при подаче на вход переменного напряжения $U_{in} = 2$ V и величине подмагничивающего поля $H_0 = 50$ е. Подмагничивающее поле создавалось путем подачи на катушку индуктивности постоянного напряжения.

Как видно из рисунка, в полном соответствии с теорией, на низкой частоте наблюдается линейное увеличение сигнала с ростом частоты. По мере приближения к резонансу эта зависимость становится нелинейной. Когда параметр κ принимает $\kappa = \pi/2$ наблюдается пиковое

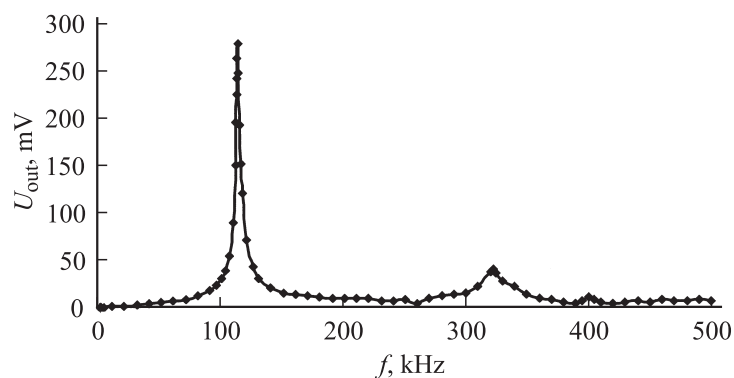


Рис. 2. Частотная зависимость выходного напряжения. Напряжение на входе $U_{in} = 2$ V.

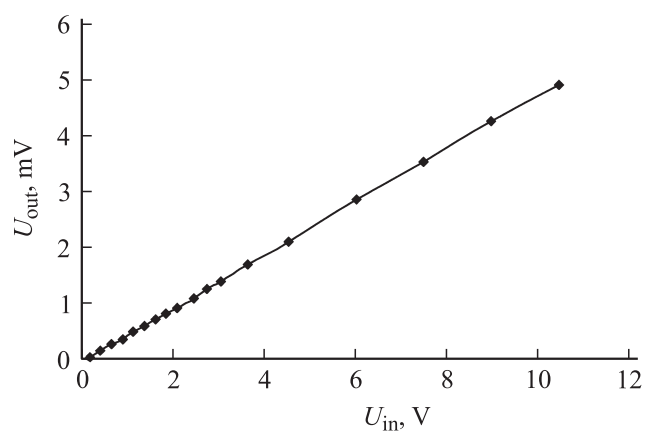


Рис. 3. Зависимость напряжения на выходе от напряжения на входе на частоте $f = 10$ kHz.

увеличение выходного напряжения. Согласно [5], резонансные частоты определяются выражением $f_{res} = (n + 1/2)/(L\sqrt{\rho s_{11}})$. На рисунке наряду с основным резонансом, наблюдаемым на частоте $f_1 = 110$ kHz, хорошо заметна вторая гармоника, наблюдаемая на частоте $f_2 = 330$ kHz.

На рис. 3 представлена зависимость величины выходного напряжения от входного, измеренная на частоте $f = 10$ kHz.

Как видно из рисунка, наблюдается хорошая линейная зависимость между входным и выходным напряжением. Коэффициент трансформации на этой частоте равен $k_L = 0.46 \cdot 10^{-3}$. Таким образом, данную структуру можно использовать как маломощный преобразователь напряжения, имеющий, в отличие от стандартного, всего одну обмотку, что позволяет существенно упростить конструкцию и уменьшить габариты устройства.

Список литературы

- [1] Wang Y., Wang F., Wing Or S., Chan H.L.W., Zhao X., Luo H. // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. P. 113503(1–3).
- [2] Lu L., Gao Y.Y., Zhou J.P., Wang P., Liu P., Chen X.M. // Chinese Sci. Bull. 2011. V. 56. N 7. P. 700–703.
- [3] Dong S., Zhai J., Priya S., Li J.-F., Viehland D. // IEEE Trans. on Ultrason., and Freq. Contr. 2009. V. 56. N 6. P. 1124–1127.
- [4] Srinivasan G., De Vreugd C.P., Laletin V.M., Paddubnaya N., Bichurin M.I., Petrov V.M., Filippov D.A. // Phys. Rev. B. 2005. V. 71. P. 184423(1-6).
- [5] Филиппов Д.А., Галкина Т.А., Srinivasan G. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 21. С. 23–28.