

УДК 537.622

А.В.Филиппов, С.В.Белый, Джуни Жай*, Г.А.Семенов

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГИРАТОР

Институт электронных и информационных систем НовГУ

*Вирджинский технический университет, Блэксбург, США

Review of various gyrator types is considered. Design and application of new magnetoelectric gyrator on treelayer structure is produced. Measurement and simulation data of the gyrator basic characteristics are given. Magnetoelectric gyrator can be usable in techniques and technologies field such as nanoelectronics and spintronics.

Введение

В настоящее время наряду с резистором, емкостью, индуктивностью и трансформатором широко известен пятый элемент электрической цепи — гиратор. Схемотехническое решение гиратора часто используется при построении R - C фильтров. При этом удается заменить катушки индуктивности конденсаторами и получить безиндуктивные цепи, что приводит к упрощению технологии и повышению надежности схемы. В схемотехнике используется схема, построенная на операционных усилителях и резисторах. Такая гираторная схема, нагруженная на емкость и включенная в остальную схему как двухполосник, имитирует индуктивность. Причем соотношение между эквивалентными индуктивностями и емкостями внутри гираторной схемы всегда одно и то же: $L_g = G^2 \cdot C_g$; $C_g = L_g / G^2$, где G — коэффициент гирации. С помощью гираторной схемы и одних только емкостей можно создавать схемы, эквивалентные любым L - C соединениям.

В 1948 г. Бернард Телеген опубликовал свою работу по классическим элементам цепи «The gyrator a new network element», в которой описывал совершенно новый элемент схемы — идеальный гиратор

[1]. По определению, данному Телегеном, гиратор — это базовый элемент электрической цепи, который может быть выполнен с использованием магнитоэлектрического элемента, отвечающий общим уравнениям четырехполосника и обладающий следующими свойствами:

— преобразования тока в напряжение и наоборот;

— изменения фазы входного сигнала на 180° ;

— если к входу гиратора подключить индуктивность L , на выходе обнаружим емкость $C = L / G^2$, и наоборот, если соединить входные клеммы с емкостью C , между выходными клеммами обнаружим индуктивность $L = G^2 C$;

— если соединить входные клеммы с сопротивлением Z , то обнаружим на выходе сопротивление величины G^2 / Z .

В статье освещается проблема создания гиратора как элемента функциональной электроники, работа которого основана на магнитоэлектрическом (МЭ) эффекте. Рассматривается низкочастотный МЭ гиратор, построенный на трехслойной структуре. Представлены результаты компьютерного моделиро-

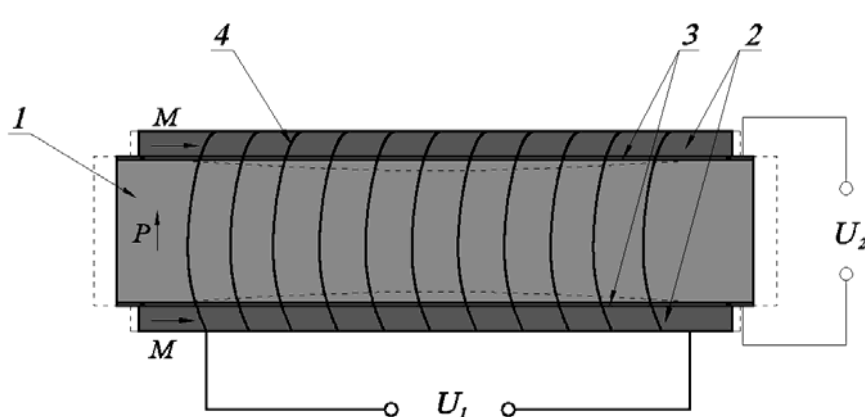


Рис.1. МЭ гиратор на трехслойной структуре. 1 — слой пьезоэлектрического материала; 2 — слой пьезомагнитного материала; 3 — обкладки; 4 — катушка индуктивности; M — вектор постоянного подмагничивающего поля; P — вектор поляризации диэлектрического слоя; U_1 — входное напряжение; U_2 — выходное напряжение

вание параметров гиратора, а также результаты его экспериментального исследования.

Низкочастотный МЭ гиратор на трехслойной структуре

В общем случае МЭ гиратор может представлять собой многослойную структуру, в нашем случае это трехслойная структура на основе материалов, содержащих две фазы — магнитострикционную и пьезоэлектрическую.

Две фазы необходимы для выполнения принципа действия гиратора на основе МЭ эффекта. МЭ эффект заключается в индуцировании электрической поляризации в материале во внешнем магнитном поле или в появлении намагниченности во внешнем электрическом поле. Для существования МЭ эффекта материал должен обладать одновременно как магнитным, так и электрическим упорядочением, т. е. быть, к примеру, магнетиком и сегнетоэлектриком.

Для получения гиратора, обладающего свойствами, близкими к свойствам идеального гиратора, необходимо выполнение следующего условия:

$$K = \frac{\alpha_{ME}}{\sqrt{\mu_{eff} \epsilon_{eff}}} \leq 1,$$

где α_{ME} , ϵ_{eff} , μ_{eff} — эффективные магнитоэлектрическая восприимчивость, диэлектрическая и магнитная проницаемости соответственно. В области низких частот получены значения $K \sim 0,1$, а в области электромеханического резонанса значение K возрастает до 0,8. Поскольку коэффициент гирации существенно зависит от МЭ восприимчивости, то при значении K , близком к 1, можно реализовать квазиидеальный гиратор. Из приведенной формулы следует, что для построения гиратора со свойствами, близкими к свойствам идеального гиратора, т.е. для повышения значения МЭ восприимчивости, необходимо перейти в область электромеханического резонанса.

Исследуемый низкочастотный МЭ гиратор работает как импедансный преобразователь в двух режимах: либо как преобразователь индуктивности в емкость и наоборот; либо как преобразователь активных сопротивлений.

Конструктивно предлагаемый гиратор представляет собой трехслойную структуру: слои из пермендюра и цирконат-титаната свинца, склеенные между собой. Размеры слоев $12 \times 6 \times 1$ мм и $12 \times 6 \times 0,5$ мм соответственно. Гиратор на трехслойной структуре изображен на рис.1. Для возбуждения переменного магнитного поля используется катушка 4, намотанная вокруг слоистой структуры. Диэлектрический слой 1 поляризован перпендикулярно плоскости образца, данная структура работает на основе L - T моды. На клеммы катушки 4, являющиеся входом гиратора, подается напряжение U_1 , создающее вокруг катушки переменное магнитное поле. С нанесенных на диэлектрический слой обкладок 3, являющихся выходом гиратора, снимается выходное напряжение U_2 .

Компьютерное моделирование гиратора проводилось при помощи пакета программ схемотехнического анализа MicroCAP-7. В данной программе была построена схема гиратора, позволяющая получить данные, находящиеся в удовлетворительном соответствии с экспериментом (см. рис.2).

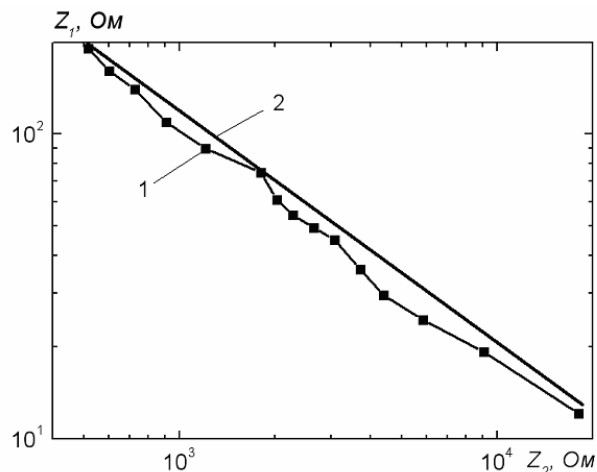


Рис.2. Зависимости сопротивления Z_1 на входе гиратора от сопротивления Z_2 на выходе: 1 — экспериментальные данные; 2 — данные моделирования

Также были проведены моделирование и экспериментальные исследования зависимости индуктивности во входной цепи (от 30 мкГн до 150 мкГн) от емкости на входе гиратора (от 100 пФ до 5000 пФ) как в прямом, так и в обратном направлении [2, 3] (рис.3).

Из приведенных выше линейных зависимостей видно, что разработанный МЭ гиратор работает как импедансный преобразователь.

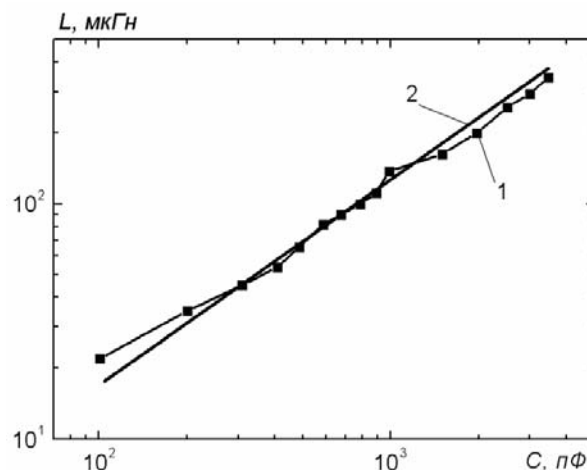


Рис.3. Зависимость индуктивности от емкости: 1 — экспериментальные данные; 2 — данные моделирования

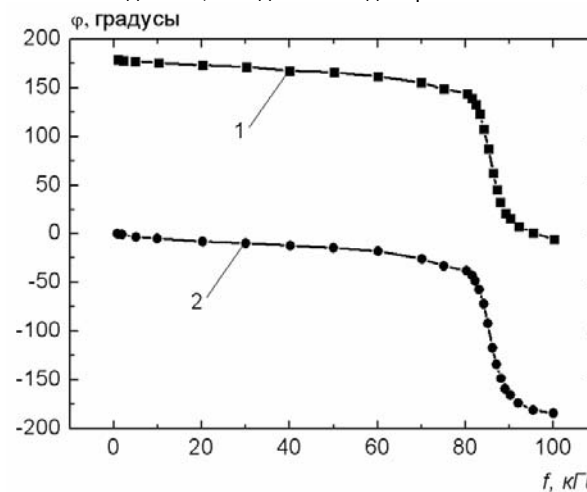


Рис.4. Сдвиг фаз между током и напряжением: 1 — сдвиг фаз между выходным напряжением и входным током; 2 — сдвиг фаз между выходным током и входным напряжением

В ходе эксперимента также наблюдался сдвиг фаз на 180° между входным напряжением и током на выходе и между током на входе и напряжением на выходе (экспериментальные данные представлены на рис.4) [2]. Это свойство невязимности спроектированного гиратора позволит осуществить согласование различных нагрузок, что очень важно при согласовании на высоких частотах.

МЭ гиратор работал в широком диапазоне частот от 20 кГц до 200 кГц. Исследуемый гиратор обладал коэффициентом гирации равным 170 Ом на частоте, близкой к частоте электромеханического резонанса 88 кГц [3].

Заключение

Разработанный гиратор обладает линейными характеристиками преобразования импедансов — преобразования индуктивности в емкость и преобра-

зования одного сопротивления в другое, также при помощи магнитоэлектрического гиратора можно получить сдвиг фаз в 180° . Для получения более высоких характеристик необходимо дальнейшее исследование устройства. Применение магнитомягких материалов позволит получить более высокие коэффициенты гирации при малых внешних магнитных полях. Это приведет к микроминиатюризации устройства.

1. Tellegen B.D.H. // Philips Research Reports. 1948. Vol.3. P.81-101.
2. Zhai Junyi, Li Jiefang, Dong Shuxiang, Viehland D., Bichurin M.I. // JAP. 2006. V.100. 124509.
3. Филиппов А.В., Белый С.В., Жай Джуни. // Тез. докл. 13-й Всерос. науч. конф. студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-13). Ростов-на-Дону — Таганрог: Изд-во АСФ России, 2007. С.577-578.