

*Вал. С. ВУНТЕСМЕРИ, канд. техн. наук*

### ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЙ ДЕТЕКТОР СВЧ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОЙ ПЛЕНКИ В КООКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Гальваномангнитные детекторы на основе ферромагнитных пленок, работающие в режиме ферромагнитного резонанса, обладают высоким быстродействием, малым значением паразитных сигналов, хорошей технологичностью и высокой радиационной устойчивостью, достаточно высокой линейностью по отношению к величине СВЧ-мощности и могут быть успешно использованы для измерения и контроля импульсной СВЧ мощности среднего и высокого уровней [1].

Рассмотрим гальваномангнитный детектор (ГМД), представляющий собой ферромагнитную пленку (ФМП), свернутую в цилиндр вокруг разрыва центрального проводника коаксиальной линии передачи (рис. 1). Из соображений симметрии постоянное магнитное поле направим вдоль центральной оси коаксиала. В этом случае в тонкой, меньше глубины скин-слоя пленке будет протекать СВЧ-ток, плотность которого

$$J_z = \frac{1}{2\pi R \delta} \sqrt{\frac{2P}{W_n}}, \quad (1)$$

где  $P$  — мощность, проходящая по согласованной коаксиальной линии;  $W_n$  — волновое сопротивление линии;  $\delta$  — толщина пленки.

Ток, протекающий в линии, создает в пленке СВЧ магнитное поле, напряженность которого будет линейно изменяться по толщине пленки. Однако поскольку толщина пленки значительно меньше глубины проникновения и нас интересует однородное колебание намагниченности, то достаточно знать среднее по толщине значение напряженности магнитного СВЧ-поля

$$h_{\varphi} = \frac{1}{2} J_z \delta. \quad (2)$$

При колебании вектора намагниченности ФМП под действием СВЧ магнитного поля в результате проявления аномального эффекта Холла и магнитосопротивления в пленке происходит модуляция удельного сопротивления. А так как в пленке протекает СВЧ-ток той же частоты, то, по существу, пленка представляет собой параметрический детектор, полезным сигналом которого является низкочастотная со-

ставляющая преобразованного поля. Поскольку фазовый сдвиг между напряженностью СВЧ магнитного поля в пленке и током проводимости равен нулю, то согласно работе [2] преобразованное поле выражается как

$$E_0 = \frac{1}{2} J_z h_\Phi \left( \frac{\Delta\rho}{M_0} \kappa' + R_1 k'' \right), \quad (3)$$

где  $\Delta\rho$  — анизотропия магнитосопротивления;  $M_0$  — намагниченность насыщения пленки;  $R_1$  — постоянная аномального эффекта Холл

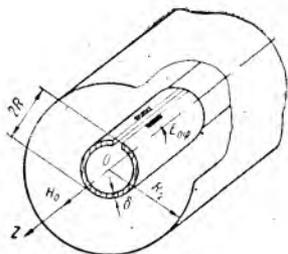


Рис. 1. Магнитная пленка в коаксиальной линии передачи

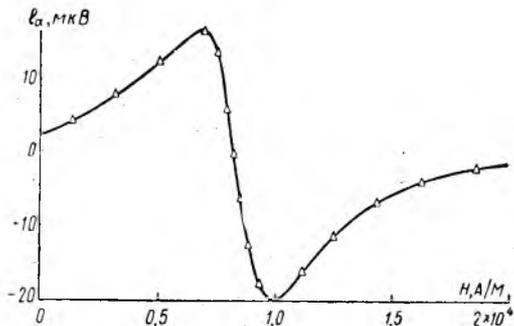


Рис. 2. Зависимость ЭДС, снимаемой с пленки, от напряженности постоянного магнитного поля  $f=2,5$  ГГц;  $P=500$  мВт

ла;  $R$  — радиус центрального проводника коаксиала;  $\kappa'$   $k''$  — соответственно действительная часть диагональной и мнимая часть недиагональной компоненты тензора магнитной восприимчивости ФМП, которые для области частот  $\omega < \omega_m$  и  $\alpha \ll 1$  выражаются как

$$\kappa' = \frac{\omega_m}{\omega\alpha} \cdot \frac{\xi}{1 + \xi^2}; \quad k'' = \frac{1}{\alpha} \frac{1}{1 + \xi^2}; \quad (4)$$

здесь  $\omega_m = \mu_0 \gamma M_0$ ;  $\xi = 2 \frac{H - H_p}{2\Delta H}$  — обобщенная расстройка по магнитному полю;  $H$  — напряженность внешнего магнитного поля;  $H_p$  — напряженность резонансного поля;  $2\Delta H$  — ширина резонансной кривой;  $\gamma$  — гиромагнитное отношение электрона;  $\alpha$  — постоянная затухания ФМП.

Подставляя значение выражений (1), (2), (4) в (3), после очевидных преобразований получим поле детектирования

$$E_{0\Phi} = \frac{1}{4\pi R^2 W_n \alpha d} \cdot \frac{1}{1 + \xi^2} \left( \frac{\mu_0 \gamma}{\omega} \Delta\rho \xi - R_1 \right) \cdot P. \quad (5)$$

Интегрируя равенство (5) вдоль пленки между контактами съема ЭДС и относя полученную ЭДС к проходящей мощности, в случае незначительного затухания, вносимого пленкой, окончательно получим коэффициент преобразования детектора

$$K = \frac{l}{P} = \frac{R_{\square}}{2\pi R W_n \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \xi^2} \left( \frac{\mu_0 \gamma}{\omega} \frac{\Delta\rho}{\rho} \xi - \frac{R_1}{\rho} \right),$$

Используя выражение (1), нетрудно найти коэффициенты влияния

$$K_{\text{вк}} = 2 \lg e \{-\xi^4 + 2K(1+K)\xi^2 + 2\xi^2[(1+K)^2 - K_c^2] + [(1+K)^2 + K_c^2](K^2 - 1 - K_c^2)\} \Delta^{-1};$$

$$K_{\text{вк}0} = 2 \lg e \{-\xi^4 - 2\xi^2(1+K)^2 + [K_c^4 - (1+K)^4]\} \Delta^{-1};$$

$$\Delta = \left\{ \xi^4 + 2\xi^2[(1+K)^2 - K_c^2] + [(1+K)^2 + K_c^2] \lg \left[ \frac{\xi^4}{4K^2K_c^2} + \frac{\xi^2[(1+K)^2 - K_c^2]}{2K^2K_c^2} + \left[ \frac{(1+K)^2 + K_c^2}{2KK_c} \right]^2 \right] \right\}. \quad (4)$$

В частном случае, на центральной частоте полосы пропускания соотношения для относительного изменения вносимых потерь имеют вид

$$\frac{\Delta L}{L} = \lg e \frac{K^2 - 1 - K_c}{\Delta_0} \cdot \frac{\Delta K}{K}; \quad \frac{\Delta L}{L} = \lg e \frac{K_c^2 - (1+K)^2}{\Delta_0} \cdot \frac{\Delta K_c}{K_c};$$

$$\Delta_0 = [(1+K)^2 + K_c^2] \lg \left[ \frac{(1+K)^2 + K_c^2}{2KK_c} \right]. \quad (5)$$

По этим формулам можно рассчитать и построить ряд номограмм, облегчающих отыскание соотношений между относительным измене-

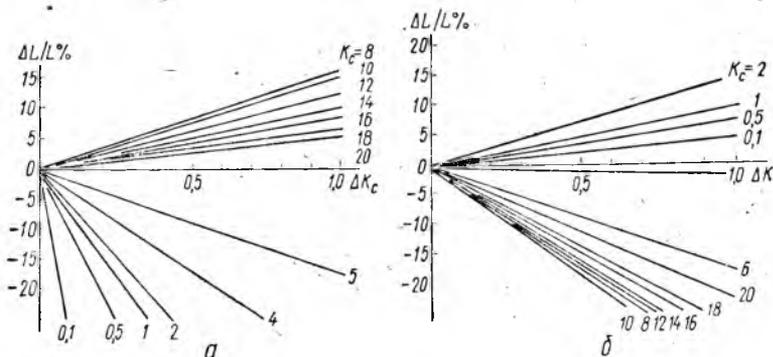


Рис. 1. Зависимости изменения вносимых потерь при вариации коэффициентов взаимной связи резонаторов (а) и коэффициентов связи резонаторов с подводящими линиями передачи (б) в случае  $K=5$

нием вносимых потерь фильтра и вариаций коэффициентов связи  $K$  и  $K_c$ . Так, в случае  $K = 5$  такие номограммы имеют вид, представленный на рис. 1. Используя зависимости, описываемые соотношениями (5), можно наилучшим образом распределять допустимые погрешности между коэффициентами связи, поскольку критичность изменения вносимых потерь неодинакова для разных значений  $K$  и  $K_c$ .

где  $\rho$  — удельное объемное сопротивление пленки;  $R_{\square}$  — поверхностное сопротивление пленки.

Экспериментальные исследования проводились в коаксиальной линии  $10 \times 4,34$  мм<sup>2</sup>. В качестве чувствительного элемента использовалась пленка состава 80 Ni — 20 Fe с параметрами:  $\Delta\rho/\rho = 6 \times 10^{-3}$ ;  $\alpha = 7.10^{-3}$ ,  $R_{\square} = 7,3$  Ом;  $M_0 = 7.10^5$  А/м. Экспериментальная зависимость ЭДС от напряженности магнитного поля на частоте 2,5 ГГц, при уровне мощности 500 мВт представлена на рис. 2. Как видно, зависимость имеет ярко выраженный дисперсионный характер, причем ее максимумы отмечаются незначительно, что подтверждает основной вклад в это явление магнитосопротивления и незначительный вклад аномального эффекта Холла.

1. А. с. 357530 (СССР). Измеритель мощности / А. А. Бокринская, В. С. Вунтесмери. — Оpubл. в Б. и., 1972, № 33. 2. Вунтесмери В. С. Детектирование на основе гальваномагнитных явлений в ферромагнитных пленках. — Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника, 1976, XIX, № 2, с. 10.

Поступила в редколлегию 02.09.82

УДК 621.373.826

В. С. ГАСЮК, студ., Л. К. ЯРОВОЙ, мл. науч. сотр.

#### УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АПЕРТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

Рассмотрим установку для измерения апертурных характеристик оптических волноводов (ОВ), числовой апертуры (НА), диаграммы направленности световода, распределения интенсивности излучения в ближней и дальней зонах световода (рис. 1). Установка предназначена для работы в производственных условиях и лабораторных исследований ОВ.

Источником излучения в установке служит He—Ne лазер 1, излучение от которого, пройдя модулятор 2 и диафрагму 3, фокусируется на входном торце ОВ 6 с помощью сменного объектива 4. Концы измеряемого ОВ закреплены на микрометрических столиках 5 и 7, а входной конец ОВ расположен, кроме того, на поворотном столе. Для сканирования диаграммой направленности ОВ апертуры 10 фотоприемника 11 используется вращающееся зеркало 9. Такой метод снятия диаграммы направленности, по сравнению с традиционными используемыми в апертурных измерениях 11, 21, позволяет упростить механический привод и автоматизировать процесс измерения. Относительная погрешность измерения апертурного угла —  $\delta\alpha$  при выбранном методе определяется выражением  $\delta\alpha = (a \sin \alpha) / (\alpha + a \sin \alpha)$ . Здесь  $\alpha$  — истинный угловой размер диаграммы направленности;  $a = l_1/l_2$  ( $l_1$  — расстояние от торца ОВ до оси вращения зеркала;  $l_2$  — расстояние от оси вращения зеркала до диафрагмы 10 фотоприемника 11). В установке погрешность  $\delta\alpha$  не превышает 1 %.

Привод механизма поворота зеркала связан с оптоэлектронным датчиком угла 8. Регистрация распределения интенсивности излучения в дальнем поле  $J(\alpha)$  и сигнала датчика угла производится двухлучевым запоминающим осциллографом 13 и самописцем 14.