

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕРРИТОВ В СИСТЕМАХ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В. М. Евсеев, В. Н. Свитенко, Г. И. Сидоров

Х а р ь к о в

Построение излучающих систем из ферритовых стержней на сверхвысоких частотах уже освещено в литературе [1]. Работа названных устройств основана на регулировании амплитуды и фазы излучаемой энергии.

Если использовать эффект Фарадея в феррите, заключающийся во вращении плоскости поляризации электромагнитной волны в продольном магнитном поле, можно получить амплитудную или фазовую модуляцию несущей [2]. Антенная головка с излучающим ферритовым стержнем показана на рис. 1. Последний ориентирован вдоль оси прямоугольного питающего волновода. Фильтр типа волны, выполненный из медной проволоки диаметром 1 мм, проходит сквозь феррит и касается стенок круглого волновода.

Если вектор поляризации падающей волны перпендикулярен стержню фильтра, то волна распространяется практически без потерь. При повороте плоскости поляризации на 90° часть падающей на фильтр высокочастотной энергии поглощается, часть отражается, давая общее ослабление излучаемой энергии свыше 20 дб. Следовательно, если управлять законом изменения продольного магнитного поля, то излучаемая энергия будет промодулирована по амплитуде. В излучающей головке поворот плоскости поляризации на 90° происходил при приложении к ферриту продольного магнитного поля напряженностью 40 э.

Как известно [1], диаграмма излучения однородного диэлектрического стержня круглого поперечного сечения, возбуждаемого волной TE_{11} , приближенно выражается уравнением

$$E_\theta = \frac{(K-1) \sin \frac{\pi L}{\lambda_0} (K - \cos \theta)}{(K - \cos \theta) \sin \frac{\pi L}{\lambda_0} (K-1)} \cos \left(\frac{\pi d}{\lambda_0} \sin \theta \right), \quad (1)$$

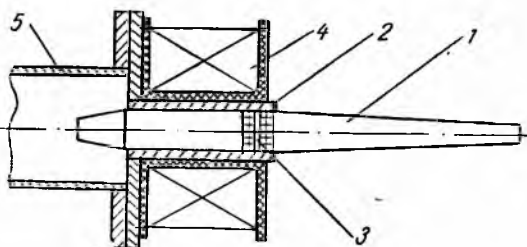


Рис. 1. Антенная головка:

1 — излучающий ферритовый стержень; 2 — отрезок круглого волновода; 3 — фильтр типа волны; 4 — модулирующая катушка; 5 — прямоугольный волновод.

где E_0 — нормированная напряженность электрического поля;
 θ — угол между осью диэлектрического стержня и направлением, в котором определяется поле;
 L — длина диэлектрического стержня;
 λ_0 — длина волны в свободном пространстве;
 λ — длина волны в диэлектрике бесконечно больших размеров;
 d — диаметр диэлектрического стержня.
 Отношение $K = \frac{\lambda}{\lambda_0}$, при котором получают оптимальные характе-

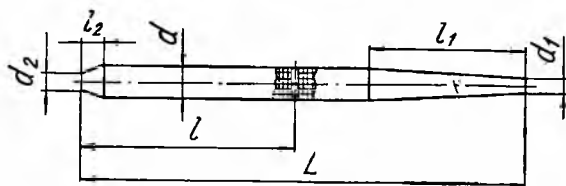


Рис. 2. Излучающий ферритовый стержень.

ристики излучения, равно 1,1 при условии, что вдоль стержня не возникают стоячие волны. Для того, чтобы это выполнялось, необходимо стержень заострять к концу для согласования со свободным пространством. Оптимальный диаметр ферритового

стержня (рис. 2) определяем по формуле [1]

$$d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\pi(\mu\epsilon - 1)}}, \quad (2)$$

где μ — магнитная проницаемость;
 ϵ — диэлектрическая проницаемость;
 λ_0 — длина волны в свободном пространстве.

Для выбранного магний-марганцевого феррита марки Ф/3-3 $\mu = 1$, $\epsilon = 8,5 \div 9$, что дает при вычислении по формуле (2) $d = 6,35$ мм при $\lambda_0 = 3,2$ см значение d составляет $0,63d$.

Критическую частоту $f_{кр}$ в волноводе с круглым поперечным сечением, заполненном диэлектриком, при возбуждении в нем волны TE_{11} определяем по формуле

$$f_{кр} = \frac{0,293c}{a\sqrt{\mu\epsilon}}, \quad (3)$$

где c — скорость света;
 a — радиус круглого волновода.

При вычислении по формуле (3) в диапазоне частот порядка 9000 — 10000 мГц необходимо иметь d не менее 6,1 мм. Остальные параметры ферритового стержня, а именно: длина конической части l_1 , являющаяся функцией всей длины стержня L , длина отрезка круглого волновода, длина большого конуса l , длина l_2 и диаметр d_2 малого конуса были определены экспериментально.

В таблице приведены геометрические размеры удлиненного и укороченного ферритовых стержней.

Вид стержня	Размеры стержня, мм						
	L	l	l_1	l_2	d	d_1	d_2
Укороченный стержень	80	30	37	7	7	4	55
Удлиненный стержень	100	30	37	7	7	4	55

Малые размеры ферритового стержня дают возможность непосредственно возбуждать его из открытого конца волновода, причем согласование полных сопротивлений достигается регулировкой глубины погружения ферритового стержня в волновод. Входной конец стержня заостряется для уменьшения критичности регулировки. Коэффициент стоячей волны напряжения системы на входе менее 1,2 в пятипроцентном диапазоне частот.

Экспериментально снятые нормированные диаграммы направленности для удлиненного и укороченного ферритовых стержней в горизон-

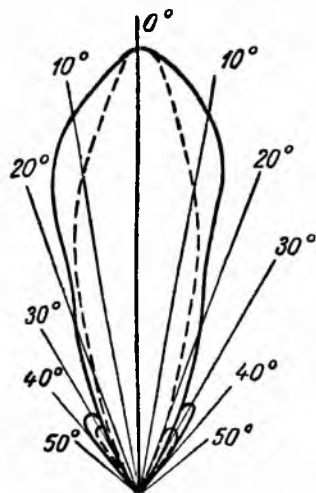


Рис. 3. Диаграммы направленности укороченного и удлиненного стержня:
— — — — — удлиненный стержень
— — — — — укороченный стержень.

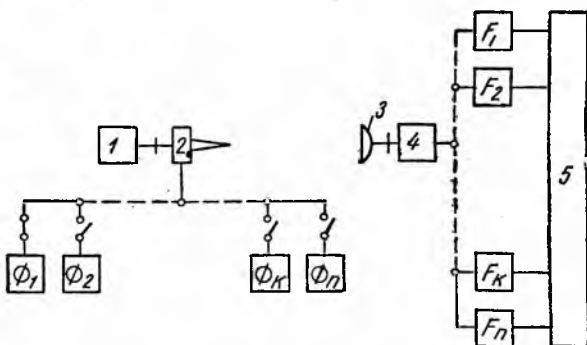


Рис. 4. Блок-схема системы радиотелеуправления:
1 — генератор СВЧ; 2 — модуляционно-излучающая головка с ферритовым стержнем; 3 — радиоприемная антенна; 4 — радиоприемное устройство; 5 — управляющее устройство; $F_1, F_2, \dots, F_N$ — генераторы командных сигналов; $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_N$ — фильтры частот.

тальной плоскости представлены на рис. 3. Ширина главных лепестков на уровне половинной мощности для удлиненного стержня в горизонтальной плоскости $\varphi = 22^\circ$ и в вертикальной $\theta = 53^\circ$, для укороченного соответственно $\varphi = 30^\circ$ и $\theta = 60^\circ$. Максимальный коэффициент усиления по сравнению с открытым концом волновода равен 35. При снятии характеристик направленности широкая стенка питающего прямоугольного волновода расположена в горизонтальной плоскости. Экспериментальные диаграммы направленности отличаются от теоретических за счет появления боковых лепестков.

Описанные выше ферритовые антенны применяются в некоторых системах радиоуправления промышленными объектами.

Как известно, различают два вида радиоуправления: радиотелеуправление, т. е. передача командных сигналов, и радиотеленавешивание, т. е. обеспечение движения объекта по равносигнальной зоне. Рассмотрим возможность применения ферритовых антенн в системах радиоуправления обоих видов.

Исследовался лабораторный макет СВЧ девятиканальной системы радиотелеуправления с амплитудной модуляцией несущей и частотным разделением каналов, функциональная блок-схема которой представлена на рис. 4. В качестве генераторов несущей частоты использовались клистроны 2-х типов. Модулирующие командные напряжения низких частот прикладываются к антенной катушке. Чтобы обеспечить модуляционной характеристике линейность по катушке, пропускается подмагничивающий ток величиной 10 ма.

При приложении к катушке индуктивности низкочастотного модулирующего напряжения плоскость поляризации падающей электромагнитной волны будет поворачиваться. Угол поворота плоскости поляризации пропорционален намагниченности феррита, которая меняется с изменением внешнего поля по гистерезисной петле [2]. Вследствие этого зависимость угла поворота от намагничивающего поля имеет гистерезисный характер. Таким образом, если управляющее поле меняется по гармоническому закону, то изменение угла поворота плоскости поляризации во времени будет происходить по другому закону, т. е. форма огибающей излучаемой электромагнитной волны не

будет в точности повторять форму модулирующего сигнала. Применяя ферриты с узкой петлей гистерезиса, можно обеспечить минимум нелинейных искажений в пределах нескольких процентов.

Частоты команд 1700, 2300, 3900, 5400, 7350, 10500, 14500, 22000 *гц* выбраны из условий минимального взаимного влияния между каналами [3]. В разработанном и испытанном дешифраторе была получена минимальная развязка между каналами 26 *дб*.

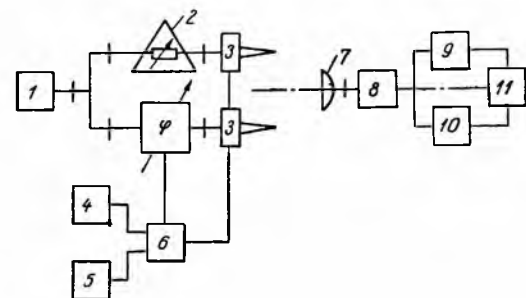


Рис. 5. Блок-схема системы радиотеленавещения:

- 1 — генератор СВЧ; 2 — управляемый аттенюатор; 3 — модуляционно-излучающие головки; 4 — генератор частоты Ω ; 5 — генератор частоты Ω_2 ; 6 — коммутатор; 7 — приемная антенна; 8 — радиоприемное устройство; 9 — фильтр частоты Φ_1 ; 10 — фильтр частоты Φ_2 ; 11 — управляющее устройство; φ — управляемый ферритовый фазовращатель.

В качестве приемных устройств использовались приемник прямого усиления и супергетеродинный приемник. Как показали эксперименты, использование приемника прямого усиления в таких системах невозможно из-за весьма низкой помехоустойчивости — в этом случае помеха попадает прямо на детектор и вход усилителя низкой частоты. Применение супергетеродинного приемника обеспечивает высокую помехоустойчивость, поскольку в диапазоне сантиметровых волн промышленные помехи отсутствуют, а внутренние шумы приемника можно не принимать во внимание, так как в рассматриваемом случае напряженность поля сигнала на входе приемника достаточно велика, что обеспечивает высокое отношение сигнал — шум.

Функциональная блок-схема системы радиотелеуправления по равносигнальной зоне представлена на рис. 5. Ферритовые излучатели имеют разную длину, вследствие чего диаграммы направленности их различны (рис. 3). Путем укорачивания одного из излучателей, подбором расстояния между ними, а также изменением соотношения излучаемых мощностей за счет введения в одно из плеч антенной системы управляемого аттенюатора можно получить результирующую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости, смещенную относительно осей линии. Рассмотрим работу такой антенно-фидерной системы. В исходном состоянии лепесток модулируется частотой Ω_1 путем подачи напряжения на обе антенные катушки. Затем на фазовращатель подается импульс тока, и фаза электромагнитной волны в том плече антенной системы, в котором включен фазовращатель, изменится. Можно подобрать такую величину импульса, при которой фаза изменится настолько, что диаг-

рамма направленности двух ферритовых излучателей будет смещена в противоположную сторону (рис. 6). И в этот момент лепесток будет промодулирован второй частотой Ω_2 . Частота коммутации лепестка диаграммы направленности выбирается равной 50 гц, частоты модуляции Ω_1 и Ω_2 соответственно 1700 и 2300 гц.

Для скачкообразного изменения фазы электромагнитной волны служит ферритовый фазовращатель, в котором также используется стержень из массы Ф 3-3, закрепленный вдоль оси отрезка прямоугольного волновода в продольном магнитном поле, создаваемом катушкой индуктивности, намотанной непосредственно на волноводе. Фазовращатель обеспечивает получение фазового сдвига до 600° , линейный участок характеристики достигает 380° в пятипроцентном частотном диапазоне. Максимальный размах качания лепестка диаграммы направленности в горизонтальной плоскости наблюдается при подаче импульса тока 50 ма.

Принятые общей антенной сигналы, промодулированные частотами 1700 и 2300 гц, проходят общий приемный тракт и разделяются фильтрами на выходе приемника. После фильтров выпрямленные напряжения подаются на устройство управления.

Конструкции с использованием СВЧ-ферритов обладают высокими электрическими и эксплуатационными характеристиками. Они работают в широком интервале температур от -40 до $+150^\circ\text{C}$, сохраняя свои электрические параметры. Увеличение потерь в феррите на 0,5 дб наблюдается при выходе температуры за пределы указанного температурного диапазона.

Таким образом, описанные выше моделирующие устройства с ферритовыми стержневыми излучателями пригодны для создания некоторых видов систем радиуправления промышленными объектами, когда между управляемым объектом и пунктом управления отсутствуют различные отражающие и поглощающие предметы. Преимущество таких устройств заключается в их простоте, малой стоимости, отсутствии подвижных частей, малой инерционности, незначительной величине токов в управляющих катушках и относительно широкой диапазонности.

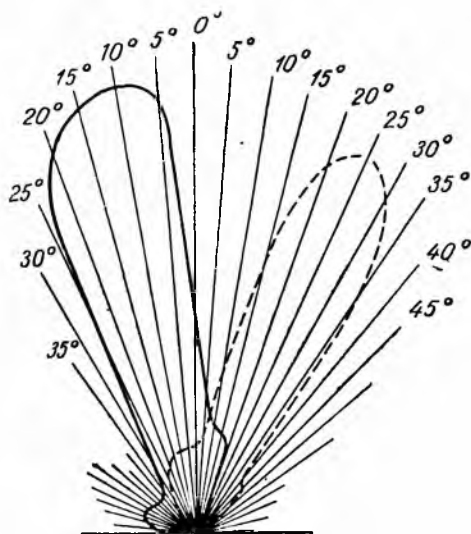


Рис. 6. Результирующая диаграмма направленности:

1 — модуляция частотой Ω_1 ; 2 — модуляция частотой Ω_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Реджина, Спенсер, Хэтчер, Томпкинс. «Вопросы радиолокационной техники», 1958, № 1.
2. А. Л. Микаэлян. Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах Госэнергоиздат, 1963.
3. М. Х. Никольс, Л. Л. Раух. Радиотелеметрия. Изд-во иностр. лит-ры. М., 1958.