

М. СИНИСОО

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ БЕЗДИОДНЫХ И L-ПАРАМЕТРОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФЕРРИТЕ *

Проблема конструирования переключающих логических элементов «из феррита и соединительного провода» рассмотрена многими авторами. Предложено множество решений, которые могут быть объединены в две большие группы: так наз. бездиодные и L-параметронные. Магнитным материалом для схем обоих классов является феррит, применяемый в качестве магнитопровода с ярко выраженными нелинейными характеристиками.

Для сопоставления обоих классов необходимо определить их предельное быстродействие в зависимости от динамических характеристик применяемой марки феррита.

Быстродействие бездиодных схем

Проблема быстродействия бездиодных магнитных схем рассматривалась автором в работе [1]. Приводим здесь кратко основные результаты.

При определенных допущениях, а именно:

феррит в схемах бездиодной магнитной логики имеет идеально-прямоугольную петлю гистерезиса с шириной от $-H_c$ до $+H_c$ и перемагничивается согласно уравнению

$$\frac{dx}{dt} = \frac{3,62}{s_w} (H - H_c) (1 - x^2),$$

где x — нормированный магнитный поток сердечника (точкам насыщения соответствуют значения $x=1$ и $x=-1$); s_w — коэффициент переключения феррита, эмксек; H , H_c — напряженность перемагничивающего поля и коэрцитивная сила феррита, э;

доказано, что минимальная задержка τ сигнала в бездиодной схеме равняется

$$\tau = n \frac{s_w}{2H_c}, \quad (1)$$

где n — коэффициент разветвления данной ячейки. При определении τ не учитывались запасы, необходимые для достижения устойчивой работы при изменениях характеристик феррита и питающих схему импульсов тока.

* Основные материалы настоящей статьи были доложены на X Всесоюзном совещании по магнитным элементам автоматики и вычислительной техники в 1964 г. в г. Каунасе.

Из формулы (1) может быть выведен более общий показатель быстродействия ω .

Рост сигнала в k -ступенчатой схеме может быть охарактеризован общим коэффициентом разветвления N : $N = n^k$. Такая схема имеет задержку сигнала $T = k\tau$. Зависимость N от времени задержки, следовательно, экспоненциальная:

$$N = \exp \frac{T \ln n}{\tau} = \exp \frac{2TH_c \ln n}{ns_\omega} = e^{\omega T}.$$

При $n = e$ достигается максимальное значение N при определенном T или минимальное значение T при определенном N .

Показатель быстродействия ω , который имеет максимум при $n = e$, определяет предельное значение усиления сигнала в единицах *неп/мксек* (при H_c в э и s_ω в эмксек) и равняется $0,7358 \frac{H_c}{s_\omega}$ *неп/мксек*.

Такой же показатель ω может быть определен и для L-параметронных схем.

Быстродействие L-параметронных схем

Рассматривается LC-контур, настроенный на частоту $\frac{\nu}{2\pi}$ гц, возбуждаемый параметрически через нелинейную индуктивность L частотой $\frac{\nu}{\pi}$.

Добротность контура $Q = \frac{1}{\delta}$ определяется исключительно потерями в ферритовом магнитопроводе нелинейной индуктивности L .

Зависимость индуктивности L от времени t принята для упрощения анализа синусоидальная:

$$L(t) = L(1 + \gamma \cos 2\nu t), \quad \text{где } 0 \leq \gamma \leq 1.$$

При таких условиях закон роста сигнала I в контуре экспоненциальный [2]:

$$I(t) = I_0 \exp \left[\nu t \left(\frac{\gamma}{4} - \frac{\delta}{2} \right) \right]. \quad (2)$$

Зависимость (2) не учитывает факторов, обуславливающих ограничение амплитуды параметронных осцилляторов, и поэтому точна только при малых I на начальном участке раскачки.

Быстродействие параметрона определяется суммой длительностей процессов установления и убывания колебаний в контуре. Постоянная времени роста сигнала в контуре определяется зависимостью (2), постоянная времени убывания — значением δ контура. Суммарная длительность процессов установления и затухания колебаний в контуре минимальна при равенстве модулей постоянных времени обоих процессов:

$$\frac{\gamma}{4} - \frac{\delta}{2} = \frac{\delta}{2}.$$

Отсюда оптимальное значение δ :

$$\delta_{\text{opt}} = \frac{\gamma}{4}.$$

Величина δ контура определяется характеристиками феррита, так как остальные потери (на конденсаторе, на сопротивлении обмоток) при помощи соответствующей конструкции контура могут быть сделаны сколь угодно малыми.

Исходя из весьма элементарного представления о процессах перемагничивания в феррите, предполагаем, что спектр магнитной проницаемости феррита определяется релаксационными процессами с единой постоянной времени τ_r . В этом случае спектр комплексной проницаемости $\tilde{\mu}$ выражается аналитически следующим образом:

$$\tilde{\mu} = \mu_1 - j\mu_2 = \mu_{10} - (\mu_{10} - 1) \frac{(v\tau_r)^2}{1 + (v\tau_r)^2} - j(\mu_{10} - 1) \frac{v\tau_r}{1 + (v\tau_r)^2}, \quad (3)$$

где μ_{10} — магнитная проницаемость феррита на нулевой частоте [3].

$$\text{Из (3) определяется спектр } \delta(v) = \frac{\mu_2}{\mu_1}: \quad \delta = v\tau_r \quad (4)$$

(при $\mu_{10} \gg 1$).

Подстановкой δ_{opt} и (4) в (2) получим

$$I(t) = I_0 \exp \frac{\gamma^2 t}{32\tau_r}. \quad (5)$$

Подставляя в (5) предельное значение γ

$$\gamma_{\text{max}} = \frac{\mu_{10} - 1}{\mu_{10} + 1} \approx 1 \quad (\text{при } \mu_{10} \gg 1),$$

$$\text{получим} \quad I(t) = I_0 \exp \frac{t}{32\tau_r}. \quad (6)$$

$$\text{Отсюда} \quad \omega = \frac{1}{32\tau_r}.$$

Значение ω для случая скачкообразных изменений μ и L (параметрическое возбуждение прямоугольными импульсами) равняется

$$\omega = \frac{1}{2\pi^2 \tau_r}.$$

Оптимальное значение частоты возбуждения (синусоидальное изменение индуктивности L) может быть определено из выражений δ_{opt} и (4).

$$\text{Получим} \quad \frac{v}{\pi} = \frac{\gamma}{4\pi \tau_r}.$$

Заключение

Предельное быстродействие схем на феррите характеризуется значением

$$\omega = 0,7358 \text{ Нс/с}_\omega \text{ неп/мксек} \text{ — для бездиодных схем;}$$

$$\omega = \frac{1}{32\tau_r} \text{ неп/мксек} \text{ — для } L\text{-параметронных схем.}$$

Для сравнения усилительных свойств ферритов с ППГ и ферритов с магнитомягкой характеристикой в нижеследующей таблице приведены значения ω для некоторых марок феррита:

Марка феррита	H_c , э	s_{ω} , эмксек	τ_r , нсек	ω , неп/мксек
BT-1	1,4	0,5		2,06
Φ_1 -250			15*	2,08
Φ_1 -2000			60*	0,52

* По результатам измерений автора.

Следовательно, с точки зрения быстродействия L-параметронные схемы на феррите существенных преимуществ по сравнению с бездиодными не имеют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синисоо М. А., Бездиодные схемы магнитной логики, Сб. Магнитные цифровые элементы, М., 1965, с. 240.
2. Маэда Кенъити, Ибуки Кимио, Структура параметрических колебаний, Сб. Параметроны, Изд. ЦБТИ ГК по автоматизации и машиностр., М., 1962, кн. 1, с. 223.
3. Поливанов К. М., Ферромагнетики, М.—Л., 1957.

Институт кибернетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
13/1 1966

M. SINISOO

TÄIESTI MAGNETILISTE FERRIITLÜLITUSKEEMIDE JA FERRIIT-L-PARAMEETRONITE TÖOKIIRUS

Artikkel toob võrdleva hinnangu ülaltähendatud skeemide töökiiruste kohta, mis näitab, et need mõlemas lülitusskeemide klassis on sama suurusjärku. Esitatakse kaks valemit, mis võimaldavad leida mõlema klassi skeemide töökiiruse sõltuvuse kasutatud ferriidi dünaamilistest parameetritest.

M. SINISOO

RELATIVE OPERATION SPEED OF DIODELESS MAGNETIC ELEMENTS AND FERRITE PARAMETRONS

This paper compares diodeless magnetic elements [1] and ferrite parametrons from the viewpoint of operation speed. The operation speed of the elements compared does not differ essentially, being about 2 neper per microsecond. The paper contains two basic formulas which establish the relationship between the signal raise time-constants and the ferrite core switching constants (s_{ω} , coercive force, relaxation time).