

Измерение основных параметров перемагничивания ферритовых элементов в управляемых СВЧ приборах с применением цифрового осциллографа.

При разработке фазовращателей с магнитной памятью и переключателей весьма актуально иметь возможность исследовать процессы перемагничивания феррита при воздействии реальных управляющих импульсов. Предложено использовать для этой цели запоминающий цифровой осциллограф. Разработанная методика позволяет получать динамические петли перемагничивания феррита и вычислять энергию на переключение ферритовых приборов.

Ключевые слова: измерение, ферритовый прибор, петля гистерезиса, энергия переключения.

Ферритовые приборы СВЧ с магнитной памятью отличаются минимальным потреблением энергии, поскольку в рабочих состояниях ток через прибор не течет. Переключение состояний происходит при подаче коротких импульсов напряжения. Наиболее важными параметрами, характеризующими этот процесс являются: динамическая петля гистерезиса магнитопровода, остаточная индукция в феррите, время переключения, энергия переключения. Использование в этих исследованиях цифрового осциллографа оказывается весьма эффективным.

Существующие в настоящий момент методы контроля базируются на применении аналоговой аппаратуры: осциллографов, интеграторов, гальванометров [1]. Классическая схема установки для измерения петли гистерезиса представлена на рисунке 1.

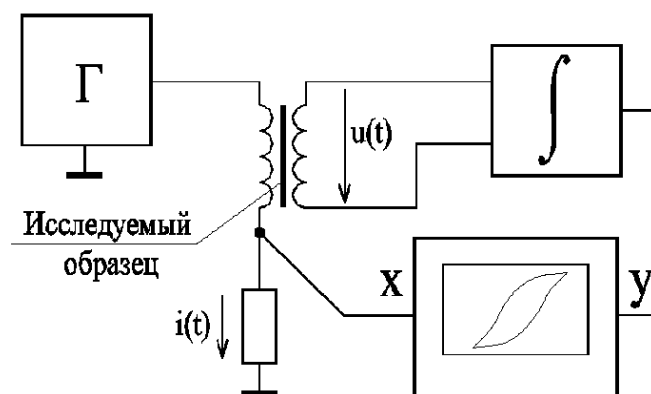


Рис. 1

Образец делают в форме цельного ферритового кольца. Магнитное поле считается сосредоточенным внутри кольца и равномерным по его сечению. Периодическое перемагничивание обеспечивается синусоидальным генератором Γ . Соединенный последовательно с обмоткой намагничивания резистор позволяет получить напряжение, пропорциональное току $i(t)$. Это напряжение поступает на X -канал

осциллографа. Напряжение с измерительной обмотки, содержащей N_2 витков, прошедшее через интегратор, поступает на Y-канал осциллографа. По закону электромагнитной индукции $u(t) = N_2 \cdot S \cdot dB/dt$, где B – индукция в кольце, S – площадь его поперечного сечения. Следовательно, напряжение, поступающее на Y-канал из интегратора пропорционально $B(t)$. Магнитное поле H находят из закона Ампера: $H \cdot l = N_1 \cdot i$, где l – средний периметр кольца, N_1 – число витков в намагничивающей обмотке.

При исследовании свойств управляемых ферритовых приборов интерес представляет связь тока в обмотке управления с индукцией в рабочей области феррита (где есть СВЧ сигнал). Тогда измерительную обмотку надо разместить именно там.

Исследовать на такой установке процессы быстрого перемагничивания феррита затруднительно, поскольку при повышении частоты перемагничивания феррит будет сильно нагреваться за счет потерь на гистерезис. Чтобы этого не происходило, генератор должен поочередно выдавать короткие импульсы противоположной полярности с большой скважностью. При этом резко повышаются требования к аналоговому интегратору. Он должен иметь очень низкий дрейф нуля.

Применение цифрового осциллографа позволяет существенно упростить схему измерения и повысить его точность. На рис.2 представлена схема установки с двумя обмотками:

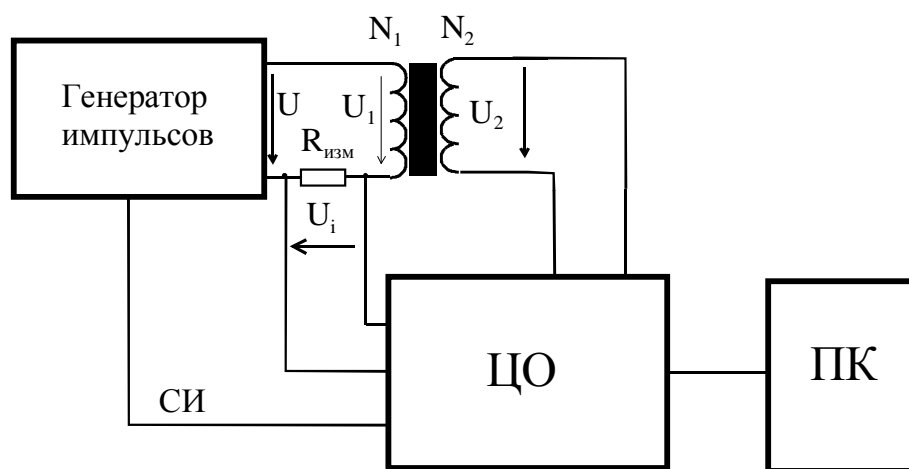


Рис 2.

Сигналы с измерительного резистора и вторичной обмотки подаются непосредственно на двухканальный цифровой осциллограф (ЦО). Генератор поочередно формирует импульсы напряжения положительной и отрицательной полярности. Сигнал, измеренный ЦО, может быть передан в персональный компьютер (ПК) в виде 3 столбцов чисел: временных отсчетов t_k , соответствующих им отсчетов напряжения на измерительном резисторе U_{ik} , и напряжений на вторичной обмотке U_{2k} . Количество отсчетов зависит от модели ЦО и составляет для типовых моделей 2500-4000. Настройки синхронизации и масштабов ЦО должны быть таковы, чтобы в памяти

ЦО сохранялись эпюры процесса намагничивания импульсом одной полярности от момента начала импульса до момента окончания переходных процессов.

В ПК проводится дальнейшая обработка сигналов.

Средняя магнитная индукции в магнитопроводе и ток в обмотке вычисляется по формулам

$$B(t_k) = B_k = \frac{(t_k - t_1)}{N_2 S (K - 1)} \sum_{n=1}^k U_{2n} + B(t_1), \quad I(t_k) = I_k = \frac{U_{ik}}{R_{изм}}$$

где K - номер последнего отсчета

Зависимость $B_k(I_k)$ представляет динамическую петлю гистерезиса прибора. На ее форме будут сказываться и немагнитные зазоры и металлизация ферритовых элементов (если есть) и рассеяние магнитного потока. Если ферритовый элемент – кольцо, напряженность магнитного поля в нем вычисляется по формуле $H(t_k) = H_k = I_k N_1 / l$ и можно построить динамическую петлю гистерезиса ферритового материала.

Для измерения энергии переключения прибора следует пользоваться схемой, представленной на рис.3

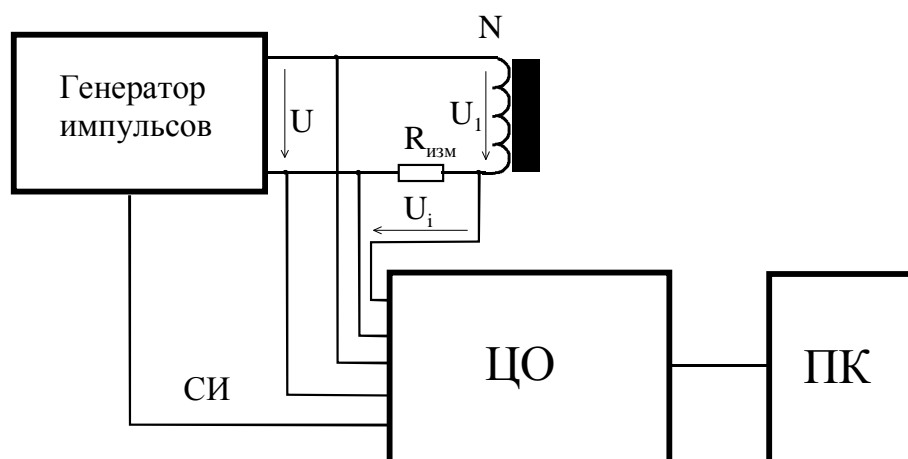


Рис.3.

В ней на входы ЦО подаются напряжения с измерительного резистора и напряжение с выхода генератора управляющих импульсов. Энергия переключения вычисляется по формуле:

$$W = \frac{t_K - t_1}{K - 1} \sum_{k=1}^K |I_k (U_k - U_{ik})|, \text{ где } I(t_k) = I_k = \frac{U_{ik}}{R_{изм}}$$

Данная формула учитывает все виды расхода энергии переключения.

Зачастую управляющая обмотка в приборе намотана именно вокруг рабочей области феррита. Тогда появляется возможность считать ее одновременно и измерительной. Надо лишь вычесть омическую составляющую напряжения в ней.

Средняя магнитная индукции в магнитопроводе вычисляется по формуле

$$B(t_k) = B_k = \frac{(t_K - t_1)}{NS(K-1)} \sum_{n=1}^k (U_n - U_{in} - I_n R_{об.м}) - \frac{(t_K - t_1)}{2NS(K-1)} \sum_{n=1}^K (U_n - U_{in} - I_n R_{об.м})$$

Все расчеты могут быть проделаны в программе Excel. Для примера приведем динамические петли гистерезиса ферритов 1СЧ9 (рис.5а) и 1СЧ12 (рис.5б) при их перемагничивании за 4 мкс из состояния насыщения

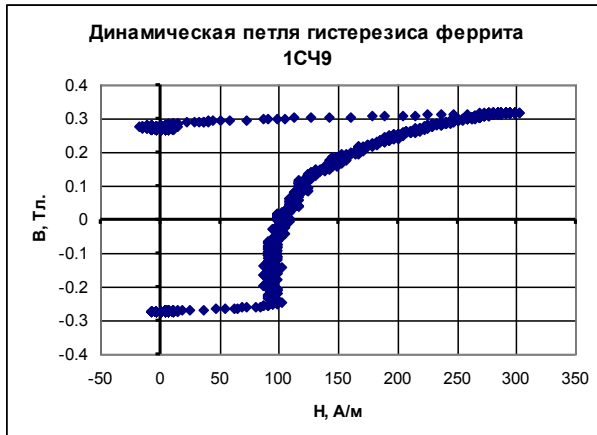


Рис.5а

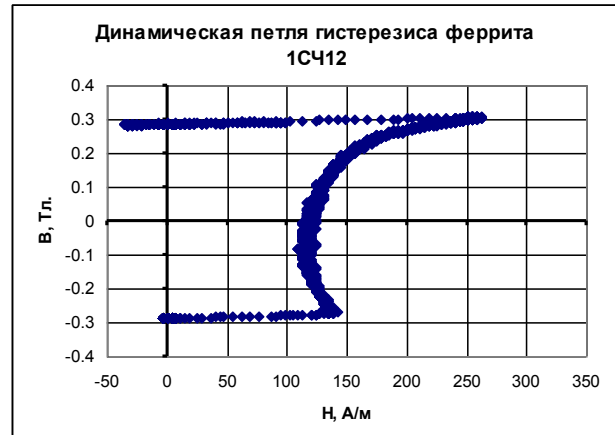


Рис. 5б

Перемагничивание проведено однополярным импульсом напряжения положительной полярности. Предварительно на обмотку был подан такой же импульс отрицательной полярности. Видно, что у материала 1СЧ12 в начале процесса перемагничивания проявляется дополнительная вязкость доменных стенок, поэтому требуется приложить повышенное поле чтобы начать перемагничивание.

На рис. 6 показаны петли управляемого элемента ферритового переключателя 8 мм диапазона волн [2], составленного из двух деталей.

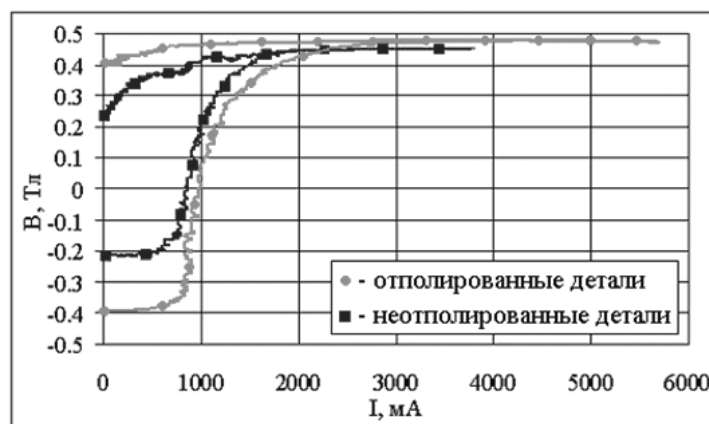


Рис.6

В одном случае детали просто шлифованные, в другом прилегающие поверхности отполированы. Видно, что за счет полировки остаточную индукцию удалось увеличить вдвое и приблизить к предельному для данной марки феррита значению.

Таким образом, цифрового осциллографа позволяет строить новые методики измерений и выявлять важные для работы СВЧ ферритовых приборов факторы.

Библиографический список

1. Справочник по электротехническим материалам. Т.3 Под ред. Корицкого Ю.В. и др. Изд-во Энергоатомиздат, Л. 1988г.
2. В.А. Козлов, Ю.А. Светлаков Расчет и технология изготовления ферритовых элементов КВЧ-переключателей с «внутренней» магнитной памятью / II Антенны. - 2005. - Вып. 5 (96). - с. 18-23.