

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Ц 707

Ш-35

11/411-78

13 - 11799

В.А.Швец

5424 / 2-78

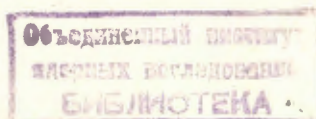
ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ
ПЕРМАЛЛОЯ 50НП ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТА
ПРЯМОУГОЛЬНОГО НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО
ИМПУЛЬСА И ВЕЛИЧИНЫ ОБЪЕМА СЕРДЕЧНИКА

1978

13 - 11799

В.А.Швец

ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ
ПЕРМАЛЛОЯ 50НП ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТА
ПРЯМОУГОЛЬНОГО НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО
ИМПУЛЬСА И ВЕЛИЧИНЫ ОБЪЕМА СЕРДЕЧНИКА



Швец В.А.

13 - 11799

Зависимость времени перемагничивания пермаллоя 50НП от длительности фронта прямоугольного намагничивающего импульса и величины объема сердечника

Приводятся результаты расчетов и экспериментальных измерений времени перемагничивания пермаллоя 50НП в зависимости от величины напряженности перемагнивающего поля H_m при различных значениях длительности фронта τ_{fr} прямоугольного импульса тока. Оценено также влияние объема сердечника V на время перемагничивания τ для различной толщины ленты, из которой изготовлены сердечники. Показано, что при заполнении пространства между проводниками коаксиала нелинейной средой из пермалловых торов можно получить длительность фронта ударной волны порядка 5 нс.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Shvets V.A.

13 - 11799

Dependence of Time Remagnetization of 50 HP Permalloy on the Width of Rectangular Magnetizing Pulse and Core Volume

The results of calculation and experimental measurement of the time of remagnetization of 50 HP permalloy in dependence of the strength of remagnetization field H_m under different widths of the front τ_{fr} of rectangular current pulse are given. The dependence of the time of remagnetization τ on the core volume V at different thickness of plates the core composed of is also estimated. It is shown that a width of magnetizing pulse of about 5 ns could be achieved by filling the space between coaxial conductors with nonlinear permalloy torus.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Исследование импульсных процессов намагничивания кольцевых сердечников из материала с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) невозможно без учета их динамических свойств. В случае воздействия на магнитные сердечники импульсов больших максимальных значений намагничивающего тока и напряжения с крутым передним фронтом особенно важно знать время перемагничивания материала сердечника, т.к. оно определяет его основные динамические характеристики.

Знание этих характеристик необходимо при разработке импульсных устройств, действие которых основано на нелинейной зависимости магнитной проницаемости материала сердечника от напряженности магнитного поля. Классическим примером использования этого явления служат так называемые магнитные генераторы импульсов ^{/1/} и насыщающиеся дроссели ^{/2/}, предназначенные для коррекции формы импульса в высоковольтных сильноточных установках. Длительность фронта и спада импульсов при использовании этих устройств получается порядка десяти наносекунд. Кроме того, в настоящее время известно применение сердечников из пермалловой ленты 50НП для обострения фронта импульса, перемагнивающего индукторы ЛИУ ^{/3/}. Длительность фронта импульса после прохождения обострителя на пермалловых торах составляет $\approx 6 \div 8$ нс.

В этом сообщении приводятся результаты экспериментальных исследований влияния изменения длительности фронта прямоугольного намагничивающего импульса и величины объема сердечника на время его перемагничивания и минимальную длительность фронта выходного им-

пульса с точки зрения применимости пермалловых сердечников для обострения фронта импульса до единиц наносекунд.

В^{4/} показано, что при линейном нарастании фронта перемагничивающего импульса коэффициент переключения Sw_2 и время полного перемагничивания τ сердечника из материала с ПИГ определяются выражениями

$$Sw_2 = \int_0^{\tau_1} (H_m - H_{02}) dt, \quad (1),$$

$$\tau = \frac{Sw_2}{H_m - H_{02}} + \frac{H_m + H_{02}}{2H_m} \tau_{фр}, \quad (2),$$

где H_m - величина перемагничивающего поля,

H_{02} - напряженность поля, соответствующая началу так называемого второго участка $H_m > H_{ГР}$ характеристики $\frac{dB}{dt}(H_m)$ (быстрое перемагничивание),

$\tau_{фр.}$ и τ_1 - длительность фронта и общая длительность перемагничивающего импульса.

Например, для пермаллоя 50НП, используемого для намотки сердечников индукторов ускорительных секций ЛИУ-30/250, при толщине ленты 10 мкм $Sw_2 = 1,3 \pm 0,05$ мкК/см, $H_{02} = 0,75 \pm 0,1$ А/см, а для 20-микронной ленты $Sw_2 = 3,3 \pm 0,1$ мкК/см, $H_{02} = 0,55 \pm 0,1$ А/см^{4/}.

На рис. 1 в виде заштрихованных областей между сплошными линиями, которые соответствуют функциям $\tau(H_m)$ при максимальных (верхние линии) и минимальных (нижние линии) Sw_2 и H_{02} , показана зависимость времени перемагничивания τ от длительности фронта $\tau_{фр.}$ при различных значениях перемагничивающего поля H_m , вычисленная по формулам (1) и (2). Для экспериментального определения минимального времени перемагничивания тороидальных сердечников из пермаллоя 50НП был использован генератор системы монохроматизации^{5/} с комплектом обострителей^{6/} на ток 1 кА, длительностью фронта порядка 0,1 нс, волновым сопротивлением 1,5 Ом. Пермалловые торы изготавливались из ленты толщиной 10 и 20 мкм на каркасе

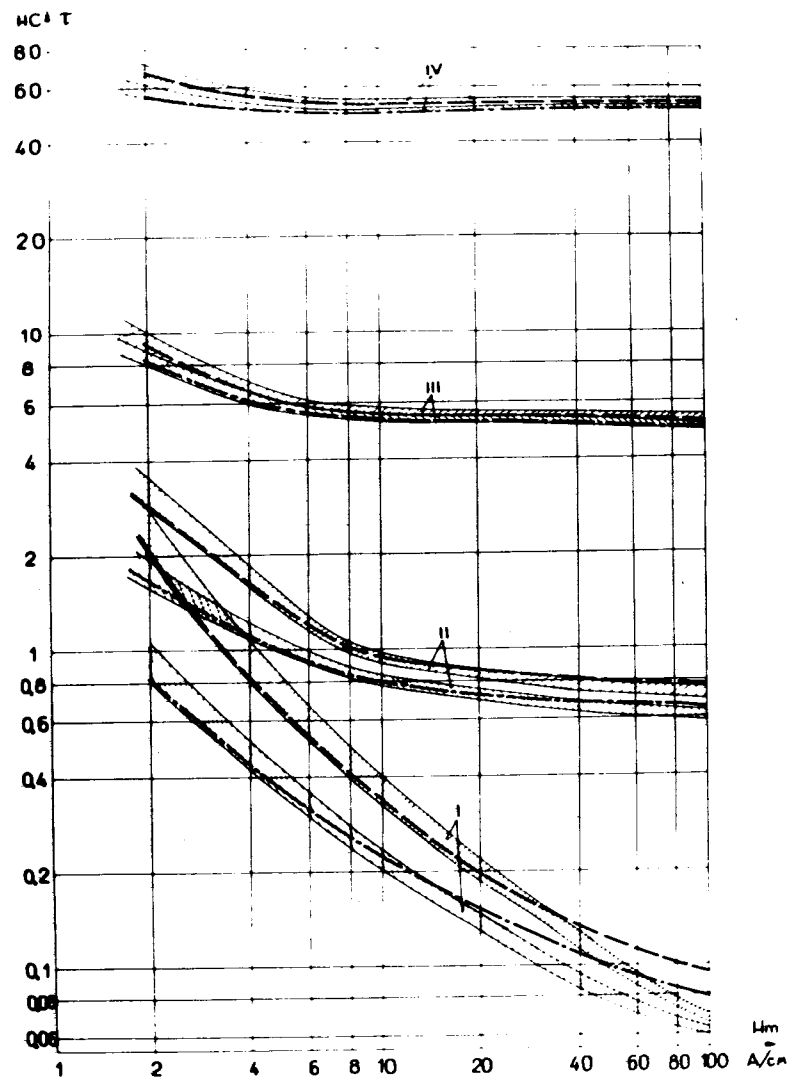


Рис. 1. Зависимость времени перемагничивания τ тороидальных пермалловых сердечников от напряженности перемагничивающего поля H_m при различных значениях длительности фронта $\tau_{фр.}$ перемагничивающего импульса.

//// - 20 мкм, // - 10 мкм; --- - эксперимент, 20 мкм
- · - · - 10 мкм, I - $\tau_{фр.} = 0,1$ нс, II - $\tau_{фр.} = 1$ нс, III - $\tau_{фр.} = 10$ нс, IV - $\tau_{фр.} = 100$ нс.

диаметром 30 мм, при этом минимальное значение напряженности перемagnивающего поля составляло 2 А/см при амплитуде импульса тока 20 А. Т.к. минимальное значение длительности фронта 0,1 нс в обострителе достигается при амплитуде тока 1 кА (и достаточной длине обостряющей линии), перемagnивающая одновитковая обмотка включалась в параллельную ветвь нагрузки генератора, в которую при минимальном значении H_m отщеплялась 1/50 часть полного тока с крутым фронтом. Для увеличения перемagnивающей напряженности поля H_m соответственно уменьшалось сопротивление этой параллельной ветви, так что общее сопротивление ветвей оставалось равным 3,5 Ом. Длительность фронта перемagnивающего импульса устанавливалась дискретно равной 100, 10, 1 и 0,1 нс путем включения в тракт генератора одной, трех, шести и пятнадцати секций обостряющей линии по 100 ячеек в каждой секции^{/6/}. Перемagnивание торов велось в так называемом режиме источника тока^{/4/} (рис.2), когда питающая обмотка включается между выходом обостряющей линии, подсоединенной к генератору, и нагрузкой. Для измерения времени пере-

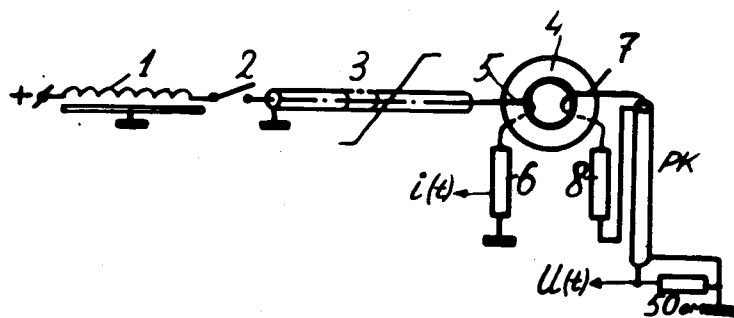


Рис. 2. Схема генератора импульсов тока. 1 - накопитель, 2 - тиратрон, 3 - обострители, 4 - тор, 5 - основная обмотка, 6 - нагрузка, 7 - дополнительная обмотка, 8 - резистор, 1 кОм.

магничивания на сердечник накладывалась дополнительная обмотка, изготовленная из жилы коаксиального кабеля РК-50-2-12, замкнутой в конце витка через резистор 1 кОм на оболочку этого же кабеля. Характерный вид осциллограмм и измеряемые параметры перемagnивания показаны на рис. 3. Результаты измерений времени перемagnивания τ нанесены пунктирными линиями на рис. 1. Анализ этих зависимостей показывает, что во всех случаях реальное время перемagnивания больше рассчитанного, причем с уменьшением длительности фронта $\tau_{фр}$ перемagnивающего импульса эта разница в процентном отношении увеличивается и при $\tau_{фр.min} = 0,1$ нс составляет $\approx 50\%$. Вместе с тем отличие экспериментального времени перемagnивания от рассчитанного уменьшается с увеличением амплитуды перемagnивающего импульса.

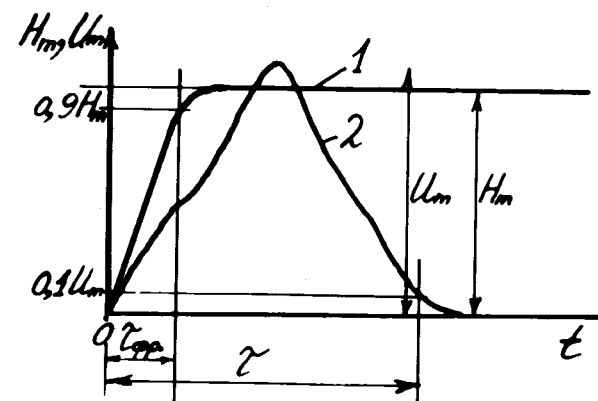


Рис. 3. Осциллограммы импульсов. 1 - ток $i(t)$ ($H(t)$), 2 - напряжение $U(t)$ ($\frac{dB}{dt}(t)$).

Время перемagnивания существенно зависит и от объема сердечника. Для исследования этого влияния

первоначально было измерено время перемагничивания τ при различных $\tau_{\text{фр}}$ и H_m сердечников, изготовленных из 10 витков ленты толщиной 10 и 20 мкм, а последующее увеличение объемов было осуществлено доматыванием витков ленты на каждый тор так, что оно составляло 2, 5, 10, 20, 50, 100 по отношению к первоначальному. При изменении объема пермалловых торов длительность фронта перемагничивающего импульса устанавливалась фиксированной (1 нс), а мощность импульса — достаточной для полного перемагничивания. Расчет времени перемагничивания при увеличенных объемах сердечников весьма сложен. Существующие расчетные формулы для величины объема сердечника, например, магнитного генератора импульсов^{1/1} и насыщающегося дросселя^{2/2} позволяют лишь приблизительно оценить это время в зависимости от мощности импульса. В реальном случае при перемагничивании сердечника импульсом мощностью порядка 100 МВт и длительностью 1 мкс необходимые объемы сердечника достигают нескольких сотен см³, что приводит к существенному увеличению τ . Так, например, для импульсных тока 5 кА и напряжения 20 кВ, частоты 50 Гц $\tau_u = 50$ нс, $V = 400$ см³, а время перемагничивания — порядка десяти наносекунд.

Экспериментальные зависимости времени перемагничивания τ (V/V_0) для пермаллоя 50 НП толщиной 10 и 20 мкм показаны на рис. 4. Видно, что вначале при малых объемах сердечников время перемагничивания мало, составляет единицы наносекунд и сопоставимо с длительностью фронта $\tau_{\text{фр}}$ перемагничивающего импульса поля, а при увеличении объема торов до размеров, применимых в коаксиальных обострителях, оно возрастает до 5 нс, минимальное значение для больших объемов ($V/V_0 = 50, 100$), измеренное в экспериментах, соответствует 10 и 15 нс. Объем такого сердечника составляет 120 см³, необходимая импульсная мощность — 5 МВт (1,2 кА и 4,2 кВ) при длительности импульса $\tau_u = 2,5$ мкс.

Таким образом, при малых объемах сердечников и достаточной амплитуде импульса времена перемагничивания и длительности фронта перемагничивающего им-

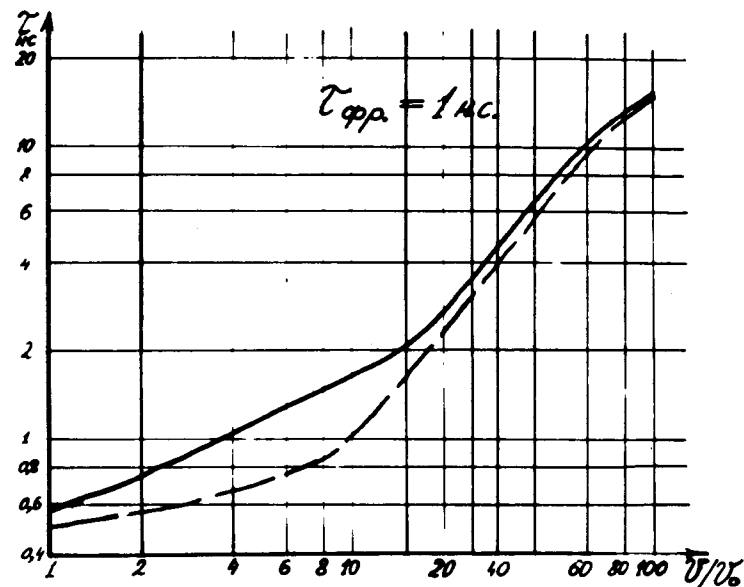


Рис. 4. Зависимость времени перемагничивания τ от величины объема сердечника V (в относительных единицах V/V_0). — — — — — 20 мкм, - - - - - 10 мкм.

пульса сопоставимы, а при увеличении объема сердечника время перемагничивания также растет и минимальное значение его составляет 5 ± 15 нс, причем более хорошими характеристиками обладают сердечники из десятимикронной ленты. Следовательно, при заполнении пространства между проводниками коаксиала нелинейной средой в виде пермалловых торов предельная длительность фронта ударной волны может быть получена порядка 5 нс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магнитные генераторы импульсов (под ред. Л.А.Меевича). Изд-во "Сов. Радио", М., 1969.

2. Визирь В.А. Известия вузов СССР, Радиоэлектроника, 1977, №1, с.17.
3. Анацкий А.И. и др. Конструктивные особенности линейного индукционного ускорителя ЛИУ-5/5000. В сб.: Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения, ОИЯИ, Д9-10500, Дубна, 1976.
4. Пирогов А.И., Шамаев Ю.М. Магнитные сердечники в автоматике и вычислительной технике. Изд-во "Энергия", М., 1967.
5. Швец В.А., ОИЯИ, 13-9077, Дубна, 1975.
6. Швец В.А., ОИЯИ, 13-11399, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июля 1978 года.