

У486/2-79



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5/11-79

X-174

9 - 12448

Р.Халлер, А.К.Красных

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ ФЕРРИТОВ
ПРИ НАГРУЗКЕ ИМПУЛЬСНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

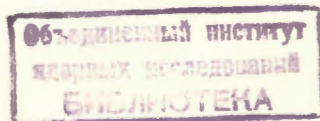
1979

9 - 12448

Р.Халлер, А.К.Красных

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ ФЕРРИТОВ
ПРИ НАГРУЗКЕ ИМПУЛЬСНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

Направлено в "Известия вузов. Радиотехника"



Халлер Р., Красных А.К.

9 - 12448

Об электрическом старении ферритов при нагрузке импульсным напряжением наносекундного диапазона

Экспериментально исследовано электрическое старение ферритового материала при импульсном напряжении наносекундного диапазона. Полученные результаты показали, что в определенном диапазоне напряженностей электрическое старение может описываться, как и в твердых диэлектриках, известным путем: с помощью показательной функции. Факт электрического старения необходимо учитывать при конструировании устройств, в которых содержится ферритовый материал, подвергающийся воздействию высоковольтного импульсного напряжения.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Haller R., Krasnykh A.K.

9 - 12448

On Electric Ageing of Ferrites at the Influence of Pulse Nanosecond Voltage

Electric ageing of ferrites at the influence of pulse nanosecond voltage is investigated. The results obtained indicated that in a definite voltage range the electric ageing could be described, as in solid dielectrics, in the known way - by means of the exponential function. The fact of electric ageing should be considered at constructing devices in which ferrite materials are used being exposed to the influence of a high nanosecond pulse voltage.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

ВВЕДЕНИЕ

Для генерирования мощных наносекундных импульсов в ускорительной технике часто используются ферритовые материалы /1,2/. Для этой области применения ферритов характерны значительные действующие электрические нагрузки, в условиях которых, как известно, ферритовый материал ведет себя как своеобразный диэлектрик, характеризующийся определенной диэлектрической постоянной и предельной электрической напряженностью.

Очевидно, что знание предельной электрической напряженности желательно для правильного выбора параметров и режимов работы устройств, использующих ферритовый материал. Кроме этого, важно знать, свойственно ли и ферритам по аналогии с твердыми диэлектриками явление электрического старения, т.е. уменьшение электрической прочности в зависимости от числа воздействующих импульсов.

В^{3,4} приведены данные о магнитном старении, т.е. изменении магнитных характеристик (μ_H , V_s , V_r), которое наблюдается при воздействии тепловых нагрузок. В данной работе приведены экспериментальные результаты изучения электрического старения ферритового материала при воздействии повторяющихся высоковольтных импульсов наносекундной длительности. Мерой электрического старения служит изменение электрической прочности феррита.

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследований применялась модель изоляции коаксиального волновода, частично заполненного ферритовыми кольцами /5/. Ферритовые кольца / $\epsilon_{\text{ф}} \approx 7$, 600НН, K10x6x5/ помещались на внутренний высоковольтный электрод /рис. 1/. В качестве дополнительного диэлектрика служило касторовое масло ($\epsilon_M \approx 4.5$). Образовавшаяся комбинированная изоляция подвергалась воздействию импульсным напряжением определенности длительности * / $t_{d1} \approx 50$ нс, $t_{d2} \approx 600$ нс/ и частотой следования / $f = 12,5$ Гц/.

* Под длительностью понимается длительность на уровне $U \geq 0,5U$.

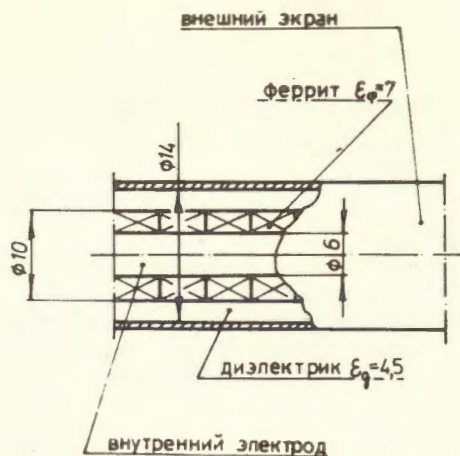


Рис. 1. Геометрия коаксиального волновода, частично заполненного ферритовыми кольцами.

Для получения импульсов короткой длительности $t_d = 50$ нс в генераторе использовались нелинейные линии с ферритовыми кольцами, в которых происходило образование ударной электромагнитной волны. Выход линии соединялся с импульсным насыщающим трансформатором /рис. 2а/, ко вторичной обмотке которого подключался испытуемый образец.

Воздействующее импульсное напряжение большей длительности получалось при разрядке накопительной емкости на повышающий трансформатор /рис. 2б/.

Регистрация числа импульсов до пробоя проводилась электронным счетчиком. В момент пробоя генератор и счетчик одновременно автоматически отключались. После замены разрушенного кольца эксперимент продолжался. При достижении $N = 2 \cdot 10^6$ максимально возможного числа импульсов без пробоя установка останавливалась для изменения ее режима работы.

Форма действующего импульсного напряжения регистрировалась с помощью омического делителя и осциллографа.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

"Кривая жизни" ферритового материала

Изоляция подвергалась воздействию высоковольтных импульсов длительностью 50 нс и амплитудой 40, 35 и 30 кВ. Для

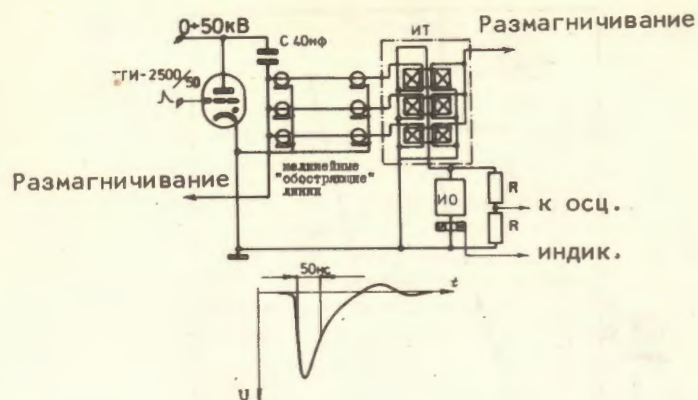


Рис. 2а. Вариант высоковольтного импульсного генератора с $t_d = 50$ нс.

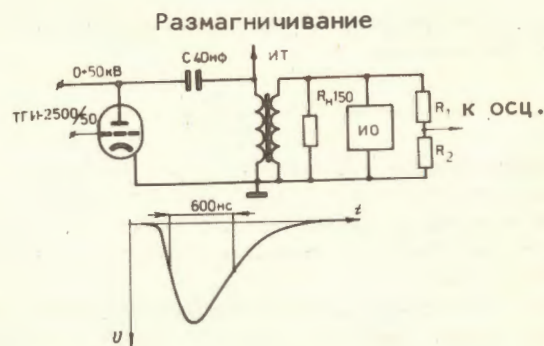


Рис. 2б. Вариант высоковольтного импульсного генератора с $t_d = 600$ нс.

двух значений амплитуды, 40 и 35 кВ, полученные числа импульсов до пробоя хорошо могли аппроксимироваться логарифмическим распределением Гаусса $N(\mu, \sigma^2)$ /рис. 3/. Почти одинаковый разброс числа импульсов до пробоя (σ_1^*) указывает на качественно подобный процесс пробоя в рассматриваемых случаях ^{16/}, а значительное различие средних значений

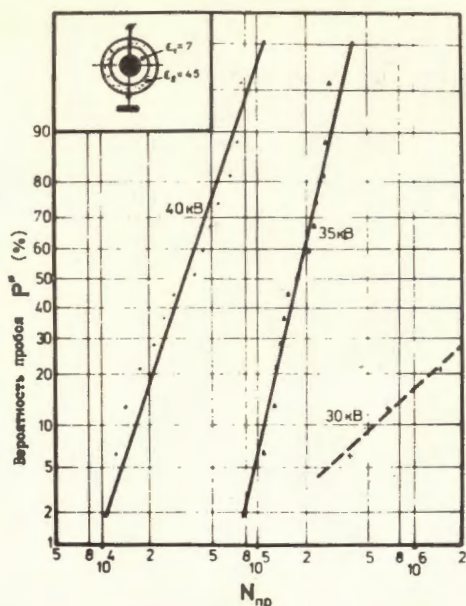


Рис. 3. Функции распределения числа импульсов до пробоя при различных напряжениях.

(μ_i^*) - на существенное уменьшение числа импульсов до пробоя при увеличении электрической напряженности в феррите. Зависимость числа импульсов до пробоя от электрической напряженности и свидетельствует о наличии в ферритовом материале электрического старения.

По аналогии с твердыми диэлектриками электрическое старение ферритов будем описывать показательной функцией

$$\hat{U}_{пр} = k(N_{пр})^{-1/n} \quad /1/$$

Если изобразить эту функцию в логарифмическом масштабе по двум осям, то получим прямую, положение и наклон которой определяется постоянной k и показателем n соответственно.

Аппроксимируя средние значения полученных результатов /рис. 3/ с учетом /1/, получим:

$$\hat{U}_{пр} = 90(N_{пр})^{-1/18} \quad /2/$$

С учетом геометрических размеров имеем /рис. 4/:

$$\hat{E}_{пр} = 280(N_{пр})^{-1/18} \quad /3/$$

Однако для значений $\hat{U} = 30$ кВ / $\hat{E}_{\phi} \approx 100$ кВ/см/ только в трех случаях зарегистрирован пробой при числе импульсов до $N \approx 2 \cdot 10^6$ /см. рис. 3/. Этот факт говорит о том, что скорость старения, очевидно, уменьшается и кривая жизни идет более полого по сравнению с тем, что ожидается по /2/ и /3/. Ясно, что для физической интерпретации этих фактов необходимы дополнительные систематические исследования. Однако кажется, что при $N \geq 10^5 \div 10^6$ аппроксимация по /2/ и /3/ представляет собой технически надежное описание.

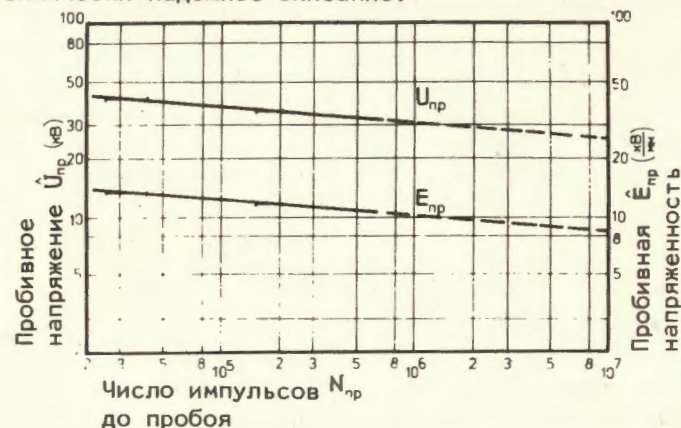


Рис. 4. Кривая жизни для ферритов 600НН.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ

Для оценки влияния длительности импульсов на электрическое старение изоляция подвергалась воздействию импульсным напряжением с $t_d = 600$ нс. Было отмечено, что ожидаемого уменьшения числа импульсов до пробоя не наблюдается: "кривая жизни" получилась такой же, как и для случая воздействия на изоляцию импульсов короткой длительности /рис. 4/. Этот результат можно объяснить, если учесть как диэлектрические, так и полупроводящие свойства ферритового материала ^{7,8}. Тогда изоляцию коаксиальной линии /см.рис. 1/ можно представить R-C схемой замещения /рис. 5/. Таким образом, видно, что действующее на феррит напряжение /напряженность/ зависит как от постоянной времени нарастания воздействующего напряжения

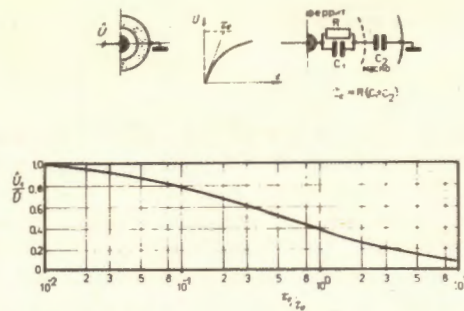


Рис. 5. Действующее напряжение на феррите при различном времени воздействия испытательного напряжения.

τ_e — так и от постоянной времени ферритового материала τ_c . Если, например, при $\tau_e = 1$ мкс* постоянную времени τ_c изменить с 10 до 100 нс, то действующая напряженность в феррите уменьшится на 22% /рис. 5/.

ВЫВОДЫ

С помощью регистрации числа импульсов до пробоя был установлен факт электрического старения ферритового материала при воздействии на него высоковольтных импульсов наносекундного диапазона. Полученные результаты показали, что в определенном диапазоне напряженностей электрическое старение может описываться известным путем: с помощью показательной функции. Однако для физической интерпретации этого явления необходимы дополнительные систематические исследования. Полученные результаты могут применяться для оценки срока службы изоляции, содержащей ферритовые кольца. Факт электрического старения необходимо учитывать при конструировании устройств, в которых ферритовый материал подвергается воздействию высоковольтного импульсного напряжения.

* Это соответствует реальной постоянной времени для рассматриваемого случая $R \approx 100$ кОм, $C_{\text{феррит}} \approx C_{\text{масло}} \approx 5$ пФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. "Сов. радио", М., 1974.
2. Мешков А.Н. Применение ударных волн в феррите наносекундных импульсов. "Вопр. радиоэлектроники", сер. радиоизм. техн., М., 1968, вып.3.
3. Горелик С.С. и др. О старении некоторых ферритов со структурой шпинели. Изд. "Наука и техника", Минск, 1968.
4. Ситидзе Ю., Сато Х. Ферриты /пер. с японского/, "Мир", М., 1963.
5. Катаев И.Г. Ударные электромагнитные волны. "Сов. радио", М., 1963.
6. Mosch W. et al. Elektrische, 1973, 27, 10, p.541-543.
7. Смит Я., Вейн Х. Ферриты /пер. с англ./, ИЛ, М., 1962.
8. Справочник по ферритовым материалам. "Энергия", М., 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1979 года.