

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Ц 76

Ш - 35

21/3-8

13 - 10300

В.А.Швец

1068/2-77

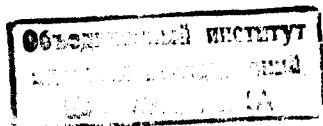
ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОКА
В НЕЛИНЕЙНЫХ ЛИНИЯХ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
УДАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

1976

13 - 10300

В.А.Швец

ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОКА
В НЕЛИНЕЙНЫХ ЛИНИЯХ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
УДАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН



Швец В.А.

13 - 10300

Перспективы увеличения тока в нелинейных линиях для формирования ударных электромагнитных волн

Анализируются причины, не позволяющие получить в предложенных ранее нелинейных линиях ^{2/} амплитуды тока ударной волны более 1200 А. Рассматривается структура нелинейной линии с ферритовыми кольцами, имеющими пологую петлю гистерезиса. В качестве диэлектрика предполагается применить керамические втулки с большим ϵ . Приводятся результаты расчетов линии с волновым сопротивлением порядка долей Ω , током 20 кА, длительностью фронта ударной волны 2 нс, совпадающей по времени с перемагничиванием феррита и постоянной времени одной ячейки линии.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОНЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

© 1976 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Для получения перепада тока или напряжения длительностью менее наносекунды применяют нелинейные линии на ферритах /обострители/, использующие явление возникновения ударных электромагнитных волн ^{1,2/}.

Классическим примером нелинейных линий является коаксиальный обостритель, в котором вплотную друг к другу на центральный проводник надеты ферритовые кольца. Сверху на ферритовые кольца накладывается слой диэлектрика, регулировкой толщины которого получают необходимое волновое сопротивление. Наружной оболочкой является оплетка коаксиального кабеля или медная труба ^{1/}.

В работе ^{2/} были проанализированы причины, не позволяющие в несколько раз снизить волновое сопротивление существующих обострителей /30÷50 Ω / и получить килоамперные перепады тока при низком приложенном напряжении. Предложенные в этой же работе новые конструкции нелинейных линий отличаются от существующих в основном следующим.

В первом из обострителей на центральный проводник в промежутках между ферритовыми кольцами вставлены тонкие проводящие экраны, электрически соединенные с центральным проводником и образующие емкостный зазор с наружной оболочкой. В этой линии электрическое поле вынесено за пределы ферритового кольца, и оно не разрушается, несмотря на низкую электрическую прочность феррита; за счет развитой на периферии ячейки цилиндрической поверхности "экран - оболочка" удалось получить волновое сопротивление линии порядка 5÷8 Ω .

Второй тип обострителя - нелинейная квазикоаксиальная линия, также предложенная в этой работе, - представляет собой последовательное соединение однотипных ячеек. Каждая ячейка - это плоский конденсатор, в диэлектрике которого размещены ферритовые кольца. Одни обкладки конденсаторов составляют наружную оболочку линии, а другие обкладки, с отогнутыми параллельно оси линии проводниками, на которые надеты ферритовые кольца, в соединении друг с другом образуют внутренний расщепленный проводник линии. За счет параллельного соединения колец уменьшается внутренняя индуктивность линии, конденсатор каждой ячейки имеет значительно увеличенную емкость. Волновое сопротивление такой линии составило $1,5 \text{ Ом}$, максимальный ток ударной волны - 1200 А . На практике же часто требуются значительные большие перепады тока в единицы наносекунд /например, для питания импульсных магнитов/.

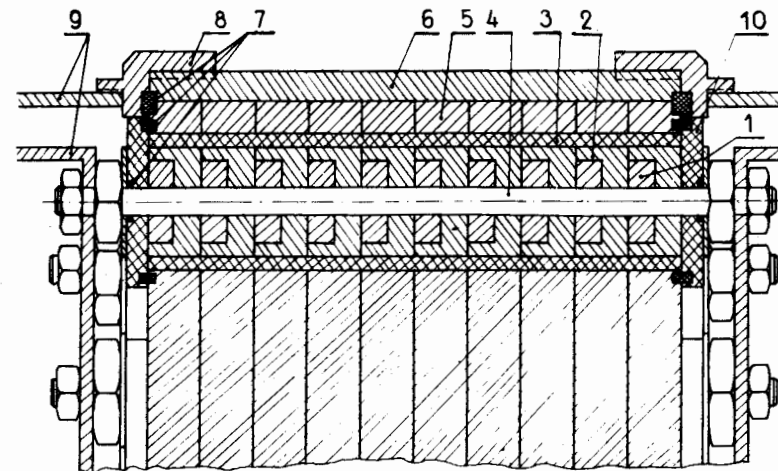
Дальнейшее увеличение амплитуды тока до $10-100 \text{ кА}$ с одновременным уменьшением волнового сопротивления в обострителях рассмотренных конструкций возможно осуществить следующими способами.

а/ В линии для формирования коротких перепадов электрического напряжения с экранными кольцами можно увеличить осевой размер /толщину/ экрана /3/ /рис. 2 в /2//. Это увеличение до величины осевого размера ферритового кольца, как показывает эксперимент /4/, не оказывает существенного влияния на длительность фронта стационарной ударной волны, но позволяет несколько снизить волновое сопротивление за счет увеличения емкости цилиндрического конденсатора "экранное кольцо - оболочка линии". Если не требуется длительность фронта $\sim 10^{-10} \text{ с}$, а достаточно обострение до $10^{-9} \div 5 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, можно применять ферритовые кольца с пологой петлей гистерезиса марки НН, которые выпускаются существенно большего диаметра, чем кольца из феррита с прямоугольной петлей гистерезиса марки ВТ /до 10 мм /. Вся сборка осуществляется на довольно толстом центральном стержне, стягивание производится торцовыми гайками. Заполнение глицерином или другой изолирующей жидкостью при предвари-

тельном вакуумировании позволяет получить волновое сопротивление порядка 1 Ом . Применение в качестве диэлектрика керамических колец или втулок с существенно большим ϵ /до 1000 / еще более уменьшит волновое сопротивление, необходимо только посеребрить контактные цилиндрические поверхности керамики во избежание искрения.

б/ Дальнейшее уменьшение волнового сопротивления возможно при соединении сборок в квазикоаксиальную структуру по типу линии, показанной на рис. 3 в работе /2/. При этом исключаются изоляционные фторопластовые шайбы конденсаторов, а крышки их набираются вплотную друг к другу. Вакуумирование каждого канала внутреннего расщепленного проводника можно осуществлять отдельно, а соединять электрически - только на входе и выходе, т.к. при серийном изготовлении точность обработки достаточно высока и можно ожидать, что все каналы будут работать в одинаковых условиях, как в квазикоаксиальной линии.

Эскиз такой конструкции показан на рис. 1.



Нелинейная линия на токи более 10 кА . 1 - ферритовое кольцо, 2 - экранное кольцо, 3 - керамическая втулка, 4 - ось сборки, 5 - корпус ячейки, 6 - наружный кожух, 7 - уплотнения, 8 - накидная гайка, 9 - выводы коаксиального разъема, 10 - диэлектрическая шайба.

В заключение приведем расчет нелинейной линии на 20 кА. Возьмем структуру квазикоаксиальной линии, расщепленной, например, на 10 каналов. Следовательно, каждое кольцо будет перемагничиваться током 2 кА и внутренний размер ферритового кольца необходим для этого тока порядка 18-20 мм /перемагничивающая напряженность поля $2H_s$ для ферритов НН порядка 300-400 Э/3/.

Индуктивность кольца

$$L_0 = \frac{\mu \mu_0 w^2 S}{\pi D_{cp}} = \frac{\mu \mu_0 w^2 b \ell}{\pi (D_1 - b)} \quad /1/$$

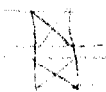
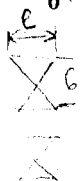
а емкость сборки /одной ячейки/, см. рисунок,

$$C_0 = \frac{2\pi \epsilon_0 \ell}{\ell_n \frac{D_2}{D_1}} \quad /2/$$

где $\mu = 10$ - магнитная проницаемость насыщенного феррита 100 НН^{2,3}, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная, $w = 1$ - число витков, b - толщина кольца в радиальном направлении, ℓ - длина ячейки /толщина кольца в осевом направлении/, $\epsilon = 1000$ - диэлектрическая проницаемость керамики, $\epsilon_0 = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9$ Ф/м - электрическая постоянная, D_1 - внутренний диаметр керамики, D_2 - наружный диаметр керамики /внутренний диаметр оболочки /крышки//.

Для $b = 5$ мм, $\ell = 5$ мм, $D_1 = 22$ мм, $D_2 = 32$ мм расчет по формулам /1/ и /2/ дает значение $L_0/\ell = 5 \cdot 10^{-7}$ Гн/м, $C_0/\ell = 0,3 \cdot 10^{-6}$ Ф/м, т.е. волновое со-

противление ячейки $\rho_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ одного канала с $\ell = 5$ мм



составляет $\approx 1,25$ Ом. Т.к. величину L_0 необходимо уменьшить в 10 раз из-за параллельного соединения каналов, а C_0 - во столько же раз увеличить, то волновое сопротивление такой линии составит доли ома. Постоянная времени при параллельном соединении каналов не изменится, т.к. уменьшение L_0 пропорционально увеличению C_0 и равняется при $\ell = 5$ мм

$$\tau_0 = \sqrt{3 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 25 \cdot 10^{-6}} = \sqrt{3,75 \cdot 10^{-18}} \approx 2 \text{ нс,}$$

т.е. величина постоянной времени ячейки совпадает с временем перемагничивания кольца и разветвленная пространственная структура не оказывает влияния на длительность фронта ударной волны при таких временах. Приложенное же к обострителю напряжение составит единицы киловольт при токах в десятки килоампер.

Литература

1. И.Г. Катаев. Ударные электромагнитные волны. Изд-во "Сов. радио", М., 1963.
2. Р.В. Харьюзов, В.А. Швец. ОИЯИ, 13-8709, Дубна, 1975.
3. А.И. Пирогов, Ю.М. Шамаев. Магнитные сердечники в автоматике и вычислительной технике. Изд-во "Энергия", М., 1967.
4. Л.С. Барабаш и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 декабря 1976 года.