



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

4443/2-81

31/8-81

9-81-336

+

В.А.Саввин

ВЛИЯНИЕ РАЗБРОСА
ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА
СЕРДЕЧНИКОВ НА ДИНАМИКУ
ИХ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В ЛИУ

1981

При изготовлении ускоряющих секций линейного индукционного ускорителя необходима калибровка сердечников, из которых состоят основные элементы секций - индукторы, по динамическим характеристикам.

С этой целью в НИИЭФА был создан специальный испытательный стенд, схема которого приведена на рис. 1.

В данной работе кратко описаны результаты расчета влияния разброса некоторых статических и динамических характеристик материала сердечников на форму импульсов напряжения и тока при их перемагничивании на этом стенде.

Номинальные значения величин, характеризующих сердечники, были следующие:

$$\begin{array}{ll}
 B_r = 1,2 \text{ Тл,} & R_{вн.} = 0,075 \text{ м,} \\
 B_s = 1,33 \text{ Тл,} & R_{ин.} = 0,19 \text{ м,} \\
 H_c = 20 \text{ А/м,} & \ell = 0,025 \text{ м,} \\
 R = 1,35 \cdot 10^4 \text{ Ом/м,} & f = 0,7, \\
 \nu = 3,24 \cdot 10^{-3} \text{ м/А,} & \\
 \mu = 10^5, &
 \end{array}$$

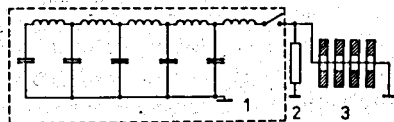
где B_r , B_s - остаточная индукция и индукция насыщения, H_c - коэрцитивная сила, R , ν - динамические параметры пермаллоя, μ - относительная магнитная проницаемость, $R_{ин}$, $R_{вн.}$ - наружный и внутренний радиусы сердечников, ℓ - толщина сердечников, f - коэффициент заполнения.

По развитой в^{1/} методике решалась система 15 дифференциальных уравнений, описывающая процессы в приведенной схеме, составленная аналогично системе работы^{1/}. Интегрирование велось численно, методом Рунге-Кутты.

Поскольку вихревая эдс в ЛИУ-30/250 должна составлять ~ 22 кВ на индуктор или ~ 5,5 кВ на сердечник, то расчеты схемы производились при зарядном напряжении, обеспечивающем указанную величину вихревой эдс.

Для повышения точности расчета каждый сердечник разбивался на 5 радиальных зон, и начальное значение индукции в каждой

Рис. 1. Схема испытательного стенда. 1 - формирующая линия, 2 - активная нагрузка, 3 - испытываемые сердечники.



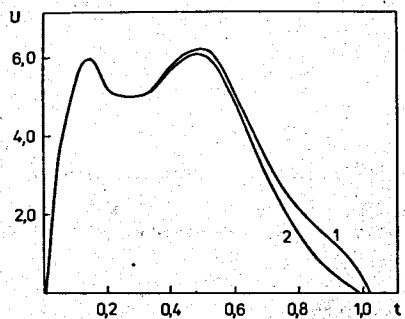


Рис. 2. Импульсы напряжения U /кВ/ на сердечнике с $H_c = 20$ А/м /кривая 1/, $H_c = 25$ А/м /кривая 2/. Время t - в микросекундах.

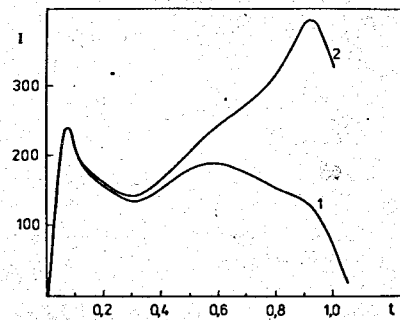


Рис. 3. Импульсы тока перемagnичивания I /А/ для сердечника с $H_c = 20$ А/м /кривая 1/, $H_c = 25$ А/м /кривая 2/. Время t - в микросекундах.

зоне определялось статической петлей гистерезиса и величиной размагничивающего тока I_2 .

Как показали расчеты, значительный рост тока перемagnичивания к концу импульса вызывается увеличением коэрцитивной силы по сравнению с номинальным значением. Это объясняется тем, что при увеличении ширины петли гистерезиса заданный ток размагничивания не обеспечивает достаточного приращения индукции материала по сравнению с номинальным режимом. Так, при токе размагничивания 25 А и $H_c \geq 25$ А/м происходит перемagnичивание сердечников до области насыщения еще до окончания импульса. Вследствие этого и значение тока размагничивания является столь же критичным параметром, небольшое изменение которого /особенно в сторону уменьшения/ ведет также к резкому снижению КПД сердечника, ибо энергия, затрачиваемая на перемagnичивание, пропорциональна при номинальном напряжении резко возрастающему току перемagnичивания. На рис. 2 и 3 приведены рассчитанные формы импульсов напряжения и тока для одного сердечника с номинальными параметрами и для сердечника с увеличенным /до 25 А/м/ значением коэрцитивной силы.

В табл. 1 приведены основные величины, характеризующие импульсы перемagnичивающего тока и созданного одним, двумя, тремя и четырьмя сердечниками импульсы вихревого напряжения в зависимости от уровня тока размагничивания и коэрцитивной силы каждого сердечника. Такими величинами взяты /см. рис. 2/ U_1, I_1 импульсное напряжение и ток в первом максимуме, U_2 - максимальное значение вихревой эдс во втором максимуме, I_2 - значение тока во втором максимуме тока перемagnичивания.

Таблица

Количество сердечников	U_1 (кВ)	U_2 (кВ)	I_1 (А)	I_2 (А)	Ток размагничивания, А	H_c (А/м)
1	5,99	6,22	24I	188	25	20
1	5,97	6,09	246	398	25	25
2	11,9	12,8	242	20I	25	20;20
2	11,9	12,7	245	404	25	20;25
2	11,9	12,8	243	184	35	20;25
3	17,9	19,4	240	214	25	20;20;20
3	17,9	19,3	243	1220	25	20;25;25
3	17,9	19,4	242	20I	30	20;25;25
3	17,9	19,2	244	1730	25	20;25;28
3	17,9	19,4	243	21I	30	20;25;28
4	23,9	26,0	239	210	25	20;20;20;20
4	23,9	25,9	240	410	25	20;20;20;25
4	23,9	25,9	24I	1160	25	20;20;25;25;
4	23,9	25,9	24I	288	27	20;20;25;25;
4	23,9	26,0	240	225	28	20;20;25;25;
4	23,9	26,0	240	199	30	20;20;25;25

Как и следовало ожидать, при одновременном перемagnичивании более чем одного сердечника с различными значениями коэрцитивной силы, величина перемagnичивающего тока в конце импульса определяется сердечником с наиболее широкой петлей гистерезиса. Это объясняется насыщением материала данного сердечника и, как следствие этого, падением значения его импеданса.

Уменьшение динамических параметров R и v , а также значений индукции насыщения B_s и остаточной индукции B_r приводило к пропорциональному изменению тока намагничивания.

Таким образом, при изготовлении ускоряющих секций линейного индукционного ускорителя желательнее использование сердечников с возможно более узкой петлей гистерезиса, либо, в случае сердечников с "широкой" петлей гистерезиса, увеличение тока размагничивания до уровня, обеспечивающего необходимое начальное значение индукции материала сердечников.

В заключение приношу искреннюю благодарность Н.А.Бурцевой за полезные дискуссии и И.М.Маторе за постоянное внимание к работе и ряд полезных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матора И.М., Саввин В.А. Радиотехника и электроника, 1976, XXI, 9, с.1878-1886.
2. Агарков Б.Н., Головцева Г.Н., Левченко Н.А. В сб.: Анализ электрических цепей и электромагнитных систем. "Наукова думка", Киев, 1967, с.116-120.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 мая 1981 года.