

АНАЛИЗ СХЕМЫ СМЕЩЕНИЯ БЕТАТРОНА

Г. И. БУРОВ, М. М. ШТЕЙН, В. Л. ЧАХЛОВ

(Представлена научно-исследовательским институтом
 ядерной физики, электроники и автоматики)

Для повышения эффективности регистрации излучения бетатрона счетным методом необходимы импульсы излучения прямоугольной формы достаточно большой длительности. Генерирование таких импульсов излучения возможно при создании в обмотке смещения импульсов тока такой формы, чтобы в начале взаимодействия электронного пучка с мишенью скорость нарастания тока падала со временем, затем определенное время поддерживалась постоянной, а в конце процесса взаимодействия вновь возрастала (рис. 1). Для формирования импульса тока требуемой формы предложена схема смещения [1], в которой в цепь обмотки смещения включен дроссель насыщения с подмагничиванием (рис. 2). Схема смещения питается от источника переменного

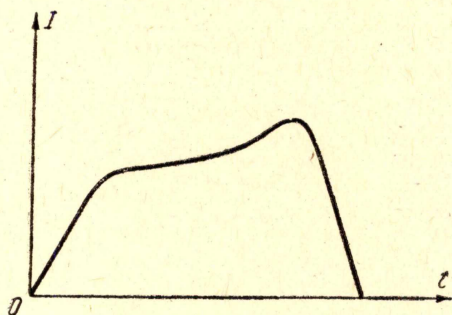


Рис. 1. Требуемая форма импульса тока в обмотке смещения

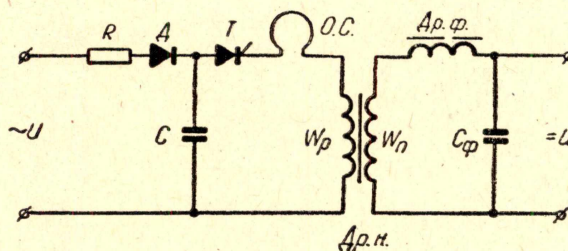


Рис. 2. Схема смещения

напряжения и включает в себя зарядное сопротивление R , выпрямительный диод D , накопительную емкость C , коммутирующий прибор-тиристор T и обмотку смещения, в цепь которой включен дроссель насыщения $D_{рн}$ с подмагничиванием. Цепь подмагничивания дросселя питается от источника постоянного напряжения через фильтр $D_{рф}$; $C_{ф}$.

Проверка данной схемы смещения проведена на бетатроне с максимальной энергией 6 Мэв, при этом были получены импульсы излучения почти прямоугольной формы длительностью $(400 \div 600)$ мксек. Следует отметить, что известные схемы медленного смещения обеспечивают длительности импульса излучения $(100 \div 300)$ мксек [3, 2]. Поэтому

целесообразно провести анализ предложенной схемы, который позволит обоснованно подойти к выбору ее элементов.

Точный анализ электромагнитных процессов в схеме (рис. 2) встречает значительные математические трудности. Нами для анализа использовался метод припасовывания, который предполагает кусочно-линейную аппроксимацию кривой намагничивания сердечника дросселя насыщения. При этом сделаем ряд допущений, которые, с одной стороны, существенно не скажутся на точности анализа, с другой — значительно упростят его.

1. Пренебрегаем активными потерями в разрядном контуре.

2. Считаем, что в процессе перемагничивания дросселя наведенная в обмотке смещения э.д.с. изменяется во времени по линейному закону, а во время подвода пучка к мишени э.д.с. постоянна, так как это время должно быть значительно меньше длительности перемагничивания дросселя насыщения, поэтому изменением э.д.с. можно пренебречь.

3. Аппроксимируем кривую намагничивания дросселя насыщения тремя прямолинейными отрезками, причем будем считать, что в насыщенном состоянии дросселю соответствует индуктивность L_1 (рис. 3).

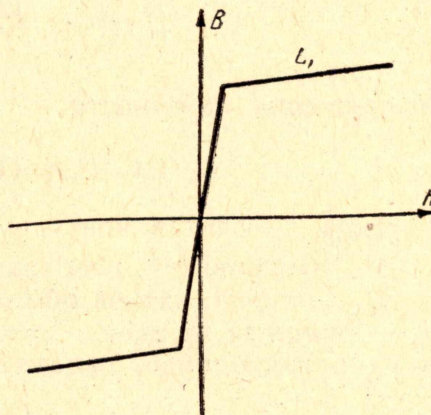


Рис. 3. Аппроксимация кривой намагничивания дросселя насыщения.

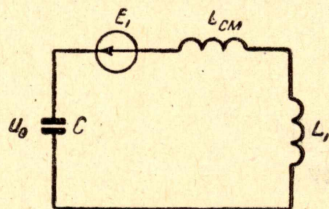


Рис. 4. Эквивалентная схема разрядного контура до начала перемагничивания дросселя

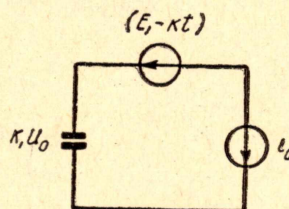


Рис. 5. Эквивалентная схема разрядного контура во время перемагничивания дросселя

С учетом сделанных допущений эквивалентная схема разрядного контура до начала перемагничивания дросселя представлена на рис. 4, а во время перемагничивания — на рис. 5.

Дифференциальное уравнение для схемы (рис 4) имеет вид

$$(L_1 + L_{cm})C \frac{d^2 U_c}{dt^2} + U_c = E_1, \quad (1)$$

решением которого, как известно, является

$$U_c(t) = (U_0 - E_1) \cos \omega_0 t + E_1, \quad (2)$$

$$i(t) = -\frac{U_0 - E_1}{\rho} \sin \omega_0 t, \quad (3)$$

где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_{cm})C}}$ — собственная частота контура,

$\rho = \sqrt{\frac{L_1 + L_{см}}{C}}$ — волновое сопротивление контура.

При $t = t_1$, когда пучок подойдет к мишени, начинается перемагничивание дросселя, что соответствует току

$$i_1(t) = -\frac{U_0 - E_1}{\rho} \sin \omega_0 t_1 = \frac{A}{W_{см}} = i_0. \quad (4)$$

и напряжению на емкости

$$U_c(t_1) = U_0' = (U_0 - E_1) \cos \omega_0 t_1 + E_1 = K_1 U_0. \quad (5)$$

Здесь

A — ампер-витки, необходимые для подвода пучка к мишени,

$W_{см}$ — число витков обмотки смещения.

С момента времени $t = t_1$, согласно принятому предположению, все напряжение будет падать на дросселе, т. е.

$$U_{др} = U_c(t) - E_2.$$

Учитывая, что

$$U_c(t) = K_1 U_0 - \frac{i_0 t}{C},$$

получим

$$U_{др}(t) = K_1 U_0 - \frac{i_0(t)}{C} - (E_1 - K t). \quad (6)$$

Так как

$$\frac{dB}{dt} = \frac{U_{др}(t)}{S_{др} W_p},$$

где

$S_{др}$ — сечение магнитопровода дросселя насыщения;

W_p — витки дросселя, включенные в цепь обмотки смещения,

то

$$\int_{-B_{нас}}^{+B_{нас}} dB = \int_0^{t_{пер}} \frac{U_{др}(t)}{S_{др} W_p} dt. \quad (7)$$

Поставим вместо $U_{др}(t)$ его значение и, проинтегрировав, получим

$$2 B_{нас} S_{др} W_p = (K_1 U_0 - E_1) t_{пер} + \left(\frac{K}{2} - \frac{i_0}{2C} \right) t_{пер}^2. \quad (8)$$

Из выражения (8) время перемагничивания дросселя насыщения, которым в основном определяется длительность импульса излучения, определяется как

$$t_{пер} = \frac{\sqrt{C^2 (K_1 U_0 - E_1)^2 + 4 C B_{нас} W_p S_{др}} - C (K_1 U_0 - E_1)}{KC - \frac{A}{W_{см}}}. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что время перемагничивания дросселя увеличивается с ростом числа витков обмотки смещения, величины накопительной емкости, числа витков и сечения магнитопровода дросселя, а также с увеличением индукции насыщения материала магнитопровода. Поэтому для увеличения длительности импульса излучения необходимо увеличивать указанные параметры.

Таким образом, полученные в результате анализа выражения (4, 5, 6, 8, 9) связывают между собой параметры схемы смещения и могут быть положены в основу приближенного расчета предложенной схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Ананьев, Г. И. Буров, М. М. Штейн. Регистрация излучения бетатрона счетным методом. Труды НИИ ЯФЭА (в печати).
 2. S. Oines N.J.M. 21, № 2, 345—346, 1963.
 3. К. Абе., Н. Кавамура, М. Sugawara. 26, № 2, 250—252, 1964.
-