

С 355

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



13 - 3252

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В.Ф. Сиколенко

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ
ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ ТОКА
С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ НАРАСТАНИЯ
ПЕРЕДНЕГО ФРОНТА В ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКЕ

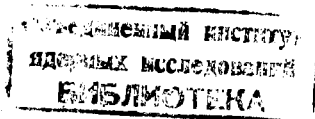
1967.

13 - 3252

В.Ф. Сиколенко

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ
ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ ТОКА
С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ НАРАСТАНИЯ
ПЕРЕДНЕГО ФРОНТА В ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКЕ

Направлено в ЖТФ



4924/3 кр.

В в е д е н и е

При проведении физических исследований с пучками заряженных частиц широкое применение нашли электромагнитные системы, которые используются для трассировки частиц или управления ими в момент ввода в место регистрации. Быстродействие управляющих систем будет целиком определяться режимом нарастания тока в обмотках электромагнита. Задача формирования импульсов тока с малым временем нарастания переднего фронта в индуктивной нагрузке возникла при разработке режима дозирования частиц, выводимых на регистрирующее устройство.

Анализ известных методов формирования импульсов тока с крутым фронтом нарастания при использовании формирующих линий^{1/} обостряющих трансформаторов^{3/} показал, что они сложны в регулировке и громоздки по конструктивному исполнению. В работе рассматривается система формирования импульсов, использующая методы разряда емкости^{2, 4/} в индуктивную нагрузку, но содержащая отдельные контуры формирования фронта и длительности, что позволило осуществить гибкую регулировку названных параметров.

Действительно, пусть в исходном состоянии емкости C_1 и C_2 заряжены соответственно до напряжений E_1 и E_2 . В первый момент времени замыкается ключ K_1 . Начинается переходный процесс, описываемый уравнением (1). В момент максимума тока i_1 , когда напряжение на емкости C_1 равно нулю, включается ключ K_2 . Для определения вида переходного процесса в этом случае запишем начальные условия.

1. Через индуктивность L протекает ток i_1 (максимальное значение тока i_1);

2. Напряжение на емкости C_2 равно E_2 .

Поскольку длительность фронта должна быть гораздо меньше длительности импульса, наложим условие

$$C_1 \ll C_2$$

и при рассмотрении переходного процесса отбросим C_1 . Поскольку цепь линейна, применим принцип суперпозиции. Считая, что в исходном состоянии емкости C_1 и C_2 были заряжены напряжением одной полярности, получим

$$i_2 = i_L + i_0 \quad (4)$$

где i_2 - мгновенное значение тока после замыкания ключа K_2 ; i_L - мгновенное значение тока разряда индуктивности; i_0 - мгновенное значение тока разряда емкости C_2 . Запишем значения составляющих токов:

$$i_0 = \frac{E_2}{\rho_2} \sin \omega_2 t \cdot e^{-\delta t} \quad (5)$$

где $\rho_2 = \sqrt{\frac{L}{C_2}}$ - волновое сопротивление второго контура; $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC_2}}$ - собственная частота второго контура; $\delta = \frac{r}{2L}$ - коэффициент затухания.

Разряд индуктивности L будет происходить по закону

$$i_L = I_1 \cdot \cos \omega_2 t \cdot e^{-\delta t} \quad (6)$$

Тогда общий ток будет:

$$i_2 = i_L + i_0 = (I_1 \cdot \cos \omega_2 t + I_0 \cdot \sin \omega_2 t) e^{-\delta t} \quad (7)$$

где $I_0 = \frac{E_2}{\rho_2}$ - максимальное значение тока при разряде емкости C_2 .

Считая, что I_1 и I_0 - координаты некоторой точки в декартовой системе координат, перейдем к полярным координатам, обозначив радиус-вектор через I_2 и полярный угол через ϕ , тогда

$$I_1 = I_2 \cdot \sin \phi \quad (8)$$

$$I_0 = I_2 \cdot \cos \phi \quad (9)$$

Подставляя (8), (9) в (7), получим:

$$i_2 = I_2 (\cos \omega_2 t \cdot \sin \phi + \sin \omega_2 t \cdot \cos \phi) e^{-\delta t}$$

$$i_2 = I_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \phi) e^{-\delta t} \quad (10)$$

Из выражений (8) и (9) найдем

$$\phi = \arctg \frac{I_1}{I_0} \quad (11)$$

Таким образом, ток во втором контуре будет иметь начальное значение I_1 и в дальнейшем изменяться по закону синуса с амплитудой

$$I_2 = \frac{I_0}{\cos \phi} \quad (12)$$

Следовательно, для положительной полувольты тока в случае применения ключа K_2 вентиляльного типа будет получен импульс (рис.2), у которого время нарастания будет равно $\frac{T_1}{4}$, где

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC_1} \quad (13)$$

а достигнутое за время фронта значение тока будет

$$I_1 = \frac{E_1}{\rho_1}$$

где E_1 - напряжение на емкости C_1 ,

$\rho_1 = \sqrt{\frac{L}{C_1}}$ - волновое сопротивление первого контура.

Для расчета параметров цепи по заданной форме импульса введем обозначения (см. рис.2):

t_ϕ - длительность фронта нарастания;

T_2 - период собственных колебаний контура формирования длительности;

T_u - длительность импульса - время, в течение которого ток больше значения, достигнутого за время фронта (I_1), или равен ему.

На основании сказанного выше

$$t_\phi = \frac{T_1}{4} \quad (14)$$

Длительность импульса будет равна:

$$T_u = \frac{T_2}{2} - 2\phi ; T_u = T_2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \phi \right) \quad (15)$$

Т.е. длительность импульса будет тем больше (стремясь к T_2), чем меньше

начальный угол ϕ . Однако, в свою очередь, это условие влечет за собой увеличение отношения максимального тока I_2 к току I_1 , поскольку

$$\sin \phi = \frac{I_1}{I_2}.$$

Таким образом, чем выше требования к неизменности тока за рабочую часть импульса, тем хуже коэффициент использования синусоиды с точки зрения длительности импульса. Однако в большинстве случаев важно получить лишь определенное отношение длительности импульса к времени нарастания тока, так что отмеченный недостаток описываемого метода не имеет существенного значения. В каждом конкретном случае можно выбрать необходимое соотношение между токами I_1 и I_2 , исходя из величины допустимого тока коммутации устройства К2, а необходимая длительность импульса может быть получена соответствующим подбором емкости C_2 .

Порядок расчета системы формирования импульсов тока

Полученные выше соотношения позволяют произвести расчет системы формирования импульсов тока при заданных длительности фронта t_ϕ , длительности импульса T_a , индуктивности нагрузки L и необходимом токе I_1 .

В результате расчета необходимо определить:

- C_1 - величину емкости контура формирования фронта;
- E_1 - напряжение на емкости формирования фронта;
- C_2 - величину емкости контура формирования длительности;
- E_2 - напряжение на емкости контура формирования длительности.

Из соотношений (14) и (13) находим:

$$C_1 = \frac{4 t_\phi^2}{\pi^2 L}.$$

Напряжение E_1 находим, зная необходимый ток I_1 :

$$E_1 = \frac{\pi L}{2 t_\phi} I_1.$$

Величину емкости C_2 можно найти, пользуясь соотношениями (15) и (13):

$$C_2 = \frac{T_a^2}{4\pi^2 L (0,5 - \frac{\phi}{\pi})^2}.$$

Как следует из полученной формулы, величина емкости C_2 зависит от параметра ϕ , который, в свою очередь, определяется отношением токов I_1 и I_0 (11).

Как было отмечено выше, для получения заданной длительности импульса при минимальных значениях емкости C_2 следует увеличить разрядный ток емкости второго контура I_0 (11), что приведет к уменьшению параметра ϕ . Если для построения схемы формирования применяются слаботочные коммутирующие устройства, можно увеличить отношение токов $\frac{I_1}{I_0}$ при соответственном увеличении емкости C_2 .

Итак,

$$\phi = \arctg \frac{I_1}{I_0} = \pi (0,5 - \frac{T_a}{T_2}).$$

Определив значения токов через напряжения на емкостях и волновые сопротивления контуров и подставив полученные результаты в (11), получим

$$E_2 = \frac{E_1}{\operatorname{tg} \phi} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}.$$

Форма импульса тока, полученного с помощью рассчитанной системы при применении коммутирующих устройств с вентильными характеристиками, может быть найдена с использованием соотношений (13), (14), (10), (11) и (12).

Практическое использование метода

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ рассчитана и разработана схема формирования импульсов тока в индуктивной нагрузке на основании требований режима дозирования пучка для пузырьковой камеры. Ниже приводится пример расчета основных параметров системы формирования при следующих данных:

1. Длительность фронта не более 25 мксек;
2. Длительность импульса не менее 1,5 мсек;
3. Номинальное значение тока I_1 не менее 800А;
4. Индуктивность нагрузки 290 мкгн.

В соответствии с выведенным порядком расчета величина емкости контура формирования фронта

$$C_1 = \frac{4 t_{\phi}^2}{\pi^2 L} = 1 \text{ мкф} .$$

Напряжение на емкости C_1

$$E_1 = \frac{\pi L}{2 t_{\phi}} \cdot I_1 = 15 \text{ кв} .$$

При выбранном отношении $\frac{T_a}{T_2} = 0,5$ получим $\phi = 16^\circ$, что соответствует значению емкости C_2 :

$$C_2 = \frac{T_a^2}{4 \pi^2 (0,5 - \frac{\phi}{\pi})^2} \approx 2000 \text{ мкф} .$$

При этом емкость C_2 необходимо зарядить до напряжения

$$E_2 = \frac{E_1}{\text{tg } \phi} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} = 1100 \text{ в} .$$

Практически емкость C_2 составлена из конденсаторной батареи, набранной из 22 конденсаторов типа ИМЗ-100. В качестве коммутирующих устройств использованы тиратроны с водородным наполнением в контуре формирования фронта и с ртутным наполнением в контуре формирования длительности. Осциллограмма импульса магнитного поля в одном из технологических режимов рассчитанной установки приведена на рис.3.

З а к л ю ч е н и е

1. Рассмотрен метод формирования импульсов тока с малым временем нарастания в индуктивной нагрузке.

2. Выведены основные соотношения, позволяющие рассчитать схему формирования по заданной форме импульса.

3. Показана возможность регулировки параметров генерируемого импульса без больших затрат на механические и монтажные работы, что представляет определенную ценность при проведении экспериментальных исследований, требующих оперативной подстройки системы.

4. По предложенному методу спроектирована и выполнена установка для дозировки пучка на синхрофазотроне ОИЯИ.

Л и т е р а т у р а

1. А.Г. Бонч-Осмоловский, Г.К. Иванов. Известия вузов МВО СССР, Радиотехника, 3, 558-562 (1960).
2. K.S. Champion. Proc. Phys. Soc., B.63. N370, 795-306 (1950).
3. О.Гримаев, О.Г. Ильин, О.М. Шендерович. Украинский физический журнал, т. VII, № 8, 1963, 861-875.
4. В.К. Макарьин, В.П. Мартемьянов, ПТЭ, №2, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 марта 1967г.

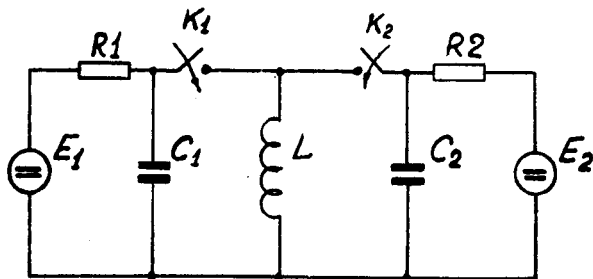


Рис.1. Эквивалентная схема цепи формирования импульсов тока с малым временем нарастания в индуктивной нагрузке.

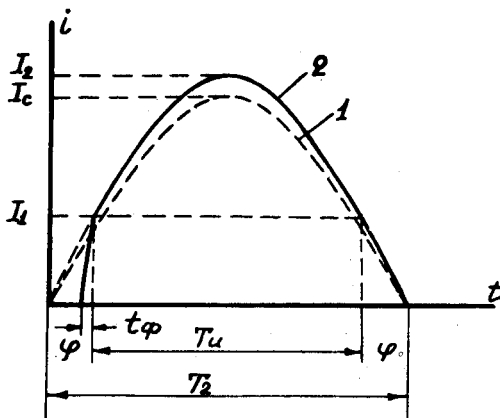


Рис.2. Форма импульса тока, полученная в схеме цепи рис.1.
1-импульс тока при разряде C2,
2-результатирующий импульс тока.

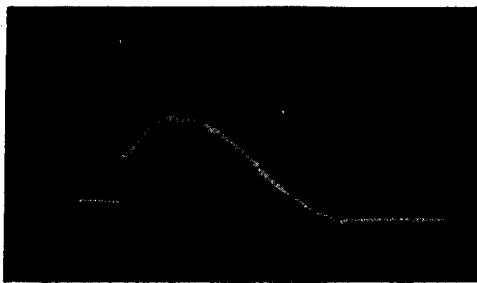


Рис.3. Осциллограмма импульса магнитного поля, сформированного в цепи рис.1. Длительность развертки 1 мсек/см.