

УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СИНХРОФАЗОТРОННОГО РЕЖИМА СИНХРОТРОНА НА 300 Мэв

Б. А. СОЛНЦЕВ, В. И. ТОЛМАЧЕВ

Инжекция электронов в синхротроне 300 Мэв осуществляется при энергии 260 кэв. Скорость электронов при такой энергии составляет всего 0,75 скорости света. Увеличение энергии в начальной части цикла сопровождается ростом скорости электронов и изменением периода обращения их на орбите. Частота ускоряющего электрического поля в этой части цикла ускорения должна так же изменяться. Характер изменения частоты ускоряющего электрического поля и изменение управляющего магнитного поля определяют поведение радиуса орбиты во времени и количество электронов, возлеченных в ускорение. Зависимость частоты от времени, обеспечивающая постоянство радиуса орбиты [1]

$$f(t) = \frac{ceBR_0}{2\pi R_0 S} \frac{1}{\sqrt{E_0^2 + (eBR_0)^2}}, \quad (1)$$

где B — магнитное поле на орбите радиуса R_0 ,

S — коэффициент формы орбиты,

E_0 — собственная энергия электрона.

Для синхротрона 300 Мэв $R_0 = 95$ см, $S = 1,32$. Закон изменения частоты с учетом характера нарастания управляющего магнитного поля приведен на рис. 1. Из рисунка видно, что область изменения частоты лежит в пределах (28,16—37,505) МГц, причем наибольшие изменения частоты происходят в первые 140—200 мксек после инжекции. В дальнейшем частота изменяется мало и примерно через 500 мксек остается практически постоянной.

Таким образом, целесообразно весь цикл ускорения разбить на два этапа. Первый этап — этап синхрофазотронного ускорения — охватывает область изменения частоты. Этот период сравнительно невелик, и здесь в качестве источника высокочастотной мощности может быть использован генератор на импульсных лампах, способных развить достаточную мощность в заданной полосе частот. Второй этап занимает основную часть цикла ускорения, но, поскольку ускорение ведется на постоянной частоте, здесь могут быть использованы обычные генераторные лампы. Оценка допусков на отклонение частоты от заданной показывает, что наиболее жесткие требования накладываются на начальную частоту, которая должна быть выдержана с точностью 0,3%.

В синхротроне в качестве ускоряющего устройства используются спаренные тороидальные резонаторы — широкополосный и узкополосный. Во избежание потерь электронов при переходе от синхрофазотронного этапа ускорения к синхротронному за счет возбуждения колебаний в узкополосном резонаторе [5] частота при переходе изменяется

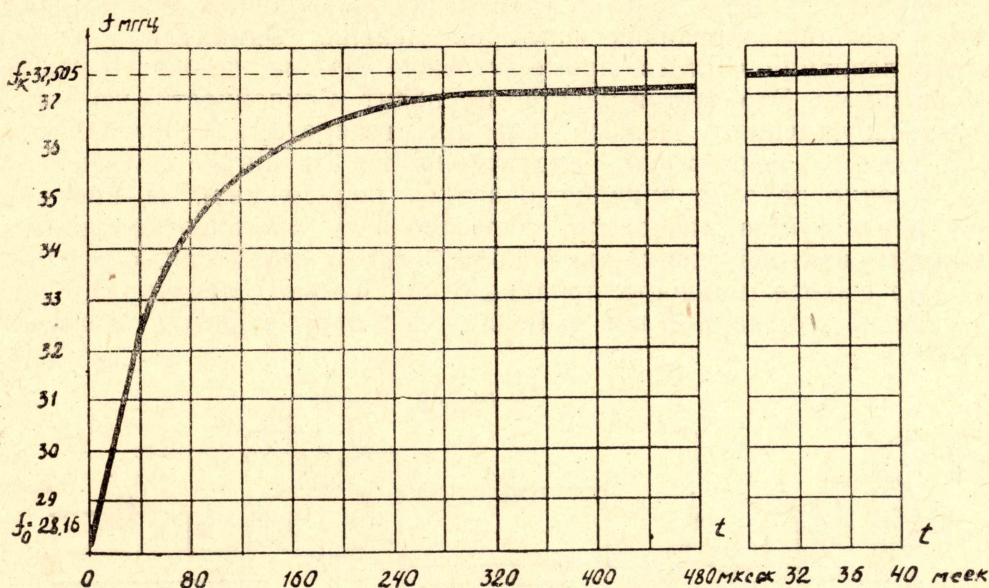


Рис. 1. Закон изменения частоты ускоряющего напряжения

скачком от 37 Мгц до 37,5 Мгц. Таким образом, период синхрофазотронного ускорения длится 330 мксек. Величина ускоряющего напряжения на первом этапе составляет 600 в и увеличивается до 1000 в на втором этапе вследствие увеличения скорости роста управляющего магнитного поля.

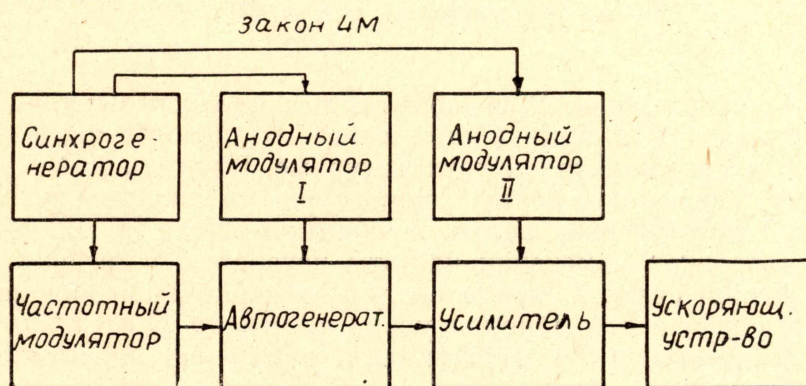


Рис. 2. Блок-схема ускоряющей системы

Единственным доступным методом осуществления программы изменения частоты в нашем случае, как, впрочем, и в других ускорителях с подобной девиацией частоты, является применение ферритов. Все другие существующие способы частотной модуляции или не могут обеспечивать заданную девиацию частоты или имеют плохую стабильность параметров. Блок-схема ускоряющей системы для синхрофазотронного этапа ускорения приведена на рис. 2.

Для питания ускоряющего устройства могут быть использованы как автогенераторы, так и генераторы с независимым возбуждением. Многокаскадные генераторы с независимым возбуждением в обычных случаях частотной модуляции обладают рядом преимуществ перед автогенераторами. Основное преимущество их заключается в том, что формирование частоты производится на низких уровнях мощности, где влияние дестабилизирующих факторов меньше. Однако при наличии большой девиации частоты промежуточные ступени должны быть широкополосными. Это обстоятельство приводит к склонности усилителей к самовозбуждению. Первый вариант генератора, состоящего из возбудителя с ферритовой индуктивностью и пяти ступеней усиления, именно по этой причине оказался ненадежным. В настоящее время используется генератор, состоящий из частотно-модулированного автогенератора мощностью около 3 кВт и усилителя, обеспечивающего на выходе мощность порядка 6 кВт. Схема генератора приведена на рис. 3. Основанием для выбора схемы автогенератора послужили

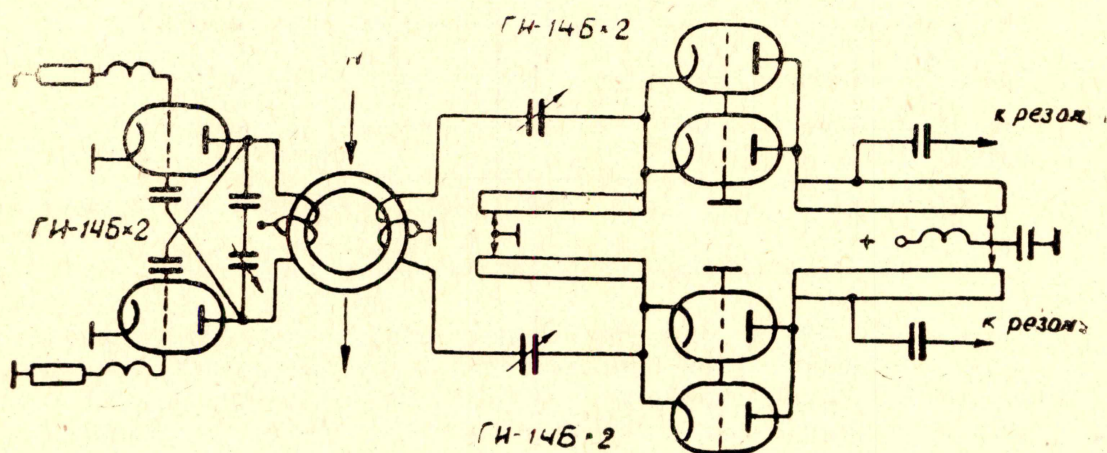


Рис. 3. Принципиальная схема генератора

следующие соображения. Для получения частотной модуляции в результате изменения индуктивности могут быть использованы как одноконтурные генераторы, так и двухконтурные. Преимуществом двухконтурных автогенераторов перед одноконтурными является возможность независимой регулировки частоты и обратной связи [3]. В одноконтурном генераторе при изменении частоты неизбежно изменение коэффициента обратной связи и, как следствие, генерируемой мощности.

Выбор феррита для одноконтурной схемы не представляет трудностей. Достаточно, чтобы коэффициент изменения магнитной проницаемости феррита $\kappa_\mu = \frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}}$ был не менее квадрата коэффициента перестройки по частоте $\kappa_f = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}$; $\kappa_\mu \geq \kappa_f^2$ [2].

Для двухконтурных генераторов не существует такой простой и очевидной зависимости между κ_μ и κ_f . Расчет показывает, что в случае, когда перестраивается один из контуров автогенератора, необходимое значение κ_μ зависит от соотношения индуктивностей контуров. На рис. 4 приведена зависимость κ_μ от соотношения индуктивностей контуров автогенератора $\kappa_\phi = \frac{L_1}{L_2}$ с общей сеткой и об-

щим анодом, обеспечивающего необходимое перекрытие по частоте. Из рисунка можно видеть, что чем выше требование к постоянству генерируемой по диапазону мощности, тем выше требуемое K_{μ} феррита. Равномерность напряжения по диапазону покупается ценой увеличения диапазона перестройки феррита. Что касается схемы с общим катодом, то ее свойства, как двухконтурной схемы, выражены значительно слабее. Таким образом, двухконтурные схемы существенных преимуществ перед одноконтурной не имеют.

Исходя из этого, автогенератор собран по обычной двухтактной трехточечной схеме с емкостной связью. Опыт работы с синхротроном показал, что неравномерность ускоряющего напряжения невелика, причем эта неравномерность может быть значительно ослаблена настройкой усилителя и введением отрицательной обратной связи. Контур генератора состоит из двухвитковой катушки индуктивности, намотанной на 3 ферритовых кольца диаметром 13 см и общим сечением 12 см². Аналогичная катушка используется для связи с выходной ступенью. Высокочастотная индукция в феррите не превышает допустимую и составляет 140 гс. Ферритовые кольца расположены в зазоре электромагнита, в обмотках которого протекает ток, величина и форма которого определяют программу модуляции частоты. Такая система позволяет в значительной степени упростить цепи питания электромагнита и снизить величину модулирующего тока.

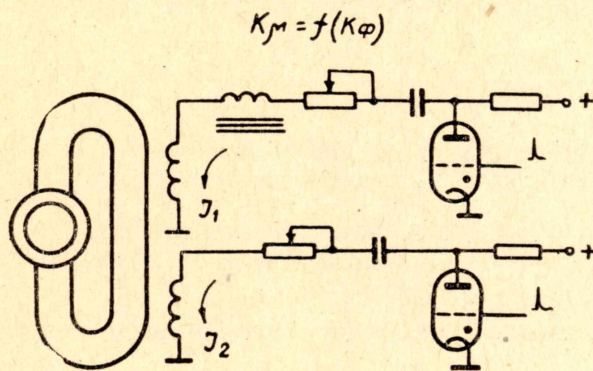


Рис. 5. Схема формирования модулирующего тока

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{f}{f - f_n} \frac{\Delta f}{f} \quad (2)$$

Характерным является то, что здесь допуск уменьшается с увеличением частоты и становится наиболее жестким к концу синхрофазо-

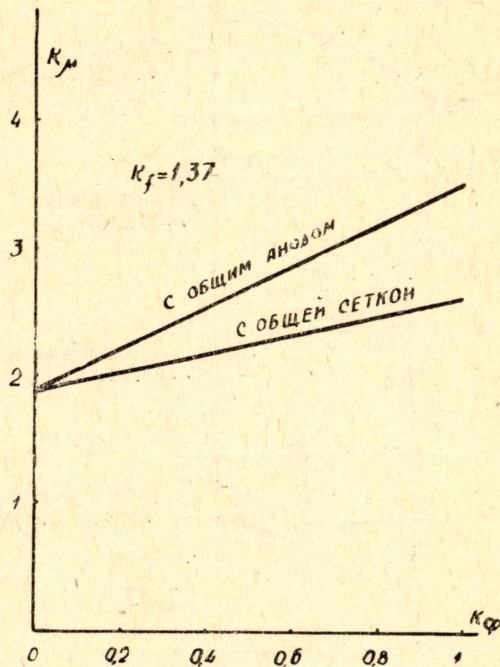


Рис. 4. Зависимость K_{μ} от K_{Φ} для автогенератора с общей сеткой и с общим анодом

Такая система позволяет в значительной степени упростить цепи питания электромагнита и снизить величину модулирующего тока.

Допуск на отклонения закона изменения частоты от заданного значительно менее жесткий, чем на начальную частоту. Допуск же на отклонение модулирующего тока ослабляется еще одним обстоятельством, что в отсутствие тока частота автогенератора близка к начальной. Если начальная частота f_n , допустимые отклонения тока на частоте f

тронного этапа, где достигает величины $(1,5-2)\%$. Такие сравнительно низкие требования к модулирующему току позволили применить простую схему формирования, изображенную на рис. 5.

Усилитель собран по двухтактной схеме с заземленной сеткой. В каждом плече усилителя установлено 2 лампы ГИ-14Б в параллель.

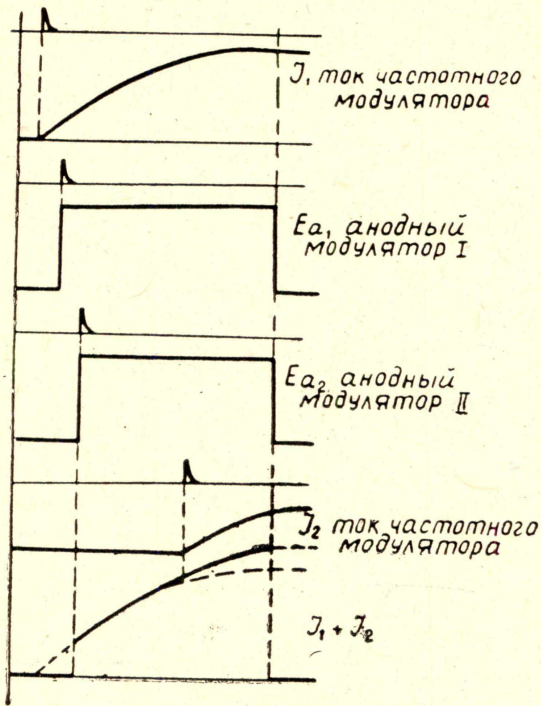


Рис. 6. Временные соотношения импульсов в генераторе

формы, причем выходная ступень включается позже, с тем, чтобы переходные процессы при включении автогенератора успели затухнуть. Модулятор автогенератора и модулятор выходной ступени работают по принципу частичного разряда накопительной емкости через тиратрон [4]. Процессы, происходящие в генераторе, иллюстрируются рис. 6.

Шунтовое сопротивление резонатора для обеспечения заданной полосы пропускания составляет 30 ом, поэтому усилитель должен обеспечить мощность в нагрузке 6 квт. Такую мощность лампы отдают при анодном напряжении 6 кв. Для связи с нагрузкой использованы два коаксиальных кабеля с волновым сопротивлением 75 см каждый, таким образом, нагрузка усилителя симметричная. Длина кабелей выбрана $\lambda/2$. Применение кабеля длиной $\lambda/4$ позволило бы увеличить шунтовое сопротивление резонатора в $\sqrt{2}$ раза и снизить потребляемую мощность [6]. Однако сложность настройки такой системы и нежелательные трансформации не позволяют реализовать ее преимущества.

Обе ступени генератора имеют анодную модуляцию импульсами прямоугольной

ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Рабинович. Труды ФИАН СССР. Т. X, 1958.
2. В. И. Каганов. Радиопередатчики малой и средней мощности. М.—Л., «Энергия», 1964.
3. Б. П. Терентьев. Радиопередающие устройства. Связьиздат, 1963.
4. В. А. Борисов, Г. Н. Острейко, В. С. Панасюк, Л. И. Юдин. ПТЭ, № 4, 1963.
5. O. Wernholm. Arkiv för Fysik B. 26, 1964.
6. A. Susini. Some wide-band guavter wavelength eine coupling circuits. CERN 64-48, 20 November, 1964.