

жение (1) и (2), то

$$\frac{d^2 \psi}{dn^2} = \frac{\partial Q}{\partial n} - \frac{3}{2} \Delta Q \Delta Q_p A \sin 3\psi - \frac{1}{4} \Delta Q_p^2 A^2 \sin 6\psi \quad (22)$$

Резонансу соответствуют $3\psi = \pi/2$ и $\Delta Q = \Delta Q_p A$. Поэтому в случае

$$\frac{\partial Q}{\partial n} \geq \frac{3}{2} \Delta Q_p^2 A^2 \quad (23)$$

имеет место нарушение адиабатичности в резонансной области. Тогда частицы с амплитудами

$$A \leq \frac{1}{\Delta Q_p} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{\partial Q}{\partial n}} \quad (24)$$

не будут захватываться в резонанс. В рассматриваемом случае только амплитуды $A \leq 0,01$ см не могут

быть выведены. Практически это означает, что эффективность вывода будет определяться конструкцией сепараторного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. G. Hereward, The Possibility of Resonant Extraction from the CPS, CERN AR / Int. GS / 61—5, Dec. 1961.
2. F. W. Brasse, G. E. Fischer, M. Fotino, K. W. Robinson. The External Electron Beam of the Cambridge Electron Accelerator, CEAL — 1006, Cambridge, 1963.
3. В. В. Владимировский, Л. Л. Гольдин, Е. Н. Данильцев, Д. Г. Кошкарев, Н. Н. Мейман, ПТЭ, 1956, № 3, 31.
4. A. Schuch, Theory of Linear and Non-linear Perturbations of Betatron Oscillations in Alternating Gradient Synchrotrons, CERN 57—23, Geneve, 1958.

УДК 621.317.765.62:621.384.612.3

АПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОБМОТКИ ПОДМАГНИЧИВАНИЯ МОЩНЫХ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПИТАНИЯ УСКОРЯЮЩИХ РЕЗОНАТОРОВ СИНХРОТРОНОВ

О. А. НЕЖЕВЕНКО, Г. Н. ОСТРЕЙКО, В. С. ПАНАСЮК, Л. И. ЮДИН

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск]

(Получено 2 марта 1966 г.)

Описаны два типа обмоток подмагничивания ферритов ч. м. автогенератора метровых волн для питания ускоряющих резонаторов синхротронов. Изложен метод устранения собственных резонансов в многовитковой обмотке подмагничивания, когда общая длина ее составляет ряд электрических длин волн.

Для захвата больших токов (порядка ампер) в режиме однооборотной инжекции в синхротрон достаточно иметь инжектор с энергией электронов около полумиллиона электронвольт [1]. Получение электронов с такой энергией не представляет значительных технических трудностей. Поскольку генерирование полностью релятивистских электронов ($\sim 2 \div 3$ Мэв) связано с сооружением довольно громоздких установок, может оказаться целесообразным начинать синхротронное ускорение с энергией инжекции, значительно меньшей релятивистской. Для этого необходим высокочастотный генератор с модуляцией частоты на $10 \div 15\%$. В конструкции частотно-модулированного (ч. м.) автогенератора, описанного ниже,

максимально возможная мощность в импульсе ограничивается геометрическими размерами ферритовых колец, т. е. допустимой величиной индукции магнитного в. ч. поля в феррите. Получение максимально возможной импульсной мощности облегчает задачу последующего широкополосного усиления.

1. КОНСТРУКЦИИ РЕЗОНАНСНЫХ КОНТУРОВ

Ниже описывается конструкция ч. м. автогенератора; схематический разрез его дан на рис. 1. Размеры контура определились размерами колец из феррита 10-ВЧ-1, коаксиальная конструкция анодного и ка-

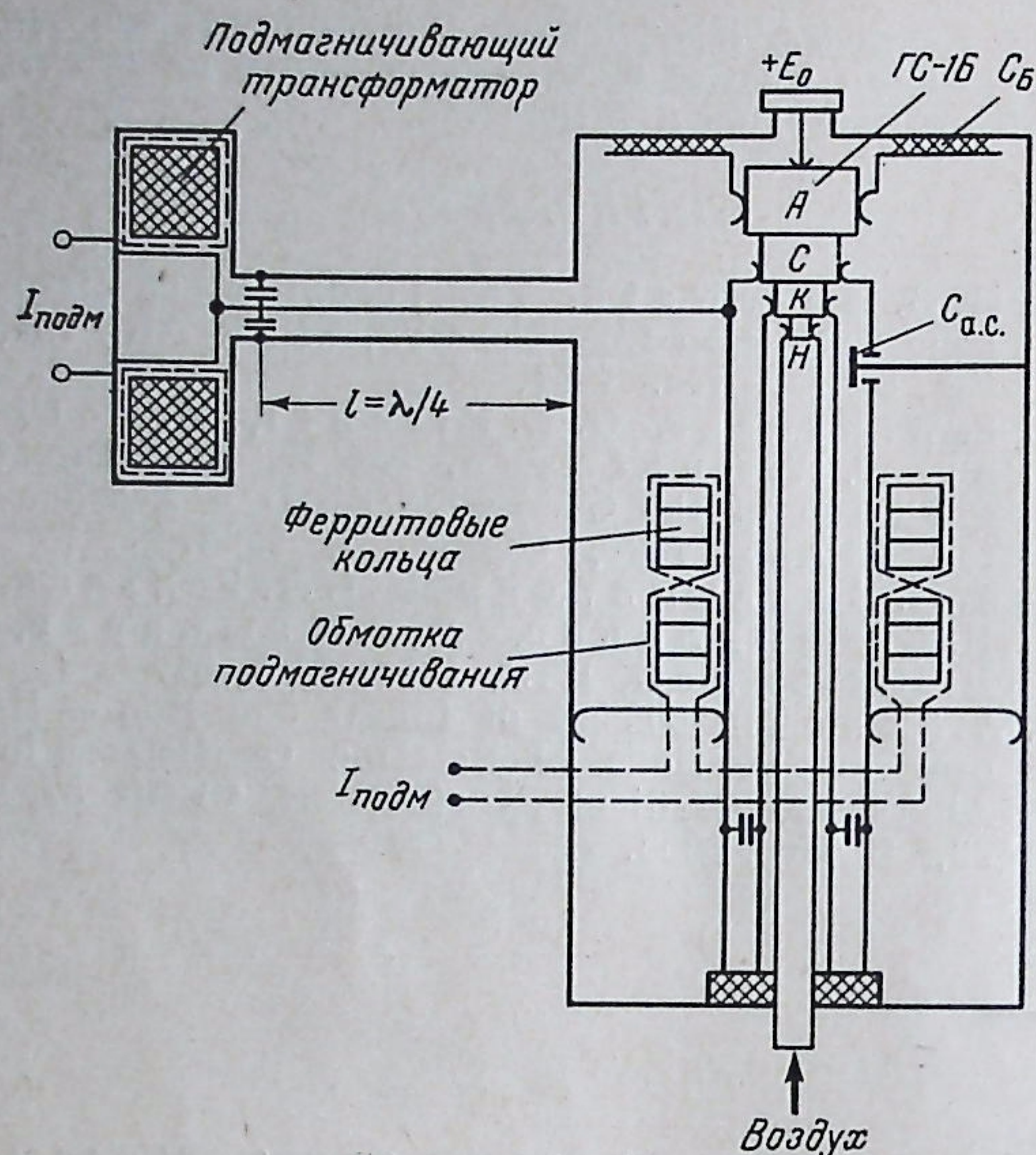


Рис. 1. Схематический разрез автогенератора

тодного контуров — конструкцией металлокерамической лампы ГС-1Б. Эквивалентное волновое сопротивление анодного контура взято большим. Его величина при прочих равных условиях определяется распределенной емкостью коаксиальной линии анодного контура, которую не имеет смысла уменьшать после того, как она стала меньше междуэлектродной емкости лампы сетка-анод. При этом индукция магнитного в. ч. поля в ферритах в основном будет определяться током смещения через емкость сетка-анод. Разумеется, при увеличенном волновом сопротивлении и заданных параметрах феррита растет поле рассеяния. Однако благодаря импульсному характеру работы генератора можно развивать большие токи подмагничивания феррита и этим компенсировать потерю в диапазоне перекрытия частот вследствие присутствия относительно большого нерегулируемого объема магнитного в. ч. поля. Обратная связь — емкостная; регулируется переменным конденсатором $C_{o.c.}$, включенным параллельно промежутку анод-катод. Катодный контур должен быть сконструирован так, чтобы выполнялось известное [2] соотношение для коаксиальных контуров автогенераторов:

$$0 < \omega_n C_{c-k} W_k \operatorname{tg} m_n l_k < 1,$$

где ω_n — частота колебаний, соответствующая обертому номеру n анодно-сеточного контура, $m_n = \omega_n / 3 \cdot 10^{10}$; C_{c-k} — емкость сетка-катод лампы; W_k — волновое сопротивление катодно-сеточного контура; l_k — длина катодно-сеточного контура. При этом в. ч. каскад устойчив к паразитным частотам. Конденсатор C_b — блокировочный.

Чтобы отобрать полную в. ч. мощность, определяемую типом лампы, связь нагрузки с анодным контуром необходимо делать большой. Если нагрузка имеет реактивный характер, происходят скачки частоты по диапазону вследствие многоволнистости системы анодный контур — нагрузка. Это обстоятельство надо учитывать при выборе первого каскада усилителя: входное сопротивление его должно быть активным в необходимом диапазоне частот. Это легко обеспечивается в каскадах с заземленной сеткой для многих типов ламп при уровне входной мощности 5 ÷ 10 квт. В рассматриваемом случае генераторы работали на входные каскады усилителей на лампах ГИ-4А и ГУ-5Б.

Стабильность частоты и частотной характеристики автогенератора определяется не только его собственными параметрами, но и изменениями режимов первого каскада усилителя. Измерения показывают, что стабилизации накала катода и импульса анодного питания для приведенных здесь типов «буферных» каскадов до 1 ÷ 2% достаточно, чтобы уходы несущей частоты в течение дня не превосходили величины, равной 0,1%, при длине фидера связи между автогенератором и усилителем, равной половине, при коэффициенте бегущей волны в худшей точке диапазона, равном 0,8.

Индукция магнитного в. ч. поля в феррите настолько велика, что за счет нелинейности феррита возникают искажения в. ч. синусоидального напряжения. Однако резонансные контуры последующих каскадов обеспечивают достаточную фильтрацию напряжения на ускоряющем резонаторе.

2. ДВА ТИПА ОБМОТОК ПОДМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРИТОВ

Возбуждение импульсного поля подмагничивания ферритов для изменения величины их магнитной проницаемости в рассматриваемой конструкции резонансного контура автогенератора производится двумя

способами. В одном случае подмагничивающий ток протекает через центральный электрод коаксиального контура, в другом — через специальную многовитковую обмотку. Первый тип «обмотки подмагничивания» использует конструктивные элементы в. ч. контура и является наиболее простым. Недостаток его состоит в большой величине тока подмагничивания, вследствие «одновитковой» конструкции, и большом поле рассеяния (магнитный поток за пределами ферритов). Второй тип представляет собой тороидальную многовитковую обмотку, сердечником которой является феррит. Такая обмотка позволяет работать с малыми токами подмагничивания. Это особенно важно в том случае, если закон изменения частоты во времени сложен, и импульсы тока подмагничивания должны иметь специальную форму.

Оба типа обмоток подмагничивания известны в литературе [3, 4]. Однако в обмотке первого типа в диапазоне метровых и дециметровых волн удобно использовать конструкцию подмагничивающего трансформатора в сочетании с четвертьволновым металлическим изолятором. Как видно из рис. 1, трансформатор имеет малое поле рассеяния вследствие особенностей вторичной обмотки, представляющей собой тороидальный виток, нагруженный на четвертьволновый изолятор и элементы анодного контура генератора. В обмотке второго типа применено секционирование, которое позволяет использовать тороидальную многовитковую обмотку в автогенераторе у. к. в. и с. в. ч. диапазона даже в том случае, если геометрическая длина провода обмотки составляет много длин волн в. ч. напряжения автогенератора. Электрическая схема обмотки изображена на рис. 2; витки двух ее частей направлены навстречу друг другу.

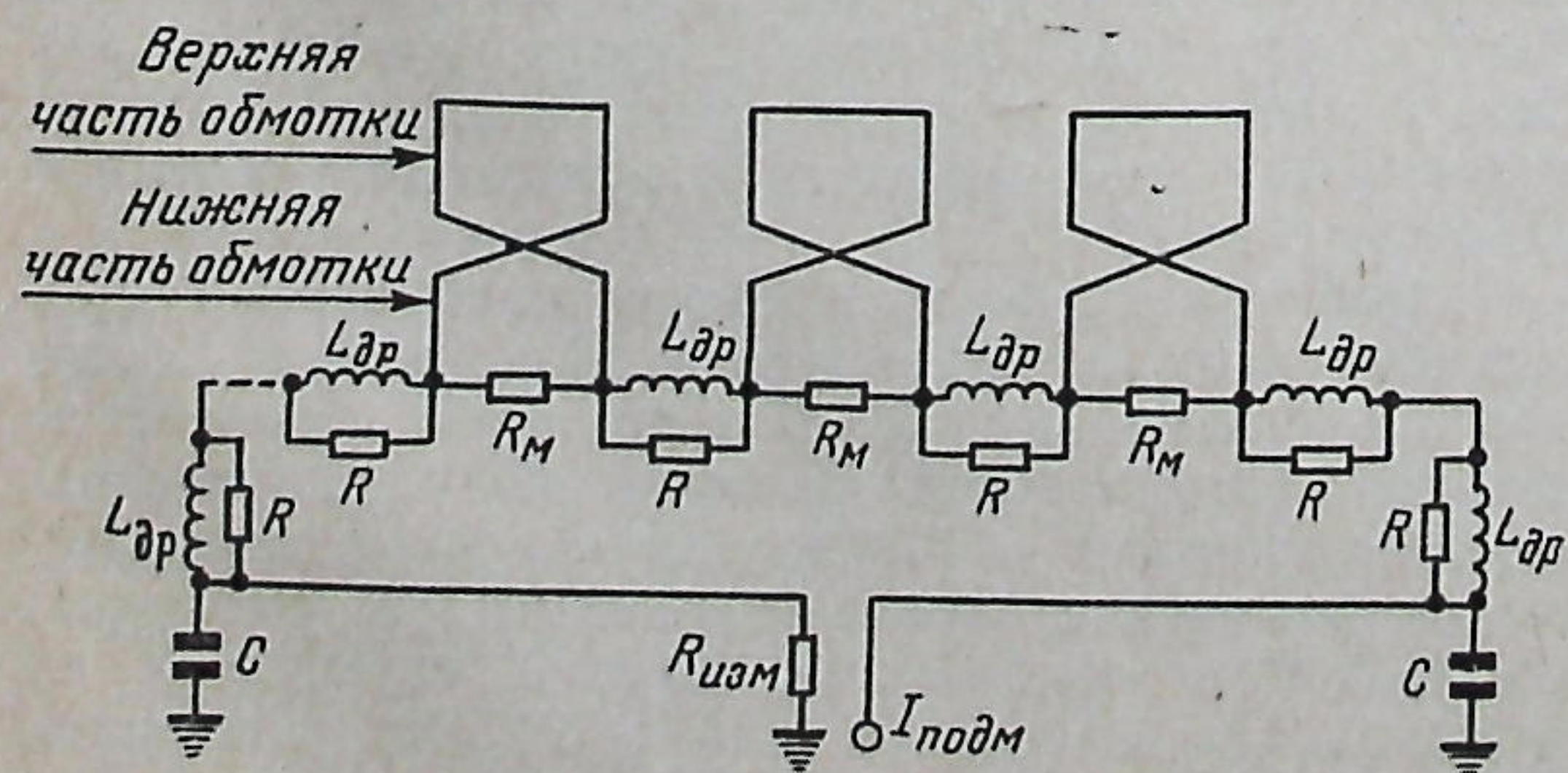


Рис. 2. Принципиальная схема многовитковой обмотки подмагничивания

Площади сердечников частей обмотки подбираются так, чтобы электродвижущие силы в. ч. напряжения на каждой из них были по возможности одинаковы; тогда в. ч. токи в обмотке малы. При данном объеме ферритов длина двух последовательно соединенных витков соизмерима с четвертью длины волны в. ч. напряжения автогенератора. Обмотка в этом случае может явиться многоволнистой резонансной системой, сильно связанной с основным контуром автогенератора даже при небольшой асимметрии двух частей обмотки. Это мешает получению нужной модуляционной характеристики автогенератора. Для устранения резонансных свойств обмотки секции ее длиной менее четверти длины волны разделены дросселями $L_{др}$ и зашунтированы активными сопротивлениями $R_{ш}$. Длина обмотки дросселя выбирается такой, чтобы он представлял собой параллельный резонансный контур на высшей частоте диапазона модуляции. Для придания ему свойств широкополосного контура он шунтируется активным сопротивлением R , величиной, близкой к индуктивному сопротивлению дросселя. Такая обмотка является аперидической в диапазоне частот автогенератора и позволяет получить любую модуляционную характеристику.

3. СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ

Максимальная скорость изменения частоты ограничивается известным эффектом падения добротности феррита при большой скорости подмагничивания. В описываемой здесь конструкции автогенератора с сердечником из феррита 10ВЧ1 падение добротности при перемагничивании, соответствующем изменению проницаемости в три раза за время, равное 30 мксек, незначительно сказывается на эквивалентном сопротивлении контура и, следовательно, на равномерности в. ч. мощности в нагрузке. В случае несущей, равной 100 Мгц и 10% девиации, скорость изменения частоты равна $3 \cdot 10^5$ Мгц/сек. При таком малом времени перестройки частоты собственную индуктивность обмотки подмагничивания желательно иметь минимальной. Таким образом, уменьшение индуктивности рассеяния обмоток подмагничивания может значительно упростить конструкцию модулятора подмагничивания.

Основные электрические параметры автогенератора и обмоток подмагничивания приведены в таблице.

Авторы выражают благодарность Г. Д. Апушкину и Е. К. Землянину за помощь при изготовлении и сборке аппаратуры.

Параметры	Одновитковая обмотка	Многовитковая обмотка
Несущая частота, Мгц	110	110
Возможная девиация частоты, %	14	14
Амплитуда тока подмагничивания, а	3000	100
Стабильность несущей частоты при нагрузке на активное сопротивление	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
Стабильность модуляционной характеристики	Лучше 10^{-2}	Лучше 10^{-2}
Полезная мощность высокой частоты (в импульсе), квт	10	9
Количество витков	1	30
Собственная индуктивность обмотки, мкген	0,25	70

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Абрамян, Г. И. Будкер, А. А. Наумов, В. С. Панасюк и др. Тр. Международной конференции по ускорителям, Дубна, 1963, 1964, Атомиздат.
2. С. Н. Терентьев, В. Ф. Картавых, Триодные передатчики дециметровых волн, 1962, Гостехиздат, Киев.
3. А. В. Антонов, Ю. В. Коршунов, В. С. Панасюк, Proc. Intern. Conf. on High-Energy Accelerators and Instrumentation, CERN, 1959.
4. Ю. М. Лебедев-Красин, Радиотехника и электроника, 1956, 1, 7, 940.

УДК 621.374.325

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ В НАКОПИТЕЛЕ

Е. А. ПИРУШКИН, Т. П. СТАРДУБЦЕВА

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

(Получено 18 марта 1966 г.)

Описан преобразователь для наблюдения за равновесной фазой сгустка в накопителе ВЭПП-2[1] (встречные электрон-позитронные пучки). В совокупности с фазометром Ф2-3 преобразователь дает возможность замечать изменения в равновесной фазе с точностью $0,5^\circ$ при разрешающей способности $0,1^\circ$.

Измерение фазового положения электрического центра тяжести электронного сгустка относительно напряжения на резонаторе представляет интерес в связи с задачей измерения полных когерентных потерь сгустка в различных режимах работы накопителя. В случае встречи коротких сгустков может оказаться интересным взаимное положение электронного и позитронного сгустков; эти измерения облегчены тем, что число электронов и позитронов будет, по-видимому, различаться в несколько десятков раз.

Проведенные оценки показывают, что точность измерения фазовых сдвигов должна быть не хуже 10^{-2} рад при разрешающей способности аппаратуры $2 \cdot 10^{-3}$ рад. Измерения проводятся путем сравнения по фазе первой гармоники сигнала с электростатического пикап-электрода и напряжения на резонаторе.

Требования к измерительной аппаратуре следующие: 1) Частота сравниваемых напряжений (25 ± 1) Мгц. 2) Относительная нестабильность частоты сигналов на каждой фиксированной частоте об-

ращения сгустка $\sim 10^{-3}$. 3) Фазометр должен быть приспособлен для работы с импульсами, весьма богатыми гармониками, так как фазовые размеры сгустков в накопителе малы $[(T/\tau)_{\text{макс}} \approx 100]$, где T — период обращения, τ — эффективная длительность сгустка. 4) Минимальный входной сигнал по крайней мере в одном из каналов не выше $1 \cdot 10^{-3}$ в, что соответствует циркулирующему току 1 ма, с которого ведутся измерения. 5) Величина разности фаз сравниваемых напряжений может меняться от 0 до 360° .

Фазометры с перечисленными параметрами промышленностью не выпускаются. Наиболее подходящим для измерений по большинству параметров оказался стандартный фазометр Ф2-3: на частоте входного сигнала ~ 700 кгц, при постоянных амплитудах на входах каналов и некоторой оптимальной величине содержания второй гармоники он дает точность измерений $0,15 \div 0,25^\circ$ и разрешающую способность не хуже $0,1^\circ$.

В данной статье описан преобразователь, который в совокупности с фазометром Ф2-3 позволяет