

15
K-14
0

2.3.

527



Г.С.Казанский, А.П.Царенков, К.В.Чехлов

527

ОПИСАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ
ШУМОВОЙ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ
УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ НА 10 БЭВ

Дубна 1960 год

Г.С.Казанский, А.П.Царенков, К.В.Чехлов

638/8 м.

ОПИСАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ
ШУМОВОЙ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ
УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ НА 10 БЭВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Постановка задачи

При запуске синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований на 10 Бэв встретился целый ряд затруднений, связанных с потерей частиц в начале синхротронного режима. Анализ кривой потерь при ускорении частиц до 200 Мэв показывает, что основные потери идут в самом начале ускорения. В дальнейшем потери частиц идут не так интенсивно. Причины, вызывающие значительные потери частиц в процессе ускорения, могут быть следующими: рассеяние на газе при малых энергиях, искаженные орбиты, резонансы радиально-фазовых колебаний, шумовая девиация частоты ускоряющего напряжения.

В настоящее время еще нет окончательной оценки влияния шумовой девиации частоты на пучок ускоренных частиц во всем диапазоне ускорения. Однако данные, полученные при запуске и наладке беватрона на 6,3 Бэв в Америке и приведенные в соответствующих отчетах, говорят о том, что шумовые и гармонические составляющие частоты ускоряющего напряжения существенным образом влияют на потери частиц в течение цикла.

По данным отчетов по наладке беватрона работы, проведенные по улучшению схем и подавлению шумов в радиоаппаратуре, снизили потерю частиц в конце ускорения. Если учесть, что получение больших интенсивностей на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий связано с рядом трудностей, то потери в конце ускорения весьма нежелательны. Так как потери на энергиях выше 200 Мэв обуславливаются только высокой частотой, то совершенно очевидна важность задачи, связанной с подавлением шумовой девиации частоты ускоряющего напряжения.

Основными источниками шумов в тракте связи являются: частотно-модулированный генератор, задающий частоту ускоряющего напряжения, и усилитель постоянного тока в системе автоподстройки выходных каскадов тракта усиления, где амплитудная микромодуляция сигнала подмагничивания может привести к значительной модуляции фазы на ускоряющих электродах.

Проведенный совместно с РТИАН СССР цикл исследований шумовых и гармонических составляющих в разных точках тракта связи, включая и выходные устройства в статическом режиме, дал результаты, при-

веденные в журнале "Радиотехника и Электроника" №7 за 1957 г. В худшем случае девиация частоты лежит в пределах от 0,1 до 0,5 гц, что по раскашке пучка соответствует значениям от 0,1 до 0,7 радиана.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований в отделе высокочастотных устройств задача разработки устройства решалась в двух направлениях:

1. Получение возможности анализировать и измерять шумы и шумовую девиацию основной частоты в динамике.

2. Использование сигнала выделенных шумов для компенсации шумовой модуляции основной частоты.

С середины 1957 года рассматривались три варианта схем, решающих в той или иной степени поставленную задачу - выделение шумовой микромодуляции частоты в динамике:

1. Метод динамической точки - селекция спектра шумов на фиксированных частотах.

2. Аперриодическая система частотного детектора в диапазоне частот от 0,2 - 1,45 мгц.

3. Частотный дискриминатор с автоматически перестраивающимися контурами.

Третий вариант оказался наиболее удовлетворительным с точки зрения требований, предъявляемых при решении поставленной задачи. Первый метод детально не рассматривался ввиду того, что он решал частную задачу. Аперриодическая система в результате анализа оказалась малочувствительной/с низкой крутизной 35 мкв/гц/

Выполненная схема частотного дискриминатора на автоматически перестраивающихся контурах, собственная частота которых программирована гладкой кривой, близко совпадающей с законом изменения основной частоты, дала возможность провести важные эксперименты, подтверждающие эффективность системы, используемой для подавления шумов в частоте ускоряющего напряжения.

Предварительный анализ шумов, полученных с генератора при работе от имитатора и от поля, дал результаты, мало отличающиеся друг от друга, поэтому можно полагать, что содержание шумов поля в тракте модуляции частоты задающего генератора незначительно, и также незначителен эффект их воздействия.

Выделенные шумы в противофазе, поданные в тракт модуляции частоты задающего генератора, дали очень значительный эффект подавления примерно в 50 раз. Не представляет особых затруднений увеличить эту цифру до 100. Полученный эффект позволит при работе устройства подавления в цепи обратной связи "электрод-модулятор" подавить все шумы, возникающие в тракте высокой частоты "генератор-электрод".

Продолжаются работы по созданию аппаратуры для количественного анализа спектра шумов.

Ниже дается краткое описание аппаратуры и полученных экспериментальных данных.

11. Блок-схема аппаратуры

Ниже приводится блок-схема аппаратуры, позволяющая выделять и подавлять шумовую девиацию частоты, возникающую в системе высокой частоты.

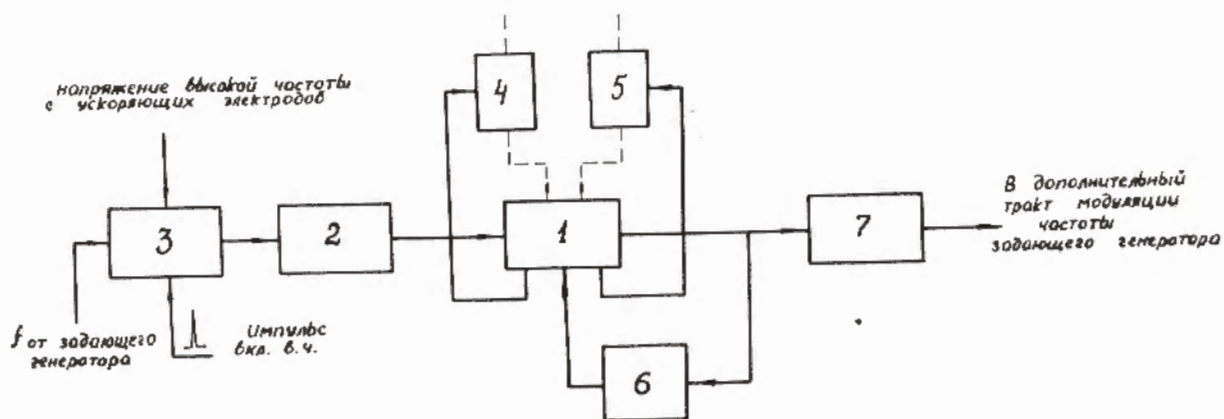


Рис. 1.

1. Частотный детектор
2. Амплитудный ограничитель
3. Электронный манипулятор

4. Частотное программирование
5. Временное программирование
6. Усилитель обратной связи.

Краткая блок-схема

Основным звеном в приведенной блок-схеме является перестраивающийся частотный детектор, выполненный на расстроенных контурах /1/. Детектор выполнен на пентодах 6Ж1П с применением феррита, на котором намотаны контурные и две подмагничивающие обмотки. Изменение тока в подмагничивающей обмотке приводит к изменению магнитной проницаемости магнитопровода, в результате чего изменяется индуктивность контурных обмоток детектора, и изменяется резонансная частота контуров частотного детектора.

Напряжение высокой, изменяющейся во времени частоты, с контурных обмоток детектируются по схеме удвоения на лампах 6Х2П и выпрямленные напряжения суммируются на сопротивлениях. В качестве нагрузки детекторов применены трехзвенные интегрирующие RC фильтры, дающие малое запаздывание и хороший срез по шумовой модуляции резонансной частоты. Полоса детекторов / в суммирующей точке/ $\Pi = 4$ кГц.

Амплитудные детекторы, перестраивающегося частотного детектора, выполнены на разные полярности выпрямления высокой частоты, так что индикация нулевого напряжения в суммирующей точке /в случае полной симметрии схемы/ является критерием симметричной расстройки контуров относительно мгновенного значения бегущей частоты.

Указанный частотный детектор в известной степени не реагирует на изменение амплитуды входного напряжения. Однако в такой схеме трудно получить симметрию плеч ниже 5%. Поэтому на входе частотного детектора применен эффективный подавитель амплитудной микромодуляции /2/, работающий на принципе быстрого автоматического регулирования выходного напряжения высокой частоты. В результате проведенных экспериментальных работ выяснено, что указанный подавитель в полосе 5 кГц подавляет в среднем амплитудную микромодуляцию в 700 раз. Поскольку частотный детектор работает в узкой полосе частот, то заслуживает особого внимания специальная схема амплитудного ограничителя, позволяющая подавлять амплитудную микромодуляцию в десятки тысяч раз и более. На вход амплитудного подавителя подается частота с задающего генератора /либо с ускоряющих электродов/. В условиях циклической работы, аппаратура должна автоматически переключаться с задаю-

шего генератора на ускоряющий электрод. Это необходимо для того, чтобы не вызвать переходного процесса, связанного со скачкообразной подачей высокой частоты на вход системы. Поэтому аппаратура должна работать непрерывно и переключаться с задающего генератора на ускоряющий электрод в момент включения высокой частоты. В связи с этим амплитудный подавитель разделен от высокой частоты электронным манипулятором /3/.

Программирование "рабочей точки" частотного детектора должно производиться "гладкой функцией", близко совпадающей с законом изменения высокой частоты во времени. Гладкую функцию можно получить частотно-зависимым элементом ЧМ-АМ — преобразователем /4/ с узкой полосой пропускания, модулирующим одну из подмагничивающих обмоток феррита. Для подбора необходимой характеристики ЧМ-АМ /заведомо нелинейной/ возможно применение дополнительного "гладкого" нелинейного элемента. В канале программирования должна быть применена обратная связь по току.

Требования к каналу программирования таковы:

1. Программирующая кривая тока подмагничивания феррита должна быть "гладкой" /монотонно меняющейся/.
2. Точность программы не должна выходить за пределы линейного участка характеристики /при этом допустимо монотонное отклонение "рабочей точки" детектора, не выходящее за пределы указанной линейной характеристики/.

В случае достаточной стабильности закона изменения частоты во времени, возможно применение "временного" программирующего канала /5/ с необходимой нелинейной характеристикой. В виду того, что программирующий канал не может полностью исключить переходный процесс, необходимо применение узкополосной обратной связи /6/ с полосой пропускания в кольце обратной связи 0 — 50 гц. Таким образом на выходе частотного детектора останется напряжение шумовой девиации со спектром 50 гц — 4 кГц., которое дальше усиливается усилителем переменного тока. Напряжение шумов с усилителя может быть подано в тракт модуляции генератора в противофазе. Таким образом, могут быть подавлены шумы в системе связи.

Предварительные экспериментальные данные о выделении
и подавлении шумов в динамике

С середины 1957 года проводился ряд исследований по методам выделения шумовой частотной микромодуляции в динамике.

Кратко описанный метод оказался наилучшим как по чувствительности, так и по тому, что он дает возможность проводить измерение и подавление шумов во всем диапазоне изменения частоты /0,2 - 1,45 мгц/.

Экспериментальные работы проводились на пологом участке кривой изменения частоты /от 1,2 до 1,5 мгц/. Таким образом был охвачен временной интервал, составляющий 80% всего цикла ускорения. Был применен описанный подавитель амплитудной микромодуляции, частотный детектор на расстроенных контурах, усилитель переменного тока с коэффициентом усиления 15.

Усилитель переменного тока подключался к детектору при частоте 1,2 мгц через устройство, исключающее влияние переходного процесса. Чувствительность схемы была 3 мв/гц. Напряжение шумов не анализировалось и не сравнивалось с результатами статического случая работы генератора. Было проверено подавление шумов. Для этого напряжение шумов подавалось в противофазе в одну из точек тракта модуляции частоты задающего генератора.

Ярко выраженная составляющая 50 гц и ближайшие ее гармоники уменьшились в 50 раз /см. рис. 1 и 2/; при этом нетрудно добиться подавления в 100 раз. Проверялось подавление всего спектра шумов /до 1800 гц/ и устойчивость кольца обратной связи.

Установлено, что коэффициент подавления падает с ростом частоты /примерно линейно с частотой/. Так на частоте 1800 гц подавление составляет всего 2. В указанной полосе кольцо обратной связи не возбуждается. Уменьшение подавления шумов с ростом частоты связано с узкой полосой тракта модуляции задающего генератора /500 гц/ и сдвигом фазы во всем кольце обратной связи.

В связи с этим необходимо компенсировать суммарный сдвиг фазы путем подбора фазовой характеристики шумоподавителя. Необходимо также расширить полосу частот тракта модуляции генератора. Подавление шумов было проверено

не только в генераторе, но и на электродах. Результаты совершенно аналогичны описанным выше. Важно отметить, что мощные каскады не вносят существенного вклада в устойчивость системы с обратной связью, что очень важно и значительно облегчает одинаковое подавление всего спектра шумов.

В заключение авторы пользуются случаем выразить благодарность сотруднику РТИАН СССР Ф.А.Водопьянову за ряд ценных советов при проведении исследовательских работ по изучению шумовой микромодуляции частоты ускоряющего напряжения.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 апреля 1960 года.

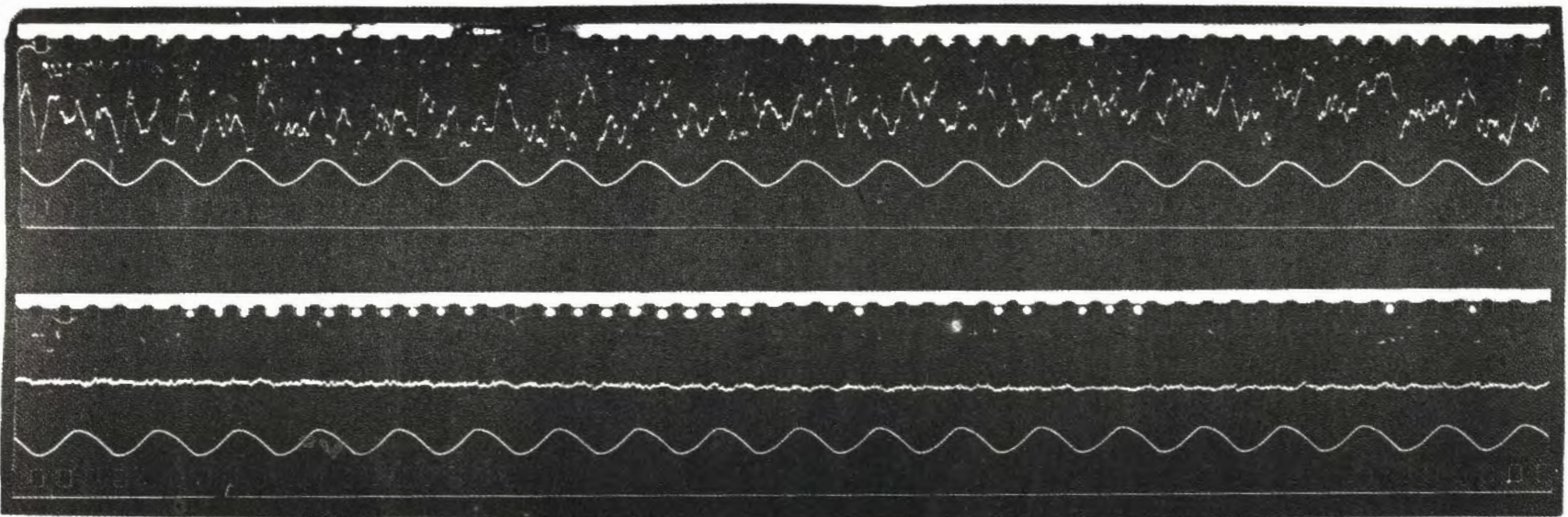


Рис. 2. Шумовая девиация в задающем генераторе /вверху/.
Эффект подавления шумовой девиации /внизу/.

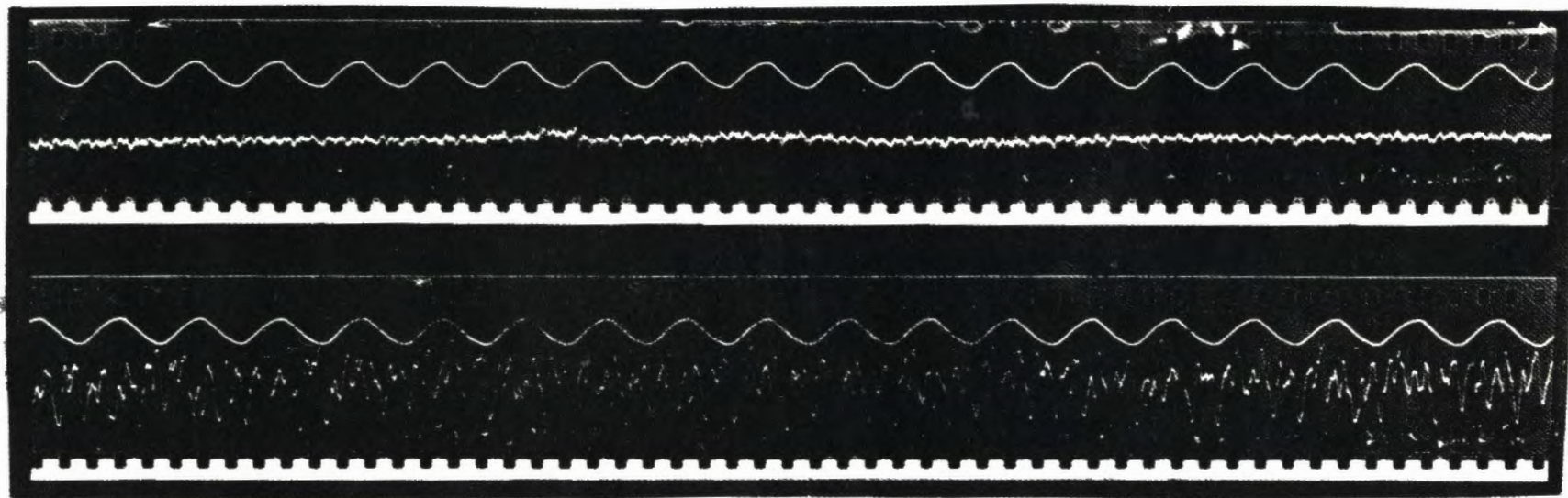


Рис. 3. Шумовая девиация частоты с ускоряющих электродов (вверху).
Эффект подавления шумовой девиации (внизу).