



З. 63

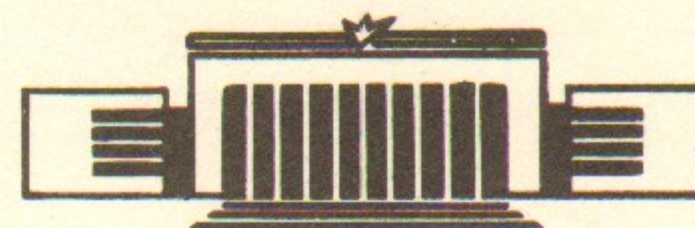
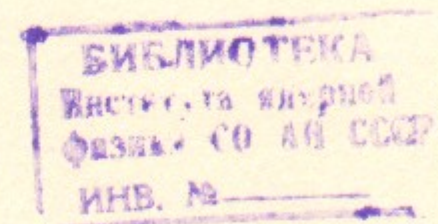
25

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

Н.И.Зиневич, С.И.Мишнев, А.Б.Темных,
Е.И.Шубин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ БЕТАТРОННЫХ
КОЛЕБАНИЙ НА НАКОПИТЕЛЯХ ВЭПП-3,
ВЭПП-4

ПРЕПРИНТ 84-66



НОВОСИБИРСК

Н.И.Зиневич, С.И.Мишнев, А.Б.Темных, Е.И.Шубин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ
БЕТАТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА НАКОПИТЕЛЯХ ВЭЩ-3, ВЭЩ-4

А Н Н О Т А Ц И Я

Описываются автоматизированные системы оперативного измерения частот бетатронных колебаний заряженных частиц в накопителях. Метод измерения основан на получении и обработке амплитудно-частотных характеристик поперечных колебаний частиц с использованием быстродействующего программируемого синтезатора частот и программируемого контроллера. Точность измерения порядка одной тысячной от частоты обращения пучка в накопителе, время измерения не более секунды.

Принцип построения системы

Оперативное измерение частот бетатронных колебаний пучка необходимо во всех режимах работы накопителей заряженных частиц: при накоплении, ускорении, работе на эксперимент. Наиболее полно такая задача может быть решена на основе автоматизации измерения бетатронных частот.

Метод измерения основан на получении амплитудно-частотной характеристики поперечных колебаний частиц пучка. Сигнал от управляемого через ЭВМ синтезатора частот (рис.1) через усилитель мощности подается на кикер, возбуждающий поперечное когерентное движение частиц. Наблюдение за этим движением осуществляют датчики вертикального и горизонтального положения пучка. Амплитудно-частотный анализ сигналов с датчиков выполняется вблизи одной из гармоник частоты обращения анализаторами спектров соответствующих каналов. Гетеродинное напряжение для анализаторов подается от синтезатора частот, что позволяет частоту анализа изменять синхронно с частотой возбуждения, подаваемой на кикер. Синхронно с изменением частоты аналого-цифровой преобразователь (АЦП) измеряет предварительно просуммированные сигналы с анализаторов спектров. ЭВМ обрабатывает поступающую из АЦП информацию и результат выводит на графический дисплей. При необходимости ЭВМ через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) и корректор может осуществлять подстройку частот бетатронных колебаний. В качестве ЭВМ используется программируемый контроллер, соединенный с центральной ЭВМ, управляющей накопителем.

Особенностью такой схемы измерений является автономность системы, редкое обращение к центральной ЭВМ, что в свою очередь позволяет довести время измерений до долей секунды. Наблюдение отклика пучка в узкой полосе частот делает систему помехозащищенной, улучшает ее чувствительность, дает возможность индцировать бетатронные частоты при малых амплитудах колебаний частиц. Применение маломощной электроники для возбуждения колебаний пучка повышает надежность системы. Предложенный метод позволяет получить информацию о разбросе частот поперечных колебаний пучка.

Приемная часть систем

Эта часть включает системы наблюдения за поперечным движением частиц (датчики поперечных колебаний, анализаторы спектра) и блок обработки полученной информации (АЦП, программируемый контроллер, дисплей).

На накопителе ВЭП-4, работающем в режиме встречных электронных и позитронных пучков, система наблюдения состоит из четырех одинаковых каналов, осуществляющих наблюдение за вертикальными и горизонтальными колебаниями раздельно электронного и позитронного пучков. На накопителе ВЭП-3 являющимся бустером ВЭП-4 и работающем либо с пучком электронов, либо позитронов, поочередно, система включает два одинаковых канала слежения за вертикальными и горизонтальными колебаниями. Структурная схема канала одинакова для обоих накопителей и представлена на рис.2. Основные отличия связаны с различными рабочими частотами, которые приведены ниже.

	ВЭП-4	ВЭП-3
Частота обращения пучка, f_0 , МГц	0,818	4,03
Диапазон изменения дробной части относительных частот вертикальных, горизонтальных колебаний, $\Delta V_z, \Delta V_x$.	0,51+0,65	0,1+0,25
Частоты, на которых осуществляется наблюдение, $(m + \Delta V_{x,z}) f_0$.	$(216 + \Delta V_{x,z}) f_0$	$(4 + \Delta V_{x,z}) f_0$
Частота гетеродина,	$221 f_0$	$4 f_0$
Диапазон сканирования синтезатором частот	$(1 + \Delta V_{x,z}) f_0$	$(1 + \Delta V_{x,z}) f_0$

Датчик бетатронных колебаний представляет собой четыре пластины, расположенные вдоль вакуумной камеры и образующие с поверхностью камеры 50-омные линии. Сигнал с противоположных пластин подается на вычитающий трансформатор, имеющий входное сопротивление, равное волновому сопротивлению линии. На выходе вычитающего трансформатора сигнал пропорционален отклонению пучка от центра вакуумной камеры и содержит, таким образом, информацию о бетатронных колебаниях. Применение согласованных по-

лосковых линий в качестве датчика позволяет разделить сигналы электронных и позитронных сгустков, которые снимаются с противоположных концов пластин. Ослабление сигнала бетатронных колебаний электронов в позитронном канале и наоборот определяется неидеальностью согласования линий (отражение от вакуумных вводов и трансформатора) и составляет для датчика на накопителе ВЭП-4 - 26 дБ. На ВЭП-3, где нет задачи разделения пучков, соответствующие концы пластин нагружены на свое волновое сопротивление.

Для пучка, совершающего колебания по одной из поперечных координат, спектр сигнала на выходе вычитающего трансформатора (рис.3) представляет последовательность гармоник частот обращения $K f_0$, $K = 1, 2, \dots$, с боковыми частотами $(K \pm \Delta V) f_0$, обусловленными бетатронными колебаниями пучка. Гармоники $K f_0$ появляются вследствие смещения равновесной орбиты в датчике и неточного вычитания трансформатором сигналов с пластин. Амплитуда спектральных составляющих растет с номером и достигает максимума для частот $K_{max} f_0 \sim c/4L$ (L - длина пластин датчика, c - скорость света), что составляет для наших пластин диапазон 150 + 250 МГц.

Анализатор спектра сигналов позволяет исследовать сигнал с датчика на высокой частоте вблизи m -й гармоники частоты обращения, которая выбирается из условий, с одной стороны, получения максимальной чувствительности канала и, с другой, возможностью изготовления входных фильтров с необходимым подавлением посторонних частот. Он представляет собой селективный приемник с двойным преобразованием частоты (рис.2), гетеродинная частота первого преобразования постоянна, а перестройка частоты анализа осуществляется изменением гетеродинной частоты второго преобразования.

Входная часть анализатора содержит предварительный усилитель с избирательным фильтром на входе, пропускающим лишь одну боковую составляющую бетатронных частот $(m + \Delta V_{x,z}) f_0$ ($m = 216$ для ВЭП-4, $m = 4$ для ВЭП-3, рис.3). Подавление спектра вне полосы наблюдения необходимо для предотвращения перегрузки предварительного усилителя.

Следующий за предварительным усилителем преобразователь частоты осуществляет первое преобразование, перенося выделен-

ный входным фильтром спектр в низкочастотную область. Гетеродинным напряжением для него служит сигнал от ускоряющей высокочастотной системы ($n f_0 = 221 f_0$ для ВЭШ-4, $n f_0 = 4 f_0$ для ВЭШ-3). Причем, при наблюдении одной боковой полосы в спектре частот бетатронных колебаний сигнал на выходе преобразователя не зависит от фазы напряжения гетеродина.

Сигнал промежуточной частоты, усиленный полосовым усилителем, поступает на второй преобразователь частоты, гетеродинным напряжением для которого является сигнал с синтезатора частот, служащий также для раскачки пучка. На выходе преобразователя узкополосным фильтром выделяется сигнал разностной частоты $(m - n - 1) f_0$ и детектируется. Полоса анализа определяется полосой пропускания фильтра. Диапазон сканирования синтезатора приблизительно равен диапазону возможных значений боковых составляющих бетатронных частот вблизи первой гармоники частоты обращения $(1 + \Delta V) f_0$. Таким образом, частота наблюдения анализатора вблизи гармоники $m f_0$ и частота раскачки пучка вблизи f_0 изменяются синхронно. Весь диапазон сканирования проходит дискретно за 250 шагов. На каждом шаге АЦП измеряет и запоминает просуммированный сигнал со всех каналов наблюдения; диапазон АЦП по чувствительности выбирается автоматически в зависимости от величины тока пучка в накопителе.

Обработка цифровой информации осуществляется программируемым контроллером. Сначала производится сглаживание амплитудно-частотной характеристики путем усреднения по нескольким точкам измерения и вычитания шума. Затем производится разделение резонансных кривых, определяются центры тяжести каждой из них. Значения центров тяжести и являются величинами бетатронных частот.

На графический дисплей выводятся амплитудно-частотная характеристика (рис. 6, 7) и сетка частот бетатронных колебаний, на которой отмечено измеренное положение рабочей точки (рис. 8).

Возбуждение поперечных колебаний пучка.

Источником сигнала для раскачки поперечного движения частиц является синтезатор частоты, описанный в [1]. Изменени-

ем частоты синтезатора управляет программируемый контроллер. Диапазон сканирования, как отмечалось выше, выбран приблизительно равным диапазону возможных значений боковых составляющих бетатронных частот вблизи первой гармоники частоты обращения, $f_0 (1 + \Delta V_{x,z})$. Сигнал от синтезатора пропускается через управляемый контроллером аттенватор, коэффициент ослабления которого выбирается в зависимости от энергии частиц в накопителе, с тем, чтобы амплитуда колебаний пучка оставалась приблизительно постоянной при всех энергиях. После усилителя мощности сигнал раскачки подается на кикер. В качестве кикера, применяется катушка, магнитное поле которой направлено под углом 45° к плоскости орбиты накопителя. Это позволяет за одно сканирование возбудить и вертикальные, и горизонтальные колебания частиц пучка - и, тем самым, свести к минимуму время измерения.

Усилитель мощности является наиболее существенным элементом системы раскачки, и мы остановимся ниже подробнее на его характерных особенностях. Основные трудности при проектировании усилителя мощности (УМ) связаны с разработкой выходного каскада. Выбор схемы выходного каскада определяется предъявляемыми к нему требованиями: полоса рабочих частот и выходная мощность. Для получения большой выходной мощности обычно используют режим работы с отсечкой. Как правило, мощные широкополосные каскады выполняются по схеме с общим эмиттером [2, 3]. Необходимость, при этом, компенсации реактивной части входного и выходного импедансов усилительного элемента требует специальных корректирующих цепей, что существенно ограничивает полосу усиливаемых частот. Кроме того, линейность коэффициента передачи таких каскадов имеет место в очень узком диапазоне входных сигналов.

Применение схемы Раша [4] в оконечном каскаде усилителя мощности дает возможность обойти в некоторой степени эти трудности. Как известно, каскад Раша является усилителем тока с отрицательной обратной связью и позволяет работать с низкими величинами импедансов. Это дает возможность, с одной стороны, существенно снизить влияние паразитных индуктивностей и емкостей элементов схемы на равномерность амплитудно-частотной характеристики усилителя в широкой полосе частот и практически

максимально реализует площадь усиления используемых транзисторов - с другой.

Упрощенная схема одного плеча выходного каскада приведена на рис.4. Элементы $T1, T2, R1, R2$ образуют каскад Раша. Транзистор $T1$ работает в линейном режиме, а $T2$ в режиме с углом отсечки $\pi/2$. На транзисторе $T2$ рассеивается сравнительно небольшая мощность, что достигается выбором резистора

$R2$. Необходимая глубина отрицательной обратной связи достигается выбором сопротивления $R1$. Нагрузкой каскада служит эмиттер мощного выходного транзистора $T3$, работающего в режиме с общей базой. Такое включение позволяет максимально использовать частотные свойства выходного транзистора и получить усиление по мощности. Выходной сигнал УМ снимается с коллектора $T3$. Одним из препятствий, ограничивающих широкополосность усилителя, является емкость запятого перехода база - эмиттер транзистора $T2$, которую необходимо перезаряжать в режиме работы с отсечкой коллекторного тока. Примененная в схеме цепочка - низкоомный резистор $R4$ и диод $D1$ - уменьшает время перезарядки и ограничивает величину отрицательного напряжения на этой емкости.

Практическая схема УМ изображена на рис.5. Входной предварительный усилитель, выполненный на базе каскада Раша, формирует два противофазных сигнала, раскачивающих соответствующие плечи двухтактного выходного каскада. Суммирование токов выходных транзисторов $T3, T6$ осуществляет инвертирующий трансформатор, выполненный на линии с волновым сопротивлением 25 Ом. Усилитель имеет четыре выхода, каждый из которых должен быть нагружен на 50 Ом. При необходимости сигналы со всех четырех выходов могут быть просуммированы. Чтобы при колебаниях температуры сохранялся режим работы с углом отсечки $\pi/2$, в каждом плече выходного каскада установлены транзисторы $T9, T10, T7, T8$ осуществляющие тепловую стабилизацию режима.

Основные характеристики УМ

- полоса рабочих частот	- 0,1 + 35 МГц
- выходная мощность	- 50 Вт
- коэффициент полезного действия	- 50%.

Результаты

Автоматизированная система измерения частот бетатронных колебаний имеет следующие характеристики. Точность измерения частот $\approx 10^{-3} f_0$; амплитуда вынужденных колебаний в пучке при рабочих токах (5 + 10 мА - ВЭП-4, 5 + 100 мА - ВЭП-3) накопителей составляет доли геометрических размеров сгустков; время измерения ≤ 1 сек.; минимальные токи пучков, при которых возможны измерения ≈ 50 мкА, при этом амплитуды колебаний пучка порядка учетверенного поперечного размера и отношение сигнал/шум порядка трех.

Введение этой системы дало возможность вести непрерывный контроль за частотами бетатронных колебаний во всех режимах работы накопителей ВЭП-3, ВЭП-4. Наличие оперативной информации о бетатронных частотах пучка в накопителе открывает возможность организовать автономную обратную связь для стабилизации бетатронных частот с применением ЦАП и соответствующего корректора. Работы в этом направлении ведутся в настоящее время.

Авторы выражают благодарность Медведко А.С. за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. Н.И.Зиневич, Е.И.Шубин. Синтезатор частоты в стандарте КАМАК. Препринт ИЯФ 84-14, Новосибирск (1984).
2. Г.В.Жегалов. Широкополосный усилитель мощности высокой частоты, ПТЭ, № 6, 1982.
3. А.Г.Алексеев. Широкополосные радиопередающие устройства, связь, 1978.
4. В.Мейлинг и др. Наносекундная импульсная техника. Атомиздат, 1973.

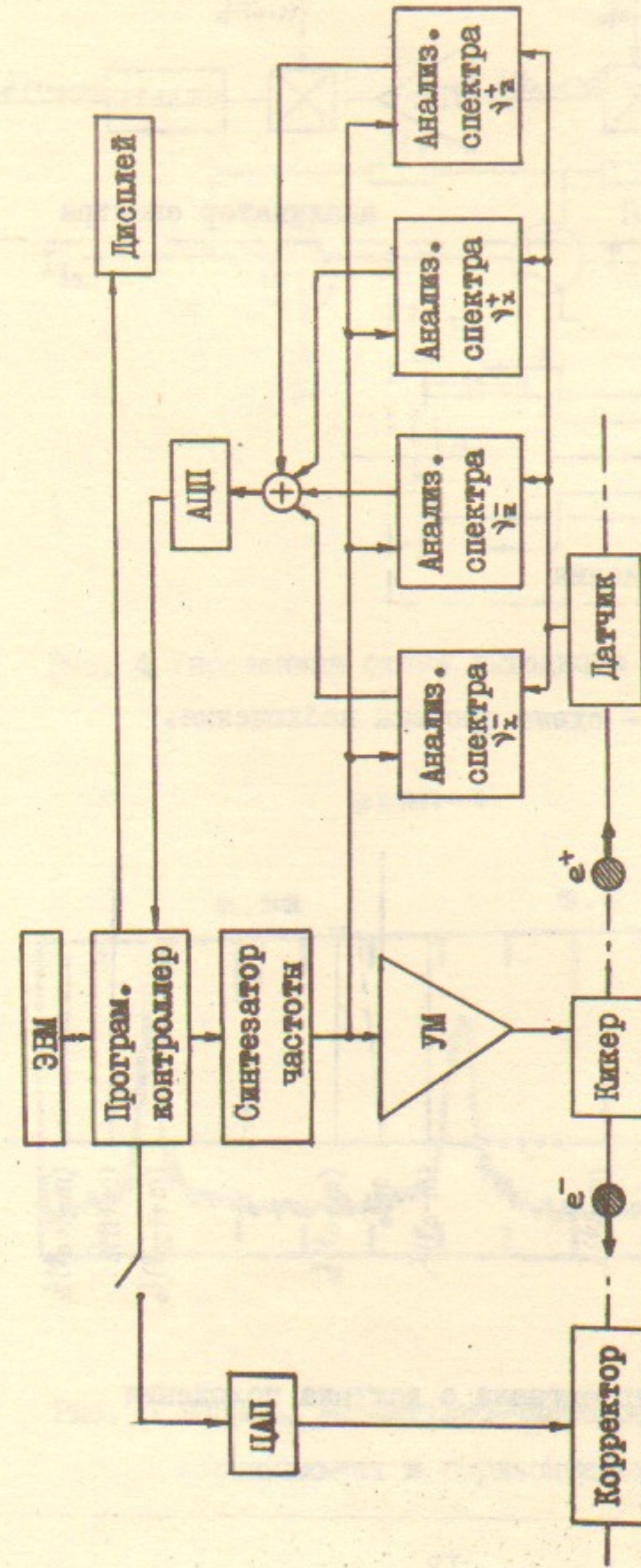


Рис. 1. Структурная схема системы измерения бетагронных частот.

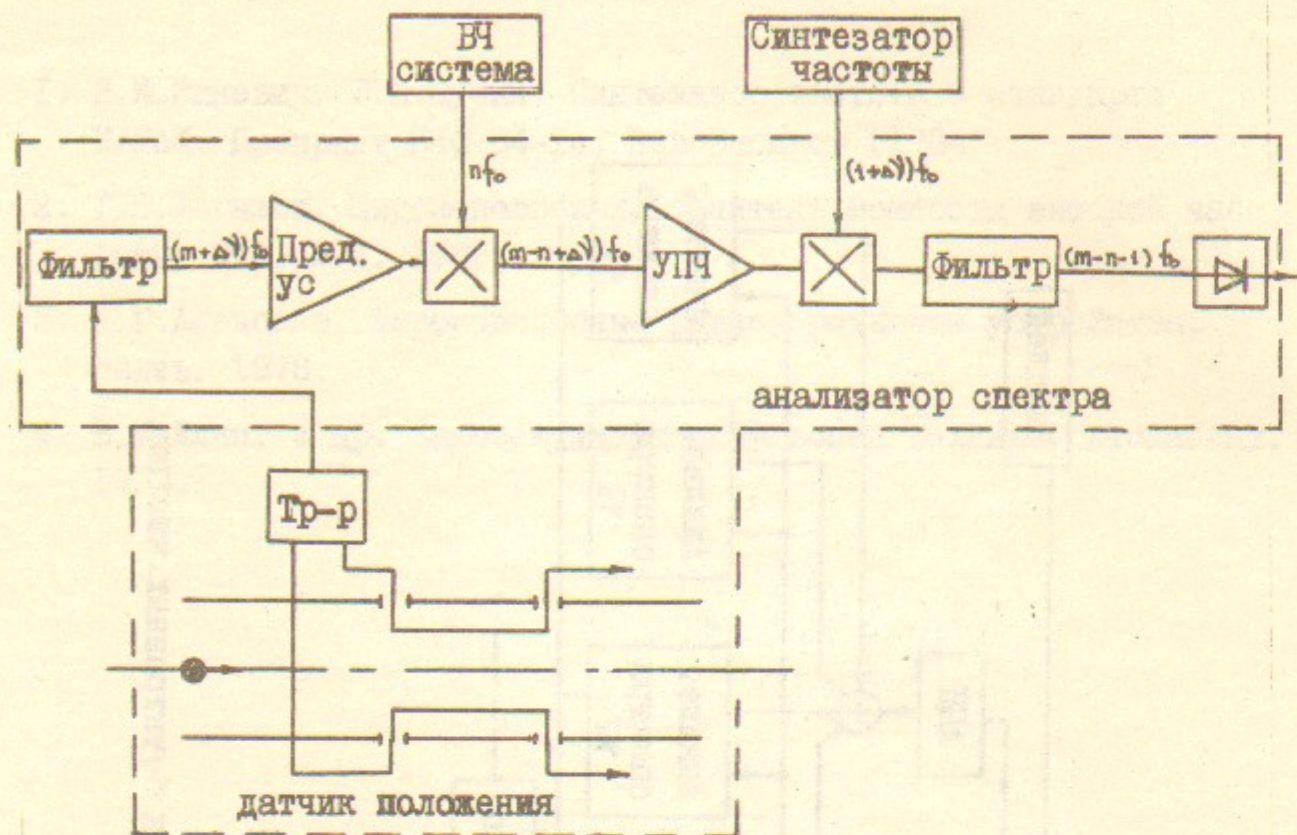


Рис. 2. Блок - схема системы наблюдения.

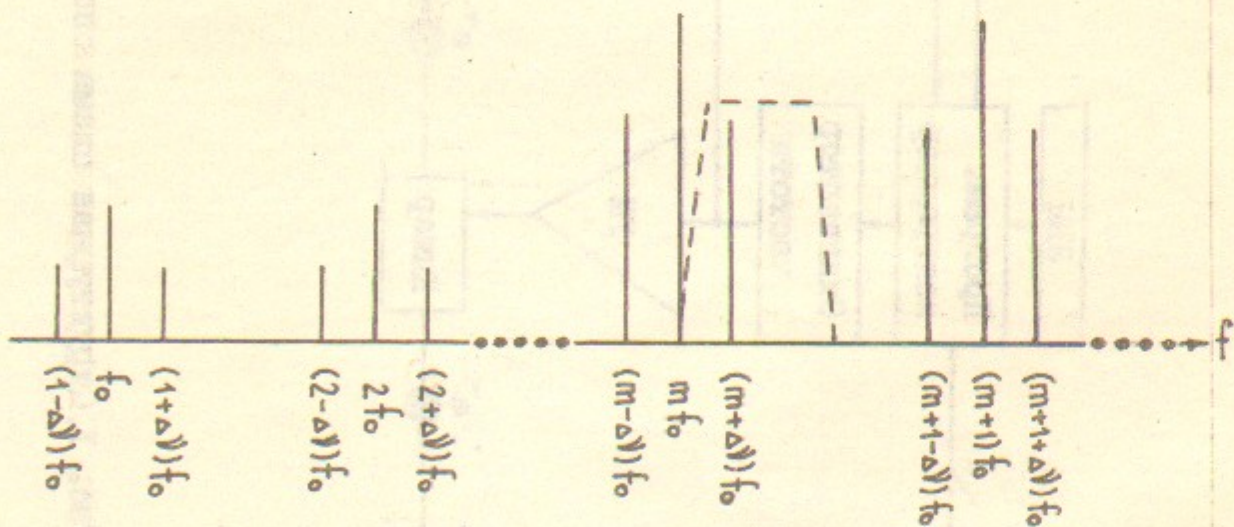


Рис. 3. Спектр сигнала с датчика положения

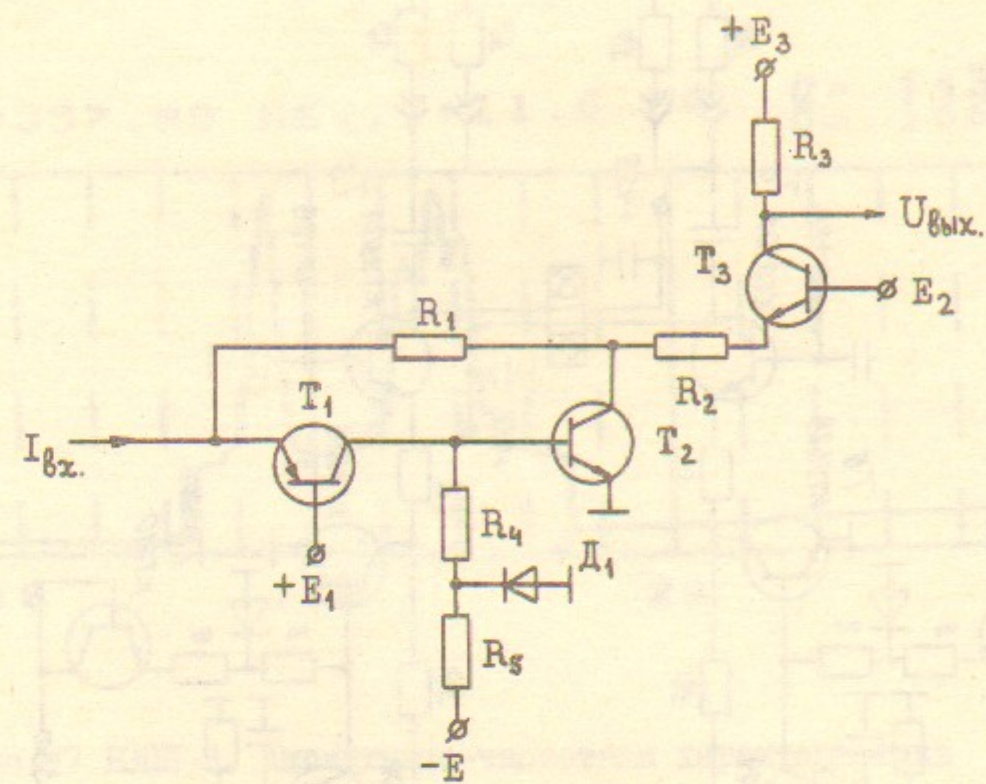


Рис. 4. Упрощенная схема выходного каскада УМ.

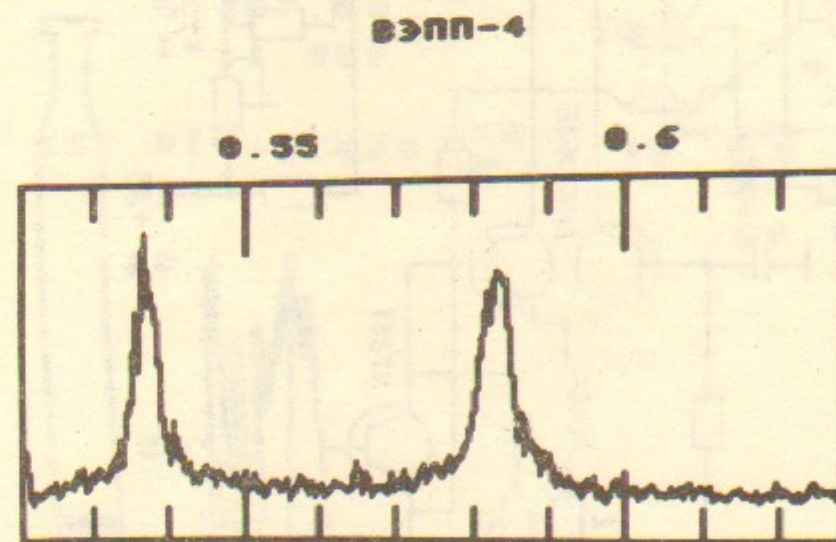


Рис. 6. ВЭП-4. Амплитудно-частотная характеристика вертикальных и горизонтальных колебаний пучка.

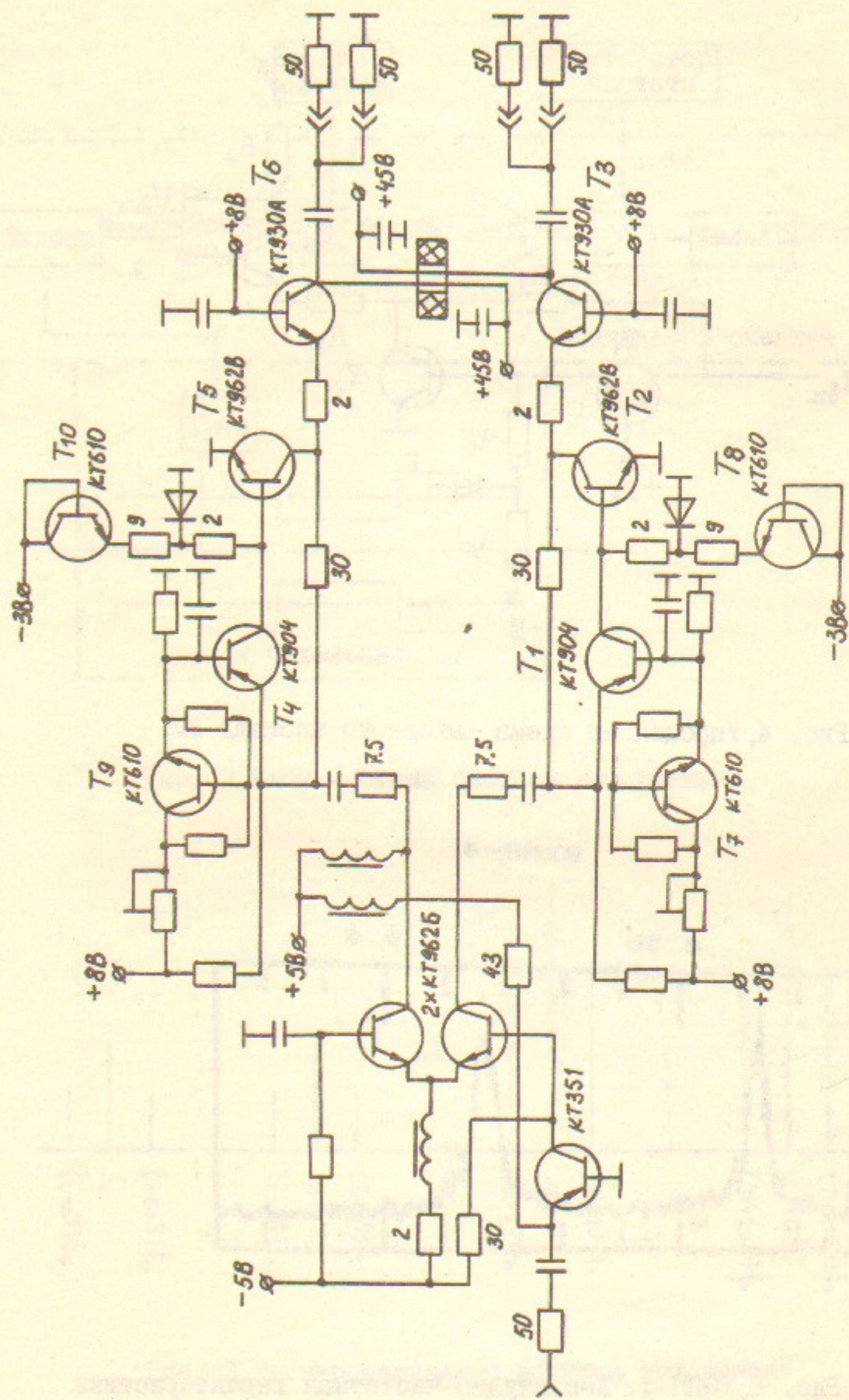


Рис. 5. Принципиальная схема усилителя мощности.

$E = 357.00 \text{ MEV}, I = 11.6 \text{ MA}$ $Q = .143$
 $Q = .166$

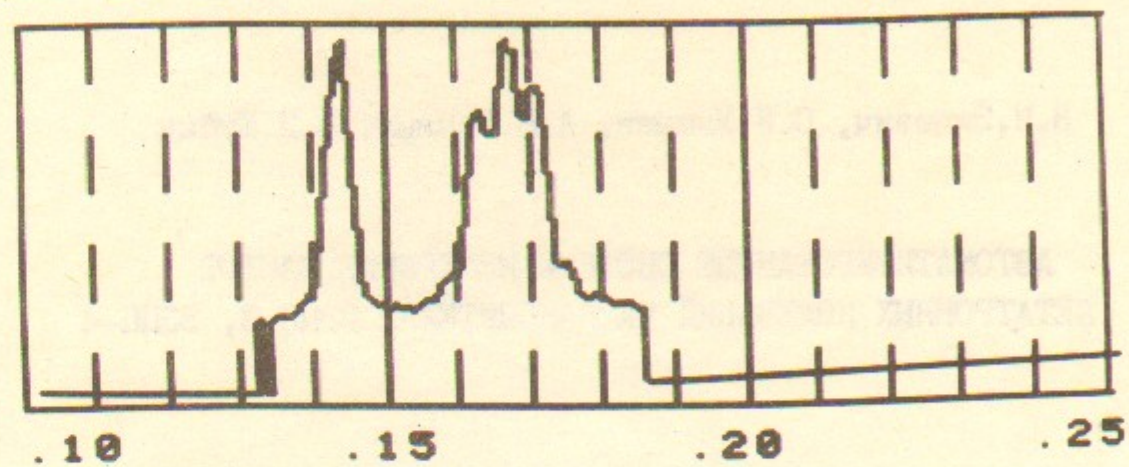


Рис. 7 ВЭШ-3. Амплитудно-частотная характеристика вертикальных и горизонтальных колебаний пучка.

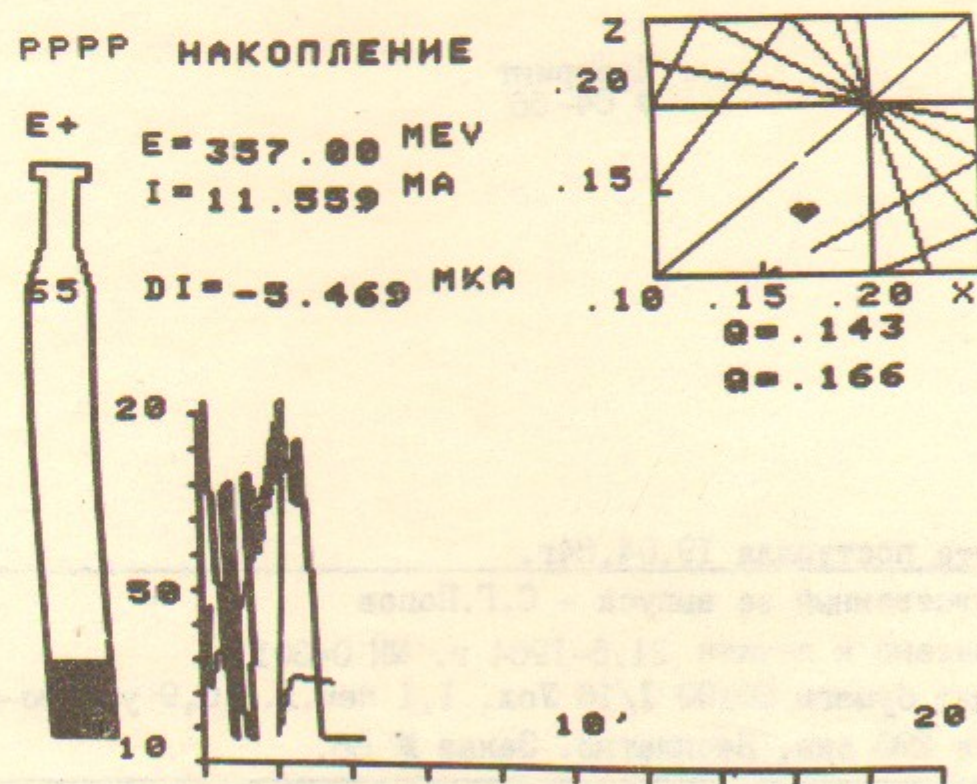


Рис. 8 ВЭШ-3. Положение рабочей точки в сетке частот бетатронных колебаний.

Н.И.Зиневич, С.И.Мишнев, А.Б.Темных, Е.И.Шубин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ
БЕТАТРОННЫХ КОЛЕЗАНИЙ НА НАКОПИТЕЛЯХ ВЭПН-3, ВЭПН-4

Препринт
№ 84-66

Работа поступила 19.04.84г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 21.5-1984 г. МН 04301

Формат бумаги 60x90 1/16 Усл. 1,1 печ.л., 0,9 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 66.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90