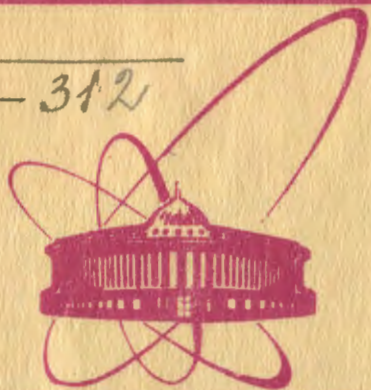


1-312



e  
+  
объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

3564/2-81

20/11-81

P9-81-201

В.М.Лачинов, А.А.Мальцев, В.П.Филин

РЕГИСТРАЦИЯ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

Направлено в ПТЭ

1981

В Отделе новых методов ускорения ОИЯИ ведутся работы по созданию коллективного ускорителя тяжелых ионов /КУТИ/. Для настройки рабочего режима КУТИ большое значение имеет точность измерения основных параметров электронного кольца, сжимаемого в камере компрессора КУТИ, размеров электронного кольца, динамики его сжатия, числа электронов в кольцевом сгустке в условиях больших электромагнитных помех.

Одним из способов измерения этих параметров является использование синхротронного излучения /СИ/, испускаемого электронным кольцом при его сжатии. Радиус электронного кольца в компрессоре по мере сжатия уменьшается с 40 см до 3,5±5 см, а энергия электронов возрастает с /2±2,5/ МэВ до /19±20/ МэВ. С уменьшением радиуса электронной орбиты и увеличением энергии электронов спектр синхротронного излучения смещается из радиочастотного диапазона в ближнюю инфракрасную /ИК/ область, и излучение становится доступным для регистрации обычными, достаточно простыми в эксплуатации /не требующими азотного охлаждения/ ИК-детекторами. Следует отметить, что вблизи компрессора электронных колец имеется высокий уровень электромагнитных помех, источниками которых являются переменные импульсные магнитные поля компрессора с частотой 1±2 кГц, а также силовая сеть - 50 Гц. При этом по времени и частотному диапазону они совпадают с измеряемым сигналом. Даже удаление детектора /-2 м/ от компрессора за счет оптического тракта полностью не решает проблему борьбы с наводками во входных цепях измерительной системы. Нужно отметить, что введение оптического тракта вызывает трудно контролируемые потери в интенсивности излучения, попадающего на детектор, и снижает достижимую точность абсолютных измерений.

Для эффективного снижения влияния электромагнитных наводок на точность измерения параметров электронного кольца по синхротронному излучению разработана система, состоящая из двух регистрирующих каналов. В одном из каналов приемником излучения служит неохлаждаемое фотосопротивление из селенида свинца, в другом канале - кремниевый фотодиод. Такое сочетание позволяет вести регистрацию потока синхротронного излучения в спектральной области 0,4±4,5 мкм.

На рис.1а изображена блок-схема измерительной системы с двумя фотоприемниками. Синхротронное излучение /3/ от электронного кольца /2/ в компрессоре КУТИ /1/, пройдя через флюо-

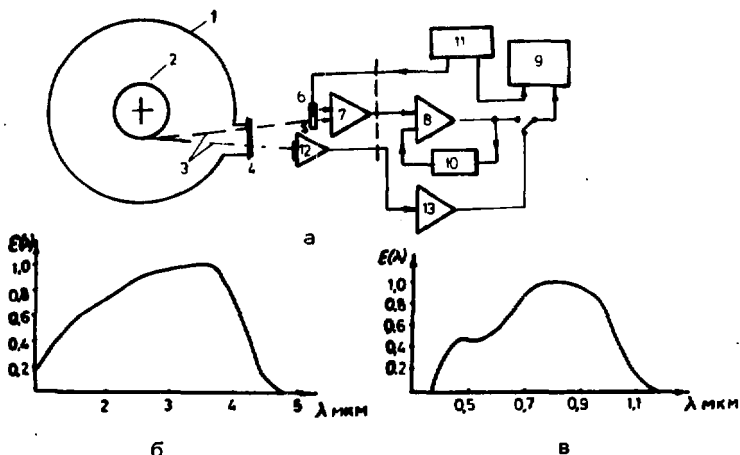


Рис.1. а. Блок-схема измерения синхротронного излучения кольца в прототипе КУТИ с активным подавлением помех. б. Спектральная характеристика чувствительности фотоприемника PbSe. в. Спектральная характеристика чувствительности кремниевого фотодиода.

ритовое окно /4/, попадает на детекторы /5/ (PbSe) и /12/ (Si). Спектральная характеристика фотоприемников, измеренная в относительных единицах, представлена на рис.1б,в. Регистрация синхротронного излучения может вестись одновременно по обоим каналам либо каждым каналом в отдельности. Канал с фотоприемником /12/ состоит из кремниевого фотодиода с диаметром чувствительной поверхности 3 мм. Фотодиод выполнен в одном корпусе с предусилителем по интегральной технологии. Размер всего фотоприемного устройства /ФПУ/ не превышает одного кубического сантиметра. Благодаря минимизации контуров в ФПУ значительно снижена его чувствительность к индукционным наводкам, что позволяет работать в непосредственной близости от электронного кольца КУТИ в условиях высоких электромагнитных наводок. Такие фотоприемники в случае регистрации синхротронного излучения имеют ряд преимуществ по сравнению с применявшимися ранее ФЗУ. Уступая ФЗУ в чувствительности, что при имеющемся в ускорителе уровне синхротронного излучения не очень существенно, фотоприемник имеет более широкий динамический диапазон и широкополосность спектральной характеристики /0,4+1,1 мкм/. Малые размеры фотоприемника, нечувствительность к внешнему магнитному полю, небольшая потребляемая мощ-

ность /10 В, 2 мА/ упрощают проблему компоновки прибора и делают его удобным в эксплуатации. При решении проблемы подавления наводок, которые могут возникнуть в кабеле связи входной схемы с выходной регистрирующей секцией, особое внимание обращено на расположение и экранировку кабеля. В регистрирующей секции /13/ измеряемый сигнал дополнительно усиливается до уровня амплитуд не выше 5 В, являющегося максимальным значением динамического диапазона последующего аналого-цифрового преобразователя /9/. Для устранения постоянной составляющей с входной схемы /12/ перед выходным усилителем /13/ включен переходный конденсатор, поскольку сам измеряемый сигнал является импульсным с длительностью ~1 мс.

Измерительный канал с неохлаждаемым фотосопротивлением (PbSe) в качестве детектора позволяет измерять мгновенные /в пределах 1 мкс/ значения величины сигнала синхротронного излучения с использованием импульсного преобразования сигнала с фотоприемника и введением специального устройства <sup>1-3</sup> активного подавления наводок в измерительном канале перед регистрацией в АЦП. Детектор состоит из двух фотосопротивлений /5 и 6/, одно из которых /6/ является компенсирующим и закрыто экраном от синхротронного света. Такая структура детектора с последующим дифференциальным усилителем /7/ позволила применить балансный съем сигнала с детектора и значительно снизить синфазные наводки на выходной сигнал и дрейф на входе измерительного канала. Кроме того, все входные цепи помещены в электрические экраны, проводники от детекторов на дифференциальные входы усилителя /7/ бифилярно скручены, а сам усилитель отнесен от компрессора на расстояние ~1 м. Фотосопротивления подбирались с близкими между собой параметрами: чувствительная поверхность 0,2x7 мм<sup>2</sup>, темновое сопротивление ~6 кОм, постоянная времени 1±2 мкс.

Для активного подавления наводок применена следующая методика. С помощью импульса длительностью 4 мкс от блока управления /11/ производится соответствующая модуляция сигнала с детекторов /5,6/. Это можно осуществить либо импульсным питанием фотосопротивлений, либо специальной схемой коммутации, рассмотренной ниже. С выхода усилителя /7/ короткий измеряемый импульс, пропорциональный интенсивности синхротронного излучения в данный момент, подается дистанционно по кабелю длиной 50 м в усилитель /8/, который расположен в выходной секции. Выходной усилитель /8/ охвачен широкополосной задержанной на 4 мкс отрицательной обратной связью /10/ /Ш300С/. Это устройство эффективно подавляет дрейф всего усилителя, а также сигналы наводок в частном диапазоне до ~10 кГц. Так, при указанной задержке 4 мкс сигналы наводок до 1 кГц подавляются в сотни раз. Однако при этом на измеряемый импульс Ш300С не влияет,

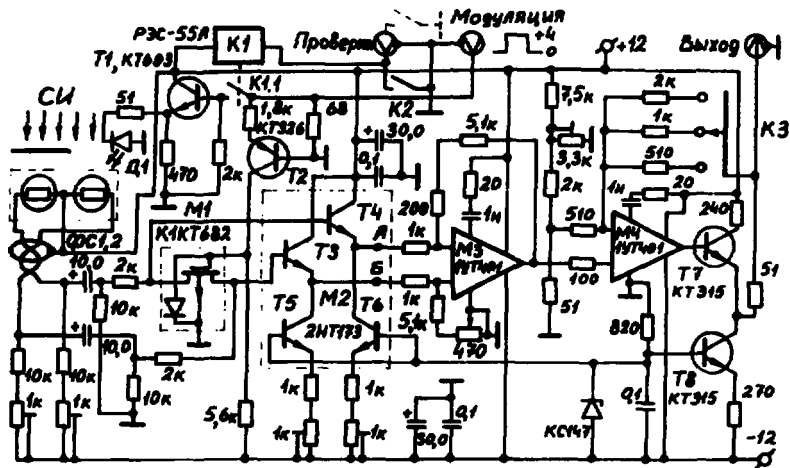


Рис.2. Схема измерительного канала с импульсным преобразованием сигнала синхротронного излучения.

а сам импульс дополнительно усиливается. Этот сигнал подается на вход АЦП /9/ и индексируется в виде трехразрядного десятичного числа /~1000 каналов/. Исходное напряжение смещения задается с помощью регулируемого источника опорного напряжения. Момент регистрации задается стробирующим импульсом /1 мкс/ от блока управления /11/, который, в свою очередь, запускается внешним импульсом с КУТИ. Блок управления позволяет управлять задержкой срабатывания всего измерительного канала, формирует импульс модуляции сигнала с детекторов и подает на АЦП стробирующий импульс в конце сигнала модуляции.

На рис.2 показана принципиальная схема измерительного канала с импульсным преобразованием сигнала СИ. Сигнальные выводы датчиков ФС1,2 через сопротивления 10 кОм подключены к шине -12 В и через конденсаторы 10 мкФ - на вход модулятора и предусилителя. Измеряемый сигнал, имеющий длительность менее 1 мс, практически без искажения проходит через конденсатор, а низкочастотные сигналы дрейфа и наводок при этом значительно уменьшаются.

Модулятор измеряемого сигнала состоит из входных сопротивлений 2 кОм и ключа на полевом транзисторе /M1, K1KT682/. Ключ

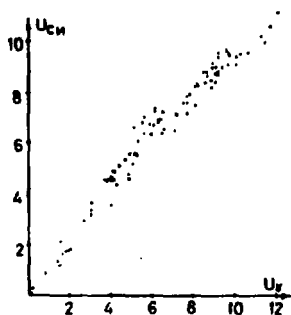
управляется импульсом модуляции /+4 В, 4 мкс/ с блока управления через транзистор Т2. Обычно ключ замкнут /сопротивление 50 Ом/ и входной сигнал на входе предусилителя снижен в ~100 раз. Импульс модуляции размыкает ключ и на вход усилителя поступает сигнал с датчиков практически без искажения. При этом модулируется только разностный измеряемый сигнал с датчиков, что существенно упрощает требования к балансировке схемы. С выходов А, Б повторителя на транзисторах Т3+Т6 модуля /М2, 2НТ173/ импульс с амплитудой, пропорциональной величине измеряемого сигнала в момент появления импульса модуляции, подается на дифференциальный вход операционного усилителя /ОУ/ /М3, 1УТ401/. Затем сигнал дополнительно усиливается во втором ОУ /М4, 1УТ401/, имеющем переключатель коэффициента усиления К3 и цепь регулировки выходного напряжения. В зависимости от уровня входного сигнала можно установить общий коэффициент усиления равным 10, 20 или 40. Усиленный сигнал через повторитель на Т7, Т8 и последующий кабель поступает в выходную секцию, рассмотренную ранее, где регистрируется в цифровом виде.

Для проверки работоспособности измерительного канала в системе предусмотрен импульсный источник света. В качестве такого источника использован светодиод Д1 /АЛ-107А/ /рис.2/, смонтированный в одном корпусе с фотоприемником и возбуждаемый через транзистор Т1 от импульса модуляции при дистанционном подсоединении входа "Проверка" к корпусу и включении реле К1. Диод Д1 подсвечивает рабочее фотосопротивление и имитирует входной сигнал средней интенсивности.

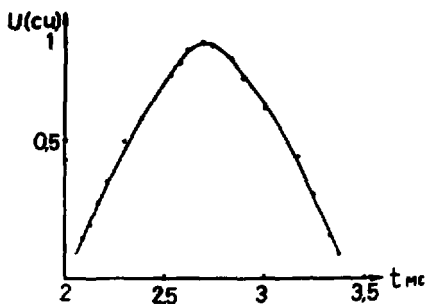
Рассмотренный измерительный канал показал высокую стабильность исходной нулевой точки / $\pm 2$  канала при максимальных сигналах ~ 800 каналов по АЦП/ и хорошую повторяемость и надежность при длительных /~нескольких месяцев/ сеансах работы. Отсчет результатов измерения производился либо по цифровому индикатору на АЦП, либо с передачей результатов на ЭВМ и одно-временной распечаткой их вместе с другими регистрируемыми параметрами. Небольшие размеры детектора, его конструктивная простота и высокая помехозащищенность позволяют устанавливать приемник в непосредственной близости от "окна" вывода синхротронного излучения из компрессора.

Измерительный канал с импульсным преобразованием позволяет регистрировать интенсивность синхротронного излучения кольца в различные моменты времени, а в многоканальном исполнении может быть использован для измерения геометрических параметров кольца.

Ниже для иллюстрации приведены некоторые результаты, полученные при использовании созданной системы регистрации синхротронного излучения на коллективном ускорителе тяжелых ионов.



**Рис.3.** Корреляция сигналов синхротронного и тормозного излучений.



**Рис.4.** Изменение интенсивности синхротронного излучения в процессе сжатия электронного кольца.

На рис.3 показана корреляция сигналов с кремниевого фотоприемника синхротронного излучения и  $\gamma$ -счетчика, сигнал которого пропорционален числу электронов в кольце. Интересно отметить, что при присущих коллективному ускорителю больших плотностях электронов в кольце  $\sim 10^{11} \div 10^{13} \text{ 1/см}^3$  измеряемый сигнал синхротронного излучения достаточно линейно связан с интенсивностью электронного кольца. На рис.4 приведено распределение в относительных единицах интенсивности синхротронного излучения в процессе сжатия и последующего расширения электрического кольца в компрессоре, измеренное с помощью фотосопротивления PbSe через интервал времени 40 нс.

Сравнивая представленную в работе помехозащищенную систему измерения синхротронного излучения и использовавшуюся ранее<sup>4/</sup>, можно сделать выводы: 1/ рассмотренные варианты регистрирующих каналов при измерении тока электронного кольца позволяют располагать детекторы СИ в непосредственной близости от источника синхротронного излучения, тем самым отпадает необходимость в оптическом тракте; 2/ подобная помехозащищенная система может быть использована на других ускорителях, где спектр СИ находится в спектральной области  $0,4 \pm 4 \text{ мкм}$ ; 3/ предлагаемые измерительные каналы в условиях повышенных электромагнитных помех позволяют значительно снизить погрешность измерения СИ. Так, в измерительном канале с импульсным преобразованием при регистрации СИ достигнута относительная точность  $\sim 0,2\%$ . Двухканальная измерительная система была испытана на прототипе КУТИ в

рабочих условиях и в настоящее время используется для контроля работы ускорителя в качестве мониторингового устройства. Проведена калибровка измерительных каналов на специальном стенде по эталонному тепловому источнику, в качестве которого использовалась светоизмерительная лампа СИРШ-6-100, что позволит измерять абсолютные значения интенсивности синхротронного излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лачинов В.М. Авт. свид. №530291 от 30.9.76. Бюлл. ОИПОТЗ, 1976, №36, с.110.
2. Лачинов В.М., Маковеев В.К. ОИЯИ, 9-9899, Дубна, 1976; ПТЭ, 1977, №5, с.149.
3. Лачинов В.М., Маковеев В.К. ОИЯИ, Р9-8118, Дубна, 1974.
4. Беспалова Т.В. и др. ОИЯИ, 9-11095, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 марта 1981 года.