

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

e
+

Д 215

8-90-66

В. И. Дацков, Х. Малиновски

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ РЕГИСТРАТОР
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТАХ

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

Большинство современных физических установок, использующих сильные магнитные поля, создаются на базе сверхпроводящих магнитных систем. Запасенная энергия в некоторых сверхпроводящих магнитах /СМ/ может достигать десятков мегаджоулей^{1,2/}, и в случае неконтролируемого аварийного перехода в нормальное состояние участков обмотки СМ может произойти серьезное разрушение дорогостоящего магнита. Поиском причин аварийных переходов и обеспечением условий надежной и безопасной эксплуатации СМ занимаются многие исследователи.

При регистрации электрических напряжений в процессе перехода СМ необходимо соблюдать ряд следующих требований:

а/ при измерении низких напряжений /0-100 мВ/ с участков обмотки СМ может внезапно появиться высокое напряжение /500:1000 В/, представляющее опасность для аппаратуры и исследователей;

б/ времена изменения различных электрических сигналов при одном переходе СМ находятся в интервале 0,001:10 с;

в/ необходимо представлять цифровую информацию с величиной измерения не менее 12 бит и точностью не хуже 0,5% для 10 и более электрических сигналов при одном переходе СМ.

Известные отечественные запоминающие осциллограммы обычно имеют один или два измерительных канала, а первые самописцы являются слишком медленными и не могут работать в условиях вышеназванных требований.

Для исследований переходных процессов в создаваемых в ОИЯИ сверхпроводящих магнитах в криогенном отделе ЛВЭ авторами был сделан 10-канальный регистратор с названием "Рапиданализатор".

2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Структурная схема 10-канального регистратора аналоговых напряжений показана на рис.1. 10 аналоговых сигналов, включающих 5 низковольтных /0:500 мВ/ и 5 высоковольтных /0:500 В/ однополярных напряжений, приходят к делителю-ограничителю ДО, с помощью которого можно уменьшать входные напряжения с соотношениями 1, 10, 100, 1000 раз. Выходной сигнал с ДО, имеющий ограничение по напряжению 5,6 В при любом положении делителя,

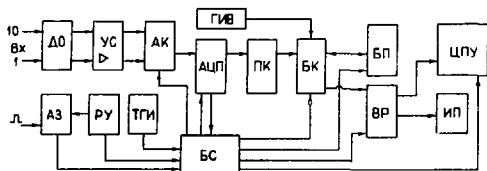


Рис. 1. Блок-схема многоканального регистратора. ДО - делитель-ограничитель, УС - усилитель, АК - аналоговый коммутатор, АЦП - аналогово-цифровой преобразователь, ПК - преобразователь кода, БК - буферный каскад, БП - блок памяти, ГИВ - генератор импульсов времени, БС - блок синхронизации, ТГИ - тактовый генератор импульсов, РУ - ручное управление, ИП - индикаторная панель, ЦПУ - цифрпечатающее устройство, ВР - выходной регистр, АЗ - автоматический запуск.

поступает на вход усилительного каскада УС. Каскад состоит из 10 дифференциальных каналов, построенных на инструментальных усилителях типа К551УД1, и имеет возможность переключения коэффициента усиления 1, 10, 100. Входное сопротивление усилителей 300 кОм, максимальная частота усиливаемого сигнала 10 кГц, погрешность передачи сигнала не хуже 0,1%. Усиленные сигналы приходят в 10-канальный аналоговый коммутатор АК. Коммутатор построен на интегральных ключах типа К590КН2, управляемых цифровыми сигналами TTL-уровня и имеющих проходное сопротивление открытого ключа 300 Ом. Погрешность передачи аналогового сигнала в диапазоне 0-5 В не хуже 0,1%, максимальная частота переключения не менее 100 кГц. Затем сигнал поступает в аналогово-цифровой преобразователь АЦП, который работает по принципу поразрядного взвешивания величиной 12 бит. АЦП построен на основе цифроаналогового преобразователя типа К594ПА1, регистра последовательного приближения типа К155ИР17, компаратора типа К554СА3. Минимальное время преобразования АЦП составляет 50 мкс с частотой управляющих импульсов до 300 кГц, погрешность преобразования лучше 0,1%.

Цифровые сигналы после АЦП выходят в двоичном виде в преобразователь кода ПК, после которого уже в коде 1-2-4-8 /BCD/ через буферный каскад БК поступают в блок памяти БП величиной 32 Кбит, построенный на микросхемах статической памяти типа К541РУ2 и шинных формирователях типа К589АП16. Память организована в виде 1000 слов величиной по 32 бита. В буферный каскад также поступают импульсы от генератора импульсов времени

ГИВ частотой 1 кГц /10 кГц/ и цифровой код ВСД от блока синхронизации БС о положении коммутатора АК.

Частоту записи в память определяет тактовый генератор импульсов ТГИ и ее можно регулировать в пределах $0,001 \pm 5$ кГц. С помощью ручного управления РУ выбираются режимы:

а/ очистка памяти БП;

б/ запись в память или вывод информации из памяти через выходной регистр ВР на индикаторную панель ИП /10 знаков/ и цифрорпечатающее устройство ЦПУ;

в/ запуск прибора ручной или от сигнала с детектора нормальной зоны СМ через каскад автоматического запуска АЗ.

Все узлы ПК, БК, ВР, БС, ТГИ, РУ, АЗ выполнены на микросхемах TTL серии К155. Прибор изготовлен в виде 3 модулей, вставляемых в крейт КАМАК: модуль входных усилителей с коммутатором, модуль управления и индикации, модуль памяти.

3. ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ ПРИБОРА

Схема первого канала делителя-ограничителя показана на рис.2. Входной сигнал ослабляется на резисторах R_1 , R_2 , R_4 , R_5 и через резисторы R_3 , R_6 идет на выход. Каждый канал наст-

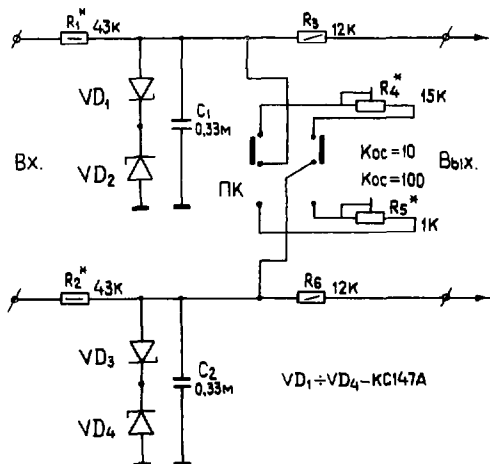


Рис.2. Схема первого канала делителя-ограничителя.

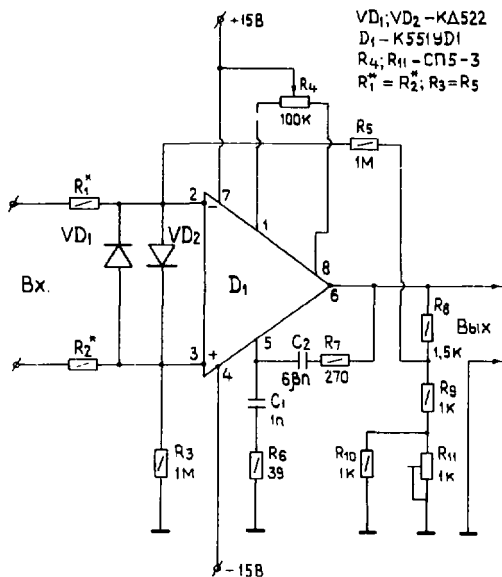


Рис. 3. Схема усилителя первого канала.

равняется на два переключаемых коэффициента ослабления $K_{\text{ос}}$, подбираемых при калибровке с помощью подстроечных резисторов R_4, R_5 типа СП5-3. Для коэффициента ослабления $K_{\text{ос}} = 1$ резистор R_4 отсутствует. Для $K_{\text{ос}} = 1000$ сопротивление резисторов R_1, R_2 равно 390 кОм. Предохранение при попадании на вход высокого напряжения осуществляется с помощью ограничителя на кремниевых стабилитронах $VD_1 - VD_4$ типа КС147А до напряжения 5,6 В.

Схема усилителя первого канала показана на рис. 3. В каждом канале находится по 2 таких усилителя, настроенных на свои коэффициенты усиления $K_{\text{ус}}$, а коммутируются выходы усилителей. Вход усилителя защищается с помощью двух диодов VD_1, VD_2 типа КД522. Настройка "0" усилителя производится с помощью потенциометра R_4 , а коррекция коэффициента усиления при калибровке потенциометром R_{11} . Для коэффициентов $K_{\text{ус}} = 1, 10, 100$ величины резисторов R_1, R_2 подбираются соответственно 1 М, 100 кОм, 10 кОм. Схемы других каскадов собраны по известным публикациям [3, 4].

4. ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА

Испытания прибора проводились при экспериментах по переходу модельного сверхпроводящего соленоида в нормальное состояние. Перед экспериментами неоднократно проводились калибровки и измерения временной стабильности показаний прибора. На рис. 4 изображены показания прибора на одном из каналов при записи в течение 30 мин. На рис. 4а показаны шумы прибора при закороченных входах канала, они не превышают 1 мВ. На рис. 4б показаны флуктуации показаний прибора при входном сигнале ± 3990 мВ, они не превышают ± 4 мВ /0,1%.

СМ с током до 200 А, запасенной энергией 120 кДж, напряженностью магнитного поля в центре 4,2 Тл для вывода энергии был подключен на внешнее гасительное сопротивление 2,14 Ом. При выводе энергии с временами 0,2:1,5 с напряжение на токовводах магнита достигало 420 В. Схема подключения нескольких каналов регистратора к обмотке СМ показана на рис. 5. Ток в СМ измерялся с помощью токового шунта Ш (75 мВ/200 А) и регистрировался каналом 1 прибора РП. Напряжение на нагревателе Н регистрировалось каналом 2. Сигнал с мостовой схемы, т.е. с середины обмотки СМ и потенциометра R_m , регистрировался каналом 3. Эксперимент и измерения проводились следующим образом. При определенном токе в магните СМ /0:200 А/ с приходом стар-

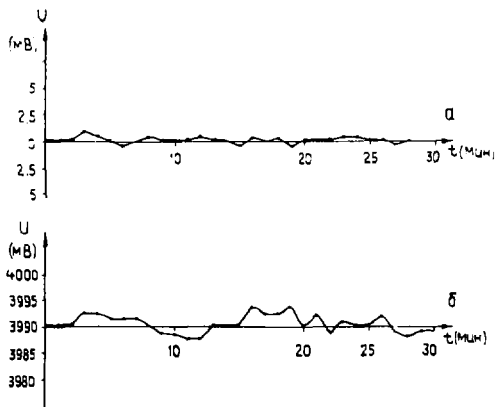


Рис. 4. Дрейф показаний на одном канале в течение 30 мин: а - при закороченных входах канала, б - при входном сигнале постоянного напряжения +3990 мВ.

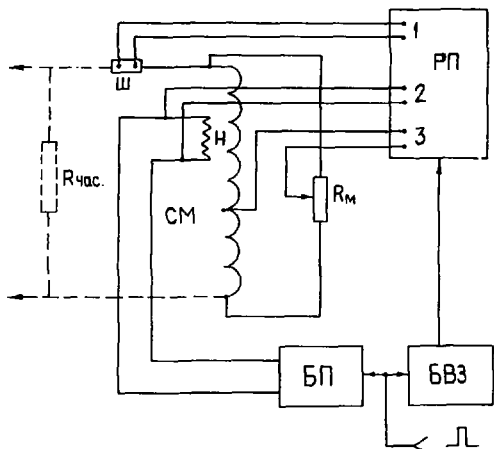


Рис. 5. Блок-схема измерения с СМ.

того импульса блок питания БП выдает токовый импульс $10,1 \pm 0,7$ А с регулируемой выдержкой $0,005 \pm 1,5$ с на нагреватель Н. Одновременно запускается блок временной задержки БВЗ, который через регулируемое время $0,005 \pm 1$ с включает многоканальный регистратор РП. Эксперимент проводился таким образом, чтобы зарегистрировать сигналы до и после перехода СМ из сверхпроводящего в нормальное состояние.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Многоканальный регистратор показал надежную работу во всех сериях экспериментов, т.е. почти в 60 переходах СМ в нормальное состояние. Результат одного испытания показан на рис.6, где изображены 3 наиболее характерных из 10 зарегистрированных сигналов с: 1 - токового шунта, 2 - нагревателя, 3 - диагонали мостовой схемы. Магнит был запитан током 30 А. На нагреватель подан импульс тока $0,5$ А в течение 600 мс. Из рисунка видно, что до включения нагревателя отсутствует сигнал /3/ с диагонали мостовой схемы, т.е. обмотка СМ полностью сверхпроводящая и нет участков нормальной зоны. С включением нагревателя появляется сигнал нормальной зоны /3/, имеющий вид

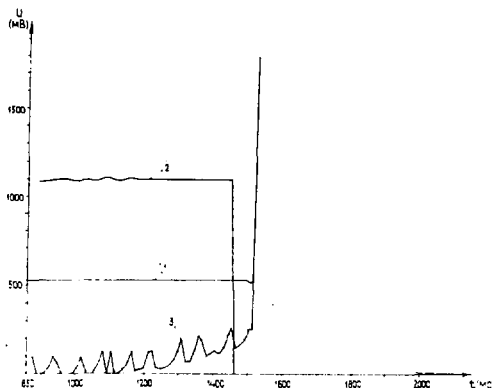


Рис.6. Оциллограмма одного из переходов СМ: 1 — ток в магните, 2 — напряжение на нагревателе, 3 — сигнал нормальной зоны в СМ.

пульсаций с нарастающей амплитудой. Вначале пульсации начнутся от нуля, т.е. имеет место зарождение и схлопывание нормальной зоны. Затем в момент времени 1500 мс потенциал нормальной зоны резко нарастает, что свидетельствует о распространении нормальной зоны в обмотке СМ и переходе всего магнита в нормальное состояние. Анализ всех экспериментальных результатов показал, что частота и форма пульсаций зависят от условий перехода СМ в нормальное состояние.

Полученные впервые измерения зарождения нормальной зоны в большом магните свидетельствуют о сложности процессов в его обмотке до и после перехода СМ из сверхпроводящего в нормальное состояние. Полученные результаты согласуются с известной работой^{/5/} по акустическим измерениям переходов СМ, где результирующая огибающая акустических волн перед переходом СМ имеет вид, похожий с зарегистрированными нами пульсациями нормальной зоны. В работах^{/6,7/} показаны теоретические и экспериментальные исследования пульсирующих режимов распространения нормальной зоны в одиночных комбинированных сверхпроводниках, охлаждаемых жидким гелием и с различной ориентацией в магнитном поле. В этих работах авторы показали хорошее совпадение теоретических и экспериментальных результатов по появлению и схлопыванию нормальной зоны в одиночных проводках. Полученные нами экспериментальные результаты подтверждают такое же поведение

нормальной зоны в сложных системах СМ, но с более сложной зависимостью от внешних условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.А. и др. - В сб.: "Труды 2-й всесоюзной конференции по техническому использованию сверхпроводимости", Л.: ЛНИВЦ, 1984, т.1, с.228.
2. Альтов В.А. и др. - Стабилизация сверхпроводниковых магнитных систем. М.: Энергия, 1984.
3. Гутников В.С. - Интегральная электроника в измерительных устройствах. М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Тарабрин Б.В. - Справочных по интегральным схемам. М.: Энергия, 1981.
5. Иваса Ю., Яков К. - В сб.: "Труды 2-й Всесоюзной конференции по техническому использованию сверхпроводимости. Л.: ЛНИВЦ, 1984, т.2, с.195.
6. Баев В.П. и др. - ФТТ, 1982, т.24, № 5, с.1544.
7. Гуревич А.Вл., Минц Р.Т., Рахманов А.Л. - Физика композитных сверхпроводников. М.: Наука, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 февраля 1990 года.