

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. Ломоносова

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА

Составил: Шустов Н.Л.

Содержание:

1. Особенность электроразведочной аппаратуры.
2. Цифровой и аналоговый подход к созданию аппаратуры.
3. Классификация по признаку генераторы \ измерители.
4. Общие характеристики генераторных устройств.
5. Датчики для измерений.
6. Общие характеристики измерительных устройств.
7. Классификация помех при измерениях.
8. Классификация измерительной аппаратуры по группам методов.
9. Понятие регламентных работ.
10. Блок-схемы и описания электроразведочной аппаратуры.

МОСКВА 1999г.

## 1. Особенности электроразведочной аппаратуры.

Электроразведка выделяется среди других геофизических методов большим разнообразием методик наблюдений. Это обуславливает и большое разнообразие применяемой аппаратуры. Однако, принципы архитектуры этой аппаратуры очень схожи. Среди многообразия электронных характеристик и схем аппаратуры следует научиться выделять то, что важно для геофизика как пользователя и заказчика этого оборудования.

## 2. Цифровой и аналоговый подход к созданию аппаратуры.

В принципе, существует два основных подхода в проектировании радиоэлектронных устройств: аналоговый и цифровой.

При аналоговом подходе исследуемый сигнал усиливается (чаще всего по напряжению), проходит необходимые преобразования (активные и пассивные фильтры, например RC-цепочки, LC-цепочки, гираторы, модуляция-демодуляция), затем выводится в аналоговом виде (на стрелочный индикатор или осциллограф). Управление аппаратурой в этом случае также производится аналоговым образом (переменные резисторы, конденсаторы и т.п.).

При цифровом подходе исходный сигнал оцифровывается через определенные промежутки времени (эти промежутки называются периодом опроса). Оцифровка заключается в представлении амплитуд исходного сигнала в двоичной форме. Все последующие преобразования сигнала (фильтрация, спектральный анализ, хранение информации) могут производиться с помощью цифровых элементов (процессоры, устройства хранения информации и т.п.). Управление аппаратурой в этом случае может осуществляться по программно формируемым цифровым командам.

Как правило, в современной аппаратуре сочетаются оба этих подхода. При измерениях сигнал аналоговым образом усиливается, иногда фильтруется, затем оцифровывается. В генераторных установках цифровые команды управляют мощными аналоговыми коммутирующими устройствами.

## 3. Классификация по признаку генераторы \ измерители.

Всю электроразведочную аппаратуру можно разделить на два основных класса: генераторы и измерители.

## 4. Общие характеристики генераторных устройств.

Большинство методов электроразведки /ВЭЗ, ДЭЗ, ЭП, ЧЗ, ДЭМП, ЗС и др./ используют в качестве возбудителя первичного поля искусственные источники. Эти приборы сильно различаются по своим характеристикам в зависимости от модификации метода.

Основные характеристики генераторных установок следующие:

- форма возбуждаемого сигнала /постоянный ток, прямоугольные импульсы, меандр и т.д. /;

- возможный тип возбудителя поля /заземленный электрический диполь, петля - вертикальный магнитный диполь, антенна/;
- максимальная сила тока и напряжение в выходной цепи;
- рабочий интервал генерируемых частот (или временные характеристики вырабатываемых импульсов);
- источник питания генераторной установки;
- габаритные размеры аппаратуры.

Максимальные значения силы тока, напряжения и сопротивления нагрузки связаны между собой законом Ома. Как правило, важно поддерживать определенную (большую) силу тока в выходной цепи. Этого можно достигнуть методически - уменьшая сопротивление заземления или увеличивая количество витков в возбуждающей петле, или аппаратно - изменяя выходное напряжение в зависимости от изменения сопротивления нагрузки.

Общая блок-схема генераторных установок выглядит следующим образом (рис.1):

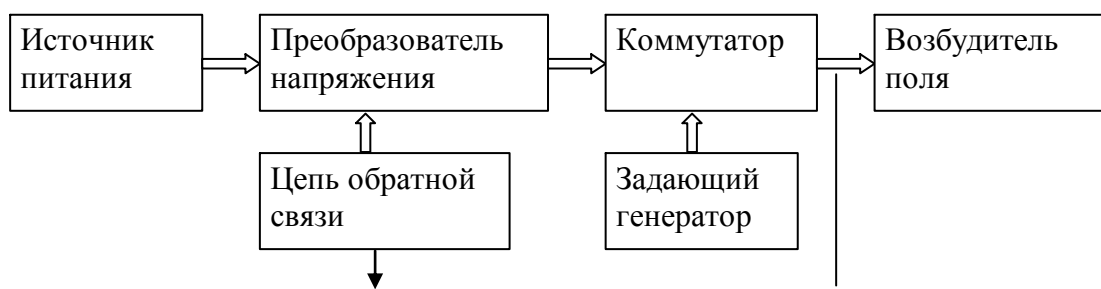


Рис. 1. Общая блок-схема генераторных установок.

Преобразователь напряжения обеспечивает поддержку необходимого напряжения в выходной цепи в зависимости от изменения параметров возбудителя поля через цепь обратной связи, либо по командам с пульта управления (как аналогового, так и цифрового). Коммутатор обеспечивает необходимую форму и частоту выходного сигнала под управлением задающего генератора. Возбудитель поля преобразует электрическую энергию в необходимую компоненту электромагнитного поля (это источник поля).

## 5. Датчики для измерений параметров электромагнитного поля (ЭМП).

Датчиком или первичным измерительным преобразователем называется устройство, преобразующее значение измеряемой компоненты ЭМП в выходной сигнал, удобный для передачи и регистрации, и функционально связанный с информативным параметром входного сигнала. В качестве выходного чаще всего используется напряжение значительно реже частота, длительность импульса, ток и т.д.

В качестве датчиков для регистрации различных компонент ЭМП Земли используются индукционные датчики (ИД) при регистрации вариаций магнитного поля на высоких частотах, кварцевые магнитометры (ММ) на низких частотах, заземленные электрические диполи (МН) или емкостные датчики для регистрации вариаций электрического поля, антенны при регистрации вариаций ЭМП на очень высоких частотах.

Индукционный датчик представляет собой многовитковую катушку с ферритовым сердечником. Переменное магнитное поле индуцирует в катушке ЭДС.

Чувствительной частью магнитометра является магнит с зеркалом, вращающийся на кварцевой нити. Световой поток отражается от зеркала и попадает на призму под углом, зависящим от интенсивности магнитного поля. После преломления в призме световой поток попадает на фотодиоды. Таким образом, разность потенциалов на фотодиодах зависит от интенсивности магнитного поля.

При измерении вариаций электрического поля для устранения влияния собственной поляризации электродов применяются неполяризующиеся электроды. В методах постоянного тока для этих же целей применяется низкочастотный ток типа меандр. Помимо заземленного электрического диполя в качестве датчика электрической компоненты ЭМП Земли могут применяться также бесконтактные емкостные датчики. У датчиков такого типа очень высокое сопротивление.

Особенностью датчиков для измерения высокочастотных сигналов являются специфические требования к геометрии датчиков. Наиболее известное требование – длина антенны должна быть кратна длине волны. Кроме того, нельзя забывать о том, что антенны обладают свойством направленности.

Следует помнить о том, что собственное сопротивление датчика должно быть в десятки раз меньше входного сопротивления аппаратуры. В случае заземленного электрического диполя этого можно достигнуть уменьшением переходного сопротивления электродов (увлажнение почвы, увеличение площади соприкосновения со средой).

## 6. Общие характеристики измерительных устройств.

Измерители предназначены для регистрации электромагнитного поля как искусственного, так и естественного происхождения. Классифицировать измерительную электроразведочную аппаратуру можно по двум параметрам: по способу регистрации и представления информации и по группам электроразведочных методов.

Общая схема построения измерительной аппаратуры представлена на рис. 2.



Рис. 2. Общая блок-схема измерительных электроразведочных устройств.

Основные характеристики измерителей следующие:

- форма регистрируемого сигнала;
- применяемый тип датчиков поля /регистрируемые компоненты электромагнитного поля/;
- количество каналов;
- входное сопротивление усилителей;
- чувствительность по каналам;
- динамический диапазон;
- регистрируемый диапазон частот (или временные параметры);
- наличие встроенных аналоговых фильтров;
- тип индикатора /стрелочный, цифровой/;
- для цифровой аппаратуры - период опроса (частота дискретизации);
- наличие встроенных носителей информации и их емкость;
- возможность автоматизированной обработки данных;
- источник питания.

Чувствительность аппаратуры - минимальное значение амплитуды регистрируемого сигнала. В цифровой аппаратуре чувствительностью удобно называть значение единицы АЦП в физических единицах. Однако следует помнить о том, что в общем случае чувствительностью называют

минимальный сигнал, который можно выделить на фоне собственных шумов аппаратуры.

Динамический диапазон - соотношение максимального к минимальному измеряемому сигналу. Измеряется в  $ДБ = 20 \lg \text{Max/Min}$ . Более удобно измерять этот параметр в значениях максимальной и минимальной амплитуды регистрируемого поля. В цифровой аппаратуре этот параметр может измеряться в единицах АЦП (разрядность АЦП). Параметр важен для того, чтобы предотвратить зашкаливание аппаратуры.

Для расширения динамического диапазона применяются следующие методы:

- компенсация постоянной составляющей (балансировка);
- уменьшение коэффициента усиления аппаратуры (аттенюатор) - это приводит к уменьшению чувствительности.

Наличие встроенных аналоговых фильтров - обеспечивает возможность фильтрации исследуемого сигнала на фоне помех. Фильтры бывают следующих типов: ФНЧ, ФВЧ, режекторный, полосовой (рис АЧХ фильтров). Выбор фильтров обеспечивает регистрацию в нужном частотном диапазоне и отфильтровывание помех.

Период опроса при цифровой записи обеспечивает регистрацию в необходимом диапазоне частот. Выбор периода опроса теоретически определяется теоремой Котельникова - Шеннона - 2 отсчета на период. Реально необходимо минимум 10 точек на период.

#### 7. Классификация помех при измерениях.

В современной электроразведке стоит задача регистрации слабых аномалий на фоне помех, характеризующихся сравнимыми амплитудами и частотным диапазоном. Задача выделения полезного сигнала на фоне помех становится все более актуальной.

Помехи бывают следующих типов:

- геологические (зависят от разреза и геологической задачи борьба с ними относится к методическим особенностям измерений);
- промышленные (внешние электромагнитные поля) ( 50 Гц , 100 Гц, их гармоники, зеркальные частоты, импульсы при включениях и т.п.)- способы борьбы: режекторные фильтры, усиление сигналов в непосредственной близости от датчиков;
- аппаратные (наводки по цепям питания, наводки по корпусам аппаратуры, наводки на датчики) - способ борьбы - заземление: общий принцип - заземление в одной точке.

#### 8. Классификация измерительной аппаратуры по группам методов.

В современной электроразведке измерительная аппаратура может быть узко специализированна, что связано с особенностями методик измерения. Можно выделить несколько классов аппаратуры.

Аппаратура, предназначенная для измерения методами постоянного тока (ВЭЗ и его модификации, ЭП) (АЭ-72, АНЧ-3Ю, ЭИН-204, ЭРА) .При работе методами постоянного тока возникает проблема компенсации постоянной составляющей поля(электродного потенциала). Эта проблема решается либо

введением систем ручной или автокомпенсации (АЭ-72), либо работой на низкочастотном сигнале типа меандр, при частоте, обеспечивающей отсутствие реактивных сопротивлений (АНЧ-3, ЭРА, ИН-204). Аппаратура для этих методов требует уменьшения габаритных и весовых характеристик.

Аппаратура, предназначенная для электрохимических методов (ЭП, ВП) (АЭ-72, ЭРА). Особенностью данных измерений является необходимость регистрации постоянных потенциалов на поверхности земли. Проблема собственной разности потенциалов электродов здесь решается путем применения неполяризуемых электродов (медный стержень в медном купоросе, графит в графитовом порошке).

Аппаратура, предназначенная для временных измерений (ЗС) (КОД-1). В данном методе необходимо производить измерения на открытом канале. Метод не позволяет использовать аналоговые фильтры на входе аппаратуры. Основным способом борьбы с помехами в данном случае является метод накопления сигнала, при котором помехи являются случайной величиной и могут быть осреднены и вычтены из основного сигнала.

Аппаратура предназначена для частотных методов (ЧЗ, МТЗ) (ИН-204, ЦЭСМ). В данной разновидности методов, как правило, применяемая аппаратура должна иметь возможность выделения узкочастотного диапазона регистрации путем введения аналоговых фильтров.

Аппаратура, предназначенная для проведения исследований в высокочастотных диапазонах (ДЭМП, Георадар, СДВР). Особенностью этой аппаратуры является проблема оцифровки очень высокочастотных сигналов. АЦП, предназначенные для работы в этом частотном диапазоне дороги и энергоемки.

## 9. Понятие регламентных работ.

Перед началом любых полевых геофизических исследований необходимо провести аппаратурные регламентные работы. Эти работы включают в себя определение амплитудно-частотных характеристик аппаратуры, определение цены деления аппаратуры в единицах измеряемого поля, определение полярности каждого канала. Все эти данные необходимы на этапе обработки информации и определяют качество проводимых геофизических исследований. Полученные в результате регламентных работ данные должны периодически контролироваться в течение полевого сезона. Помимо перечисленных работ должны быть получены такие характеристики аппаратуры как коэффициенты усиления, уровень собственных шумов, собственный дрейф нуля. Эти исследования должны проводиться специалистами электронщиками в соответствующих оборудованных лабораториях.

Краткое описание технологии проведения регламентных работ.

Для эталонировки электрических каналов используется генератор с эталонным напряжением на выходе.

Для эталонировки магнитных каналов используется эталонный источник тока. Ток подается в градуировочные обмотки т.к. необходимо создать известное магнитное поле.

При определении полярностей в первом случае используется источник напряжения с известной полярностью, во втором - лучше использовать петлю и направление поля определять по правилу буравчика.

Важным моментом при проведении регламентных и полевых работ является выбор системы координат и согласованных единиц измерения.

10. Устройство и описания некоторых аппаратурных комплексов, применяемых в электроразведке.

10.1. Аппаратурно-программный комплекс на базе цифровой многоканальной малогабаритной электроразведочной станции ЦЭС-М.

Аппаратурно-программный комплекс на базе цифровой многоканальной малогабаритной электроразведочной станции ЦЭС-М предназначен для измерения, регистрации электроразведочной информации при проведении детальных электроразведочных работ на нефть и газ методами ЗС, ЧЗ, и МТЗ.

Станция состоит из двух основных блоков: модуля ЦЭС-М, обеспечивающего всю аналоговую обработку, и бортового компьютера станции, обеспечивающего всю цифровую обработку и возможность управления работой станции в целом. В состав станции также могут входить датчики поля, обеспечивающие преобразование различных компонент электромагнитного поля в напряжения, которые и регистрируются станцией.

Управление комплексом осуществляется по командам управляющей программы (УП).

Основные характеристики станции определяющие возможности ее использования для различных электроразведочных методов следующие:

Выносной усилитель ( в комплекте - 8 шт.):

- коэффициент усиления - 200,
- частотный диапазон - от 0 до 100 Гц,
- входное сопротивление - 100 кОм.

Модуль ЦЭС-М:

- число каналов - 8,
- число полос ФНЧ - 6 (400,20,10,5,3,1 Гц),
- число полос ФВЧ - 2 (0.1, 0.01 Гц ),
- возможное усиление канала - 1,4,16,64.
- разрядность АЦП - 16 бит (65536 единиц станции).

Блок-схема аппаратурной части комплекса (в дальнейшем - станция) приведена на рис.3



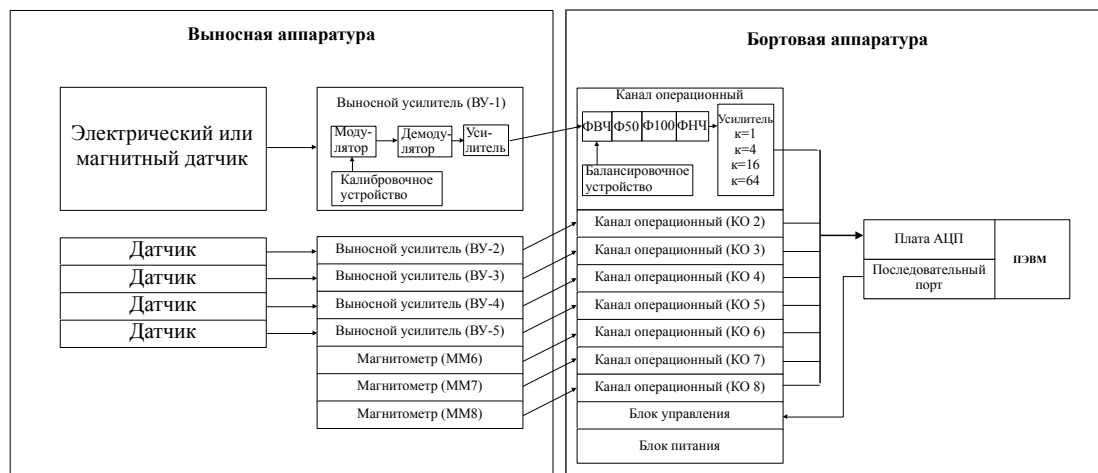


Рис.3. Блок-схема станции ЦЭС-М.

Станция состоит из двух основных блоков модуля ЦЭС-М обеспечивающего всю аналоговую обработку и бортового компьютера (любая совместимая с РС ПЭВМ стандартной конфигурации).

Таким образом, обеспечивается возможность непрерывной регистрации сигналов с записью прямо на диск ПЭВМ с последующей обработкой информации в полевых условиях и управление всеми режимами работы станции по командам с ПЭВМ.

В качестве датчиков поля при применении станции для метода МТЗ используются индукционные датчики /ИД/ при регистрации вариаций магнитного поля на высоких частотах, кварцевые магнитометры /ММ/ на низких частотах, заземленные электрические диполи /МН/ для регистрации вариаций электрического поля.

Индукционный датчик представляет собой многовитковую катушку с ферритовым сердечником. Переменное магнитное поле индуцирует в катушке ЭДС, пропорциональное скорости изменения магнитного потока. Индукционный датчик содержит также градуировочные обмотки.

Чувствительной частью магнитометра является магнит с зеркалом, вращающийся на кварцевой нити. Световой поток отражается от зеркала и попадает на призму под углом, зависящим от интенсивности магнитного поля. После преломления в призме световой поток попадает на фотодиоды. Таким образом, разность потенциалов на фотодиодах зависит от интенсивности магнитного поля. В состав кварцевых датчиков входят усилители сигнала, система обратной связи для увеличения динамического диапазона и градуировочные обмотки.

При измерении вариаций электрического поля для устранения влияния собственной поляризации электродов применяются неполяризующиеся электроды.

Для устранения влияния высокочастотных помех на кондуктора, соединяющие датчики поля и измерительную аппаратуру применяются выносные усилители, устанавливаемые рядом с индукционными датчиками и электрическими диполями.

Выносной усилитель /ВУ/ состоит из блоков модуляции и демодуляции входного сигнала высокой частотой для гальванической развязки входных цепей и цепей питания аппаратуры, калибровочного устройства для подачи на вход сигнала эталонной амплитуды, и усилителя с коэффициентом усиления равным 200.

Усиленный сигнал поступает на автономный измеритель /АИ/.

Каждый канал АИ содержит переключаемые фильтры ФНЧ, ФВЧ, режекторные 50Гц и 100Гц, балансирующее устройство для компенсации постоянной составляющей сигнала путем подачи напряжения обратной к компенсируемому полярности и усилитель с переключаемым коэффициентом усиления. Затем аналоговые сигналы со всех каналов поступают на установленную в ПЭВМ плату АЦП. Управление всеми переключениями и режимами работы станции осуществляется по командам из ПЭВМ передаваемым через СОМ-порт в блок управления.

Блок питания обеспечивает поддержку всех необходимых питающих напряжений.

Телеметрическое контрольно-проверочное устройство /ТКПУ/ выполнено в отдельном блоке и предназначено для подачи эталонировочных сигналов. В градуировочные обмотки индукционных датчиков и магнитометров подается стабилизированный ток, на вход электрических каналов подается стабилизированное напряжение. При этом напряженность магнитного поля создаваемого градуировочными обмотками рассчитывается по формуле  $H=P \cdot I$  где  $H$  - напряженность магнитного поля,  $P$  - постоянная градуировочной обмотки,  $I$  - сила тока в обмотке. ТКПУ также управляется по командам из ПЭВМ через СОМ - порт.

Управляющая программа /УП/ обеспечивает запись цифрового сигнала из АЦП на диск, графическую визуализацию записи и генерацию команд управления всей станцией.

УП написана на языках программирования Фортран и Ассемблер.

УП предназначены для работы в операционной системе MS-DOS.

УП имеет два основных режима работы: «Тест» - запись и обработка эталонировочных сигналов с ТКПУ, «Регистрация» - запись сигналов с установленной частотой дискретизации.

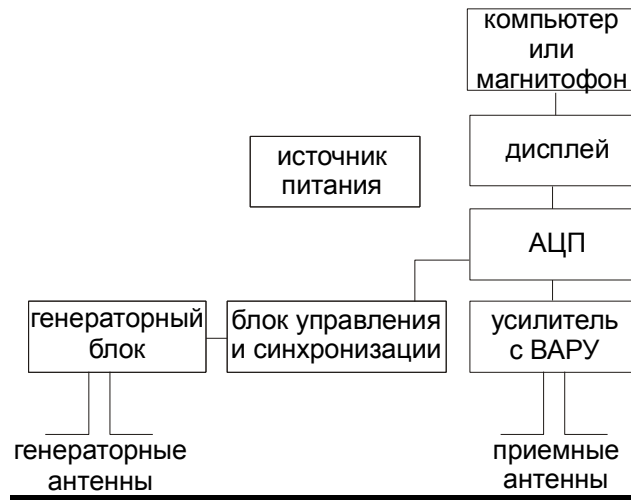
Управление режимами работы станции осуществляется выбором соответствующих пунктов в программном меню.

Кроме УП в пакет программ входит программа обработки и визуализации результатов снятия АЧХ каналов. Снятие АЧХ производится

путем подачи свип-сигнала (сигнала с автоматически меняющейся частотой) в градуировочные обмотки датчиков и на входы ВУ.

## 10.2. Аппаратура для георадиолокационных исследований ЗОНД-10.

Георадар ЗОНД-10 рижского НПО «Радар» представляет собой



комбинированный прибор, содержащий генераторную и измерительную часть в одном корпусе.

Рис. 4. Блок-схема георадара ЗОНД-10.

Генераторная часть прибора (см. рис.4) обеспечивает возбуждение зондирующих импульсов в генераторной антенне на двух частотах - 75 и 150 МГц. Зондирующий сигнал имеет форму 1.5 периода колебаний. Частота излучения импульсов – 10КГц. Изменении центральной частоты зондирующего импульса происходит подключением антенн разной длины. Длина антенны должна быть кратна 1/4 длины волны. Размах антенн при частоте 75 МГц - 2 метра ( $\lambda=4$  м), а при частоте 150 МГц - 1 м ( $\lambda=2$  м).

Измерительная часть прибора обеспечивает прием отраженных волн (трасс) с приемной антенны, автоматическую временную регулировку усиления (ВАРУ), стробирование и оцифровку сигнала. Результат измерений выводится на дисплей, записывается на аналоговый магнитофон и может непосредственно

выводиться и записываться на жесткий диск компьютера.

Создание АЦП с частотой дискретизации порядка гигагерц крайне сложно. Это резко увеличивает потребление энергии и удорожает аппаратуру, поэтому в георадаре используется принцип стробирования.

На каждой трассе (трасса – временной процесс отклика на посылку одного импульса) снимается значение амплитуды, соответствующее одному времени задержки (см. рис.5). Оцифровка производится через интервал равный:

$$dt = 100 \text{ мкс} + T_{\text{РАЗВ}}/512,$$

где  $dt$  – период опроса (мкс),  $T_{\text{РАЗВ}}$  – время развертки (нс), 512 – число отсчетов для оцифровки одной трассы.

Стробирование сигнала обеспечивается блоком управления и синхронизации. Таким образом, одна радаротрасса получается после излучения и стробирования 512 импульсов.

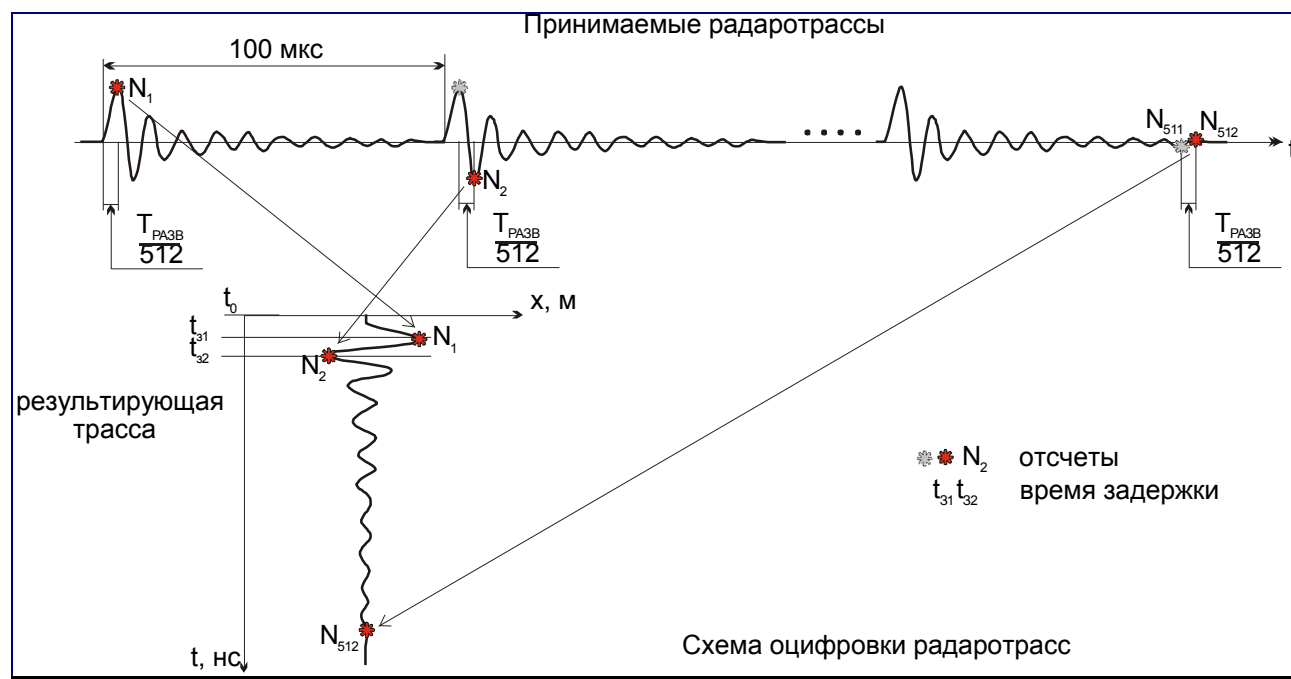


Рис. 5. Схема оцифровки радаротрасс.

Коррекция амплитуд возможна в двух видах. Во-первых, это изменение коэффициента усиления записи - единого множителя для всех отсчетов вдоль трассы (по оси времени) и по профилю (для всех трасс). Во-вторых, это введение коэффициента усиления растущего с увеличением времени вдоль трассы. ВАРУ обеспечивает малый коэффициент усиления на ранних временах и автоматическое увеличение коэффициента усиления на более поздних временах. Это необходимо для сжатия динамического диапазона т.к. амплитуда сигнала на радаротрассе затухает по экспоненциальному закону.

### 10.3. Аппаратура для измерений методом ЗСБ КОД-1.

К аппаратуре, применяемой для измерения становления поля в ближней зоне предъявляются следующие требования: требуется большая чувствительность и помехоустойчивость, т.к. улучшение детальности достигнуто уменьшением радиуса петель (или разноса) и при этом уменьшен уровень сигнала. Это связано и с общими современными требованиями к глубинности геофизической разведки.

В ближней зоне резко возрастает динамический диапазон сигнала. Это предъявляет особые требования к измерительной аппаратуре. В частности, большие значения э.д.с. на ранних стадиях становления могут приводить к длительным перегрузочным процессам, искажаемым регистрируемую кривую.

Современная схемотехника и элементная электронная база позволяют достаточно просто решить вопросы чувствительности и динамического диапазона, и на первый план выходит борьба с помехами. Наиболее распространены внешние электромагнитные помехи следующих видов:

1. Промышленные помехи от ЛЭП. Основная частота 50 Гц, гармоники  $n \cdot 50$  Гц с амплитудой в 10...100раз меньшей, чем у основной частоты (амплитуда уменьшается с увеличением номера гармоники, с удалением от ЛЭП и при увеличении проводимости разреза). Стабильность частоты около +0.5%...-1%, стабильность амплитуды - единицы и десятки процентов, изредка добавляются импульсные нерегулярные помехи. В том числе и низкочастотные от переходных процессов в ЛЭП. Уровень промышленных помех в сотни микровольт можно считать типичным в промышленных районах при площади контура 1 км<sup>2</sup>. Эффективным способом подавления гармонических помех является выбор повторения импульсов  $T = (k+1/2) \times T_{\text{пом}}$  или, при разнополярных импульсах,  $T = k \times T_{\text{пом}}$ , где  $k=0, 1, 2 \dots$ ;  $T_{\text{пом}}$  - период сигнала помехи.
2. Магнитотеллурические помехи - низкочастотные, с преобладающими периодами больше секунды. В течение года отмечены изменения от единиц до сотен мкВ/км<sup>2</sup>.
3. Помехи от линии связи - нерегулярные помехи большой амплитуды, до нескольких вольт у линии; преимущественно низкочастотные (до долей Герца).
4. Радиопомехи начинают играть заметную роль только при исследовании малых глубин. При  $\rho=100$  Ом и  $H \geq 100$  м в  $\geq 6.5$  Гц, т.е. полоса пропускания регистратора не включает радиоволновых диапазонов, в том числе и частот сверхдлинноволновых станций. Такие помехи могут детектироваться в приёмном тракте и искажать сигнал, поэтому их необходимо подавлять до тех блоков регистрирующего тракта, которые имеют недостаточные пределы линейности.

Рациональное сочетание режекторных фильтров и фильтров нижних частот в полевой аппаратуре позволяет подавлять промышленные помехи в сотни и тысячи раз.

Аппаратуру, пригодную для измерений в ближней зоне, можно разделить на два класса:

1. С полной раздельной регистрацией каждого импульса становления;
2. С накоплением импульсов в самой аппаратуре.

Устройства первого класса позволяют проводить последующую более тонкую обработку результата, что особенно важно при использовании ЭВМ. Так, станции ЦЭС позволяют регистрировать неограниченное число импульсов

на магнитном носителе в 16-ти разрядном коде, а затем с помощью вводного устройства вводить запись в ЭВМ.

Устройства второго класса позволяют производить аппаратное накопление сигнала, качество которого при последующей обработке можно улучшить практически только переменной во времени фильтрацией. Преимущество таких устройств в том, что результат можно получать непосредственно в поле. К относятся приборы с аналоговым накоплением: МППО-1, МПП-3, МППУ и с цифровым накоплением: «Зонд», «Цикл», «Импульс-2», «Импульс-3», «КОД-1».

Для накопления сигнала в аппаратуре КОД-1 используется многократное повторение сигнала. Пусть сигнал повторён  $n$  раз, а случайная стационарная помеха в пределах каждого отдельного процесса не коррелируется с помехой в пределах других процессов. При суммировании  $n$  процессов дисперсия помехи  $\sigma$  и сумма э.д.с. сигналов примет вид:

$$\sigma = \sqrt{n\sigma_0}; \quad \varepsilon \approx n\varepsilon_0$$

где индекс «0» характеризует величины до накопления. Таким образом,

$$\frac{\varepsilon}{\sigma} = \sqrt{n} \left[ \frac{\varepsilon_0}{\sigma_0} \right];$$

т.е. отношение сигнал/помеха улучшается в  $n$  раз. Это достигается за счёт того, что помеха случайна, положительные и отрицательные э.д.с. равновероятны. При сложении таких помех суммируются их мощности, а не э.д.с..

Эффективность накопления может ухудшиться, если помеха низкочастотна. Тогда в пределах нескольких процессов знак э.д.с. может не изменяться, т.е. накопление может вообще не принесёт пользы. Поэтому наиболее низкочастотные помехи нужно исключить с помощью других приёмов. Из них распространены следующие:

- применение разнополярных импульсов с соответствующими изменениями знаков суммируемых э.д.с. сигнала (аппаратура «Импульс»);
- вычитание из  $(t)$  значения э.д.с. в конце паузы, когда полезный сигнал практически закончился (аппаратура «КОД-1»).

Рассмотрим более подробно аппаратуру «КОД-1», в значительной мере удовлетворяющую всем требованиям ЗСБ. Аппаратура КОД-1 - цифровая переносная электроразведочная аппаратура для работы методом зондирования становлением поля в ближней зоне.

Аппаратура формирует однополярные импульсы тока прямоугольной формы в генераторной нагрузке. Скважность импульсов, т.е. отношение периода следования импульсов к их длине, равна 4/3 (рис. 1).

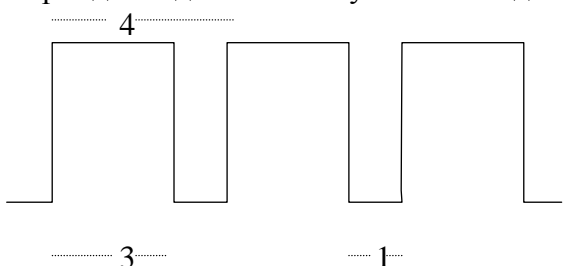


рис. 1

Длительность импульсов изменяется ступенчато (6 диапазонов) и имеет следующие значения:

Диапазон	Длительность
<b>1</b>	<b>192 мкс</b>
<b>2</b>	<b>768 мкс</b>
<b>3</b>	<b>3.07 мкс</b>
<b>4</b>	<b>12.29 мкс</b>
<b>5</b>	<b>49.15 мкс</b>
<b>6</b>	<b>196.61 мкс</b>

Амплитуда импульсов зависит от напряжения источника питания генераторной петли и сопротивления нагрузки. Максимальная амплитуда импульсов тока на генераторной нагрузке 20А. Максимальное коммутируемое напряжение на генераторной нагрузке 70В. Максимальная коммутируемая мощность 1.4 кВт.

Переходный процесс может измеряться на 66 задержках относительно фронта выключения токовых импульсов в зависимости от положения «Задержка» и «диапазоны»:

Задержка	Диапазон					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	1	8	32	128	512	2048
2	3	12	48	192	768	3072
3	4	16	64	256	1024	4096
4	6	22	96	384	1536	6144
5	8	32	128	512	2046	8192
6	11	44	176	704	2816	11264
7	16	64	256	1024	4096	16384
8	22	88	352	1408	5632	22528
9	32	128	512	2048	8192	32768
10	44	176	704	2816	11264	45056
11	62	248	992	3968	15872	63488

Значения задержек в микросекундах соответствуют интервалам времён от фронта выключения токового импульса до середины стробирующих импульсов.

Длительность стробирующих импульсов изменяется ступенчато в зависимости от диапазона:

Диапазон	Длительность
<b>1</b>	<b>1 мкс</b>
<b>2</b>	<b>4 мкс</b>
<b>3</b>	<b>16 мкс</b>

<b>4</b>	<b>64 мкс</b>
<b>5</b>	<b>256 мкс</b>
<b>6</b>	<b>1024 мкс</b>

Чувствительность аппаратуры - одна единица младшего разряда на цифровом дисплее равна 1.7 мкВ.

Время индикации изменяется в зависимости от положения ручки «Накопление»: «1»-0.5с, «10»-5.6с.

Динамический диапазон измерения напряжения 120 дБ.

Мощность, потребляемая по цепи 12В (общее управление) не превышает 15Вт.

Габаритные размеры 370\*190\*340.

Масса аппаратуры без источников питания не более 10 кг.

Блок-схема аппаратуры приведена на рис.6.

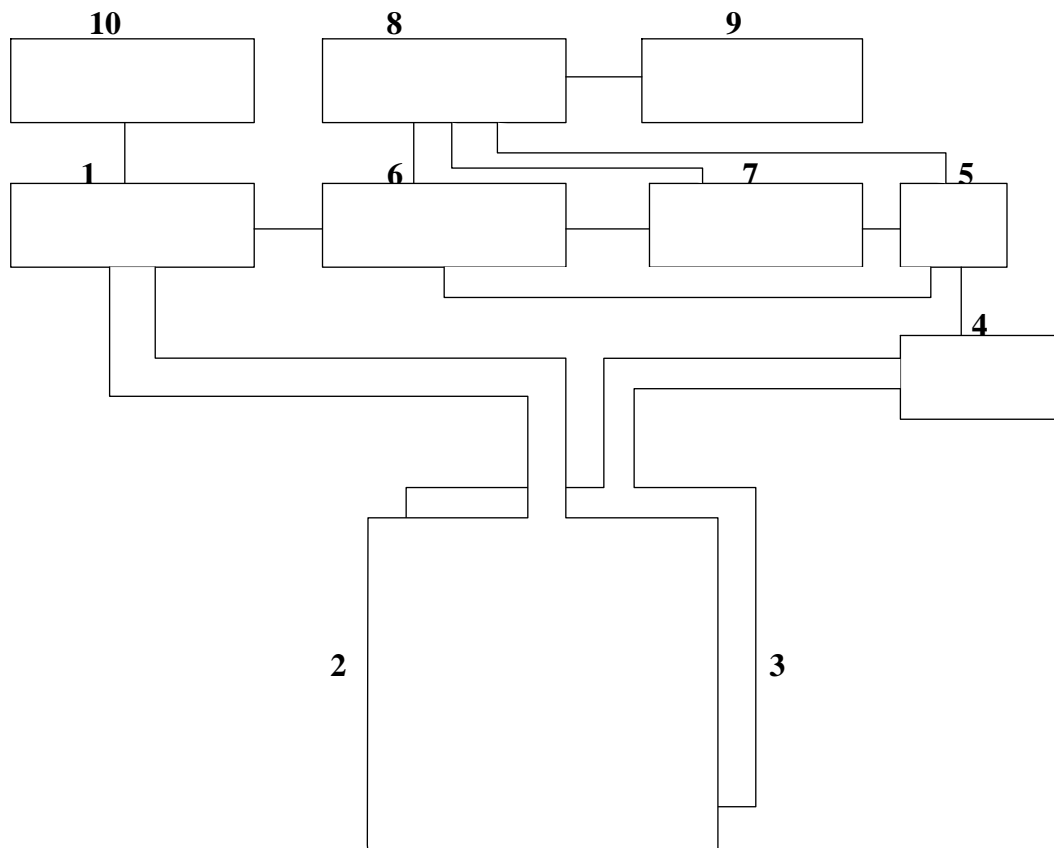


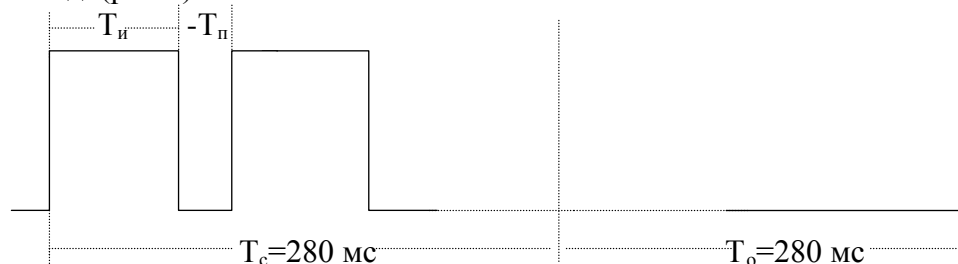
Рис.6. Блок-схема аппаратуры КОД-1.



Генераторный блок (1) (рис ) формирует в генераторной петле (2) однополярные серии импульсов тока прямоугольной формы со скважностью 4/3 (отношение периода следования импульсов к их длине). Длительность серий  $T_c$  и отсутствие серий  $T_o$  равны 280 мс для всех диапазонов. Период импульсов зависит от диапазона и изменяется по закону:

$$T = 256 \times 4^{n-1} \text{ мкс, где } n - \text{ номер диапазона.}$$

Для диапазона 1 длительность импульса  $T_i = 192$  мкс, длительность паузы  $T_n = 64$  мкс. Длительность импульсов и пауз последующих диапазонов отличаются в 4 раза от предыдущего, т.е для второго диапазона  $T_i = 768$  мкс,  $T_n = 256$  мкс и т.д. (рис.3).



Э.Д.С. переходного процесса, наведённая в приёмной петле (3) поступает на входные делители (4), которые позволяют расширить динамический диапазон аппаратуры, и далее подаётся на вход АЦП(5). Сигнал в блоке АЦП стробируется в заданные блоком управления (6) моменты времени, усиливается и преобразуется в импульс, длительность которого пропорциональна входному сигналу. Входной сигнал складывается из опорного напряжения, э.д.с. помехи и э.д.с. переходного процесса.

Опорное положительное напряжение выбрано большим по амплитуде, чем измеряемое э.д.с. при полном заполнение выходного индикатора. Это сделано для того, чтобы суммарный сигнал был всегда положительным независимо от знака измеряемой э.д.с..

Импульс, длительность которого пропорциональна входному сигналу, наполняется импульсами частотой 1 МГц, которые поступают на реверсивные десятичные счётчики. Во время  $T_o$  зондирующие импульсы и отклик на них в генераторной и приёмной петлях отсутствуют. Измерение э.д.с. с приёмной петли производится на той же задержке и той же длительностью, что и во время  $T_c$ .

Если во время прохождения серии импульсов производилось накопление сигнала с наложенной на него помехой, то во время отсутствия ( $T_o$ ) серии импульсов происходит только накопление помехи, и она вычитается из окончательного результата, который отображается в блоке индикации (7) на четырёх разрядном цифровом дисплее.

Блок управления (6) синхронизирует работу генераторного блока (1), блока АЦП (5) и блока индикации (7).

Питание блоков (5), (6), (7), осуществляется от блока питания (8). К блоку питания (8) подсоединяется источник питания (9) постоянного тока напряжением 12 В. Источник питания (10) запитывает генераторный блок (1). Источник питания должен иметь напряжение, обеспечивающее необходимый максимальный ток в генераторной нагрузке ( $\leq 70$ В), и отводы, с которых снимается напряжение 4В и 12В для питания.

#### 10.4. Аппаратура метода ВП. Генератор 2ПН225-МУХ. Измерительная станция СВПУ.

##### 10.4.1. Генератор 2ПН225-МУХ.

Генератор 2ПН225-МУХ смонтирован на базе а/м ЗИЛ-131 и предназначен для пропускания в линию АВ нестабилизированного постоянного тока. Максимальные выходные параметры генератора:  $U=460V$ ,  $I_{\max}=65A$ ,  $W=30кВт$ . Ток в линии АВ регулируется оборотами двигателя а/м. Время пропускания тока регулируется станцией МСВП. Включение (выключение) тока в линию АВ производится через контакторный коммутатор: со станции МСВП реле переключает контакты, управляющие контакторным реле коммутатора, которое, в свою очередь, включает и выключает ток. Ток в линии АВ измеряется в режиме пропускания с помощью амперметра.

##### 10.4.2. Станция СВПУ.

Шестнадцатиканальная станция СВПУ предназначена для работы методом ВП во временной области. Станция проводит измерения на задержках 0.5, 1, 2, 5, 11, 22 с. Время пропускания тока может принимать значения: 7.5, 15, 30, 60 с и более. В аппаратуре используется шестнадцатиразрядное АЦП. Минимальный измеряемый сигнал - 10 мкВ, максимальный - 10В. Время измерения на одном канале: 20мс (один период промышленной помехи частотой 50 Гц). Время переключения с одного канала на другой: 1мс. Напряжение питания 12В. Блок-схема станции приведена на рис.7.

Основные блоки станции:

1. Коммутатор каналов. По сути, станция СВПУ - одноканальна, так как на один вход по очереди подключаются все каналы.
2. Предварительный усилитель.  $K=10$ . Включён в режиме измерения  $DU_{\text{вп}}$  и выключен в режиме измерения  $DU_{\text{пр}}$ .
3. Интегрирующая цепь. За 20мс (1 период промышленной помехи 50 Гц) аналоговый интегратор осредняет сигнал  $DU$ .

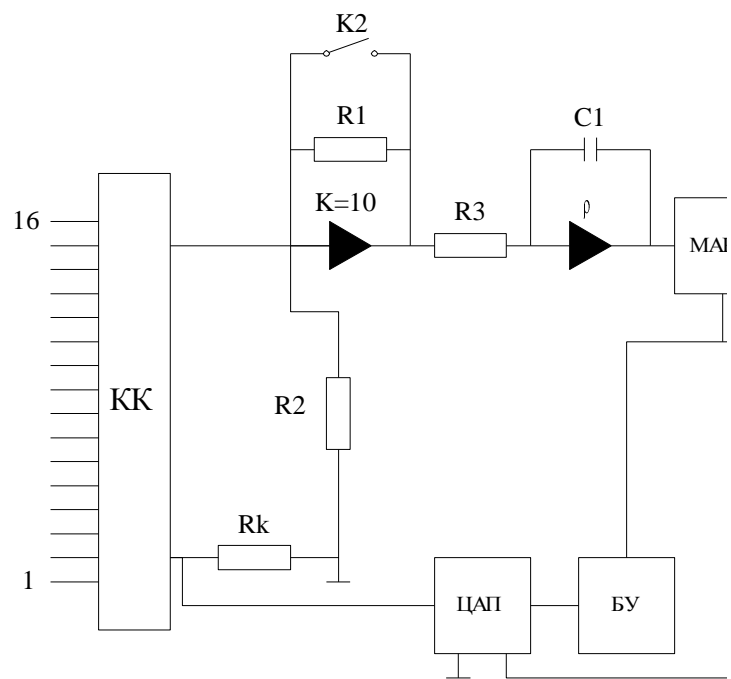


Рис. 7. Блок-схема измерительной станции СВПУ.

4. МАРУ - мгновенный автоматический регулятор усиления. В зависимости от уровня сигнала усиливает его в  $10^n$  раз, где  $n=1..3$ .

5. АЦП - аналогово-цифровой преобразователь.

6. МЕМ - ОЗУ станции.

7. БИ - блок индикации, включает в себя два дисплея: неоновый и светодиодный. Один показывает значение DU, другой - номер замера и номер канала.

8. Цепь МАРУ, АЦП, МЕМ, БУ, ЦАП измеряет значение естественной разности потенциалов и на время измерения подаёт её значение после ЦАП с обратным знаком для компенсации ЕП.

Для проведения полевых работ методом ВЭЗ-ВП к станции СВПУ была добавлена плата, стыкующая станцию с ПЭВМ типа Notebook. Управление станцией ведётся с помощью управляющей программы SVPU\_Control. Управляющая программа позволяет проводить многократные измерения с целью накопления сигнала, посмотреть в поле измеренные кривые кажущихся сопротивления и поляризуемости, а также сохранить полевые данные на жёстком диске.

Станция производит следующие замеры:

1. Нескомпенсированная разность потенциалов  $E_0$ .

2.  $\Delta U_{\text{ПР}}$ .

3-8.  $\Delta U_{\text{ВП}}$  на разных временах задержки.

$\rho_k$  и  $\eta_k$  рассчитываются по формулам:

$$\rho_k = K \cdot \frac{\Delta U_{\text{ПР}}}{I}, \quad \eta_k = \frac{\Delta U_{\text{ВП}} - E_0}{\Delta U_{\text{ПР}}} \cdot 100\%.$$

### 10.5. Модернизированный генератор АНЧ-3.

Модернизированный генератор АНЧ-3 вырабатывает переменный ток типа меандр с частотой от 0.019Гц до 312Гц с шагом 1/2 и развивает на выходе мощность до 30 Вт. Питание осуществляется от аккумулятора с напряжением 25-30В. Сила посылаемого в землю тока может фиксироваться в 5 положениях - 1мА, 3.16мА, 10 мА, 31.6 мА, 100 мА. Прибор выполнен в портативном переносном варианте и имеет массу 3.5кг. Генератор снабжен системой защиты от перегрузки. Блок-схема генератора приведена на рис.8.

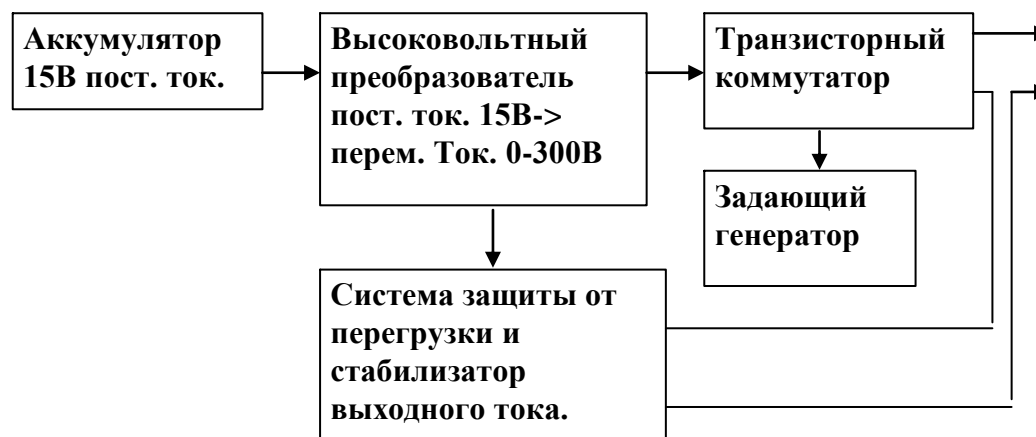
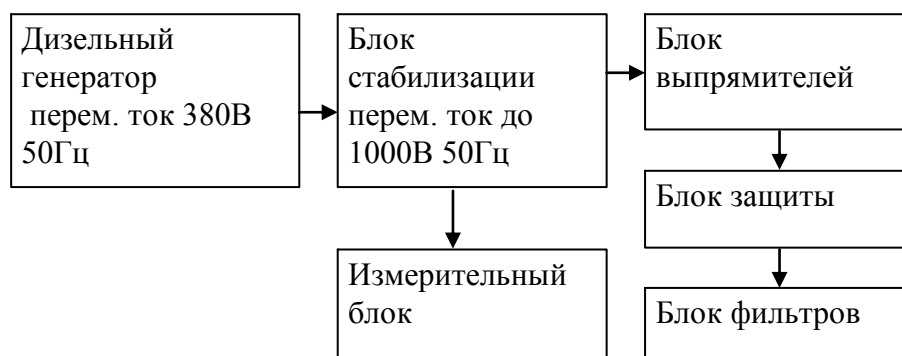
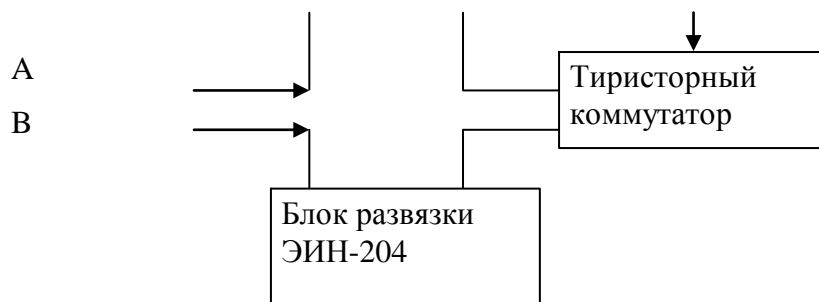


Рис.8. Блок-схема модернизированного генератора АНЧ-3.

#### 10.6. Генераторная группа УГЭ-50.

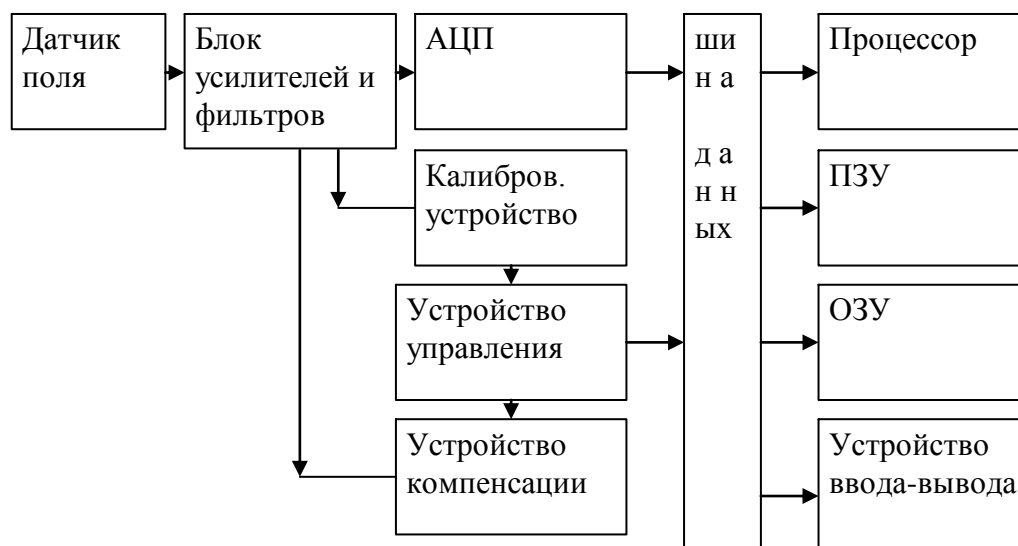
Генераторная группа УГЭ-50 предназначена для возбуждения в земле электромагнитных колебаний различной формы (меандр, разнополярные импульсы, свип-сигнал). УГЭ-50 может применяться для работ методами ЧЗ, ДЭЗ, ЗСБ, ЗСД, ВП и др. В качестве возбудителя поля может применяться как заземленная линия /АВ/, так и горизонтальная петля. Максимальная сила тока на выходе УГЭ-50 - 100А при нагрузке до 9 Ом, 50А при нагрузке до 20 Ом. 500В. Рабочий интервал частот составляет для меандра 0.019-312 Гц. Переключение частоты осуществляется по фиксированным значениям: 0.019, 0.038, 0.076, 0.15, 0.31, 0.62, 1.22, 2.44, 4.88, 9.76, 19.5, 39, 78, 156, 312 Гц. Аппаратура смонтирована на двух автомобилях ЗИЛ-131. Источником переменного тока является генератор АД-100 (380 В, 50 Гц) работающий от дизельного двигателя смонтированного на одном автомобиле. Напряжение с генератора подается на блок стабилизации, обеспечивающий изменение напряжения на своем выходе в зависимости от изменения сопротивления нагрузки. Основное отличие от АНЧ-3 здесь заключается в том, что такие большие напряжения и токи уже невозможно изменять с помощью полупроводниковых приборов и активных сопротивлений на постоянном токе. Поэтому используется переменный ток и реактивные сопротивления (емкости, катушки). Далее ток поступает через блок выпрямителей, блок защиты и блок фильтров в блок тиристорных коммутаторов. Этот блок состоит из 4 /8/ тиристоров, включенных по схеме моста. Сигнал управления поступает в блок тиристоров из задающего генератора, обеспечивающего стабилизированный по частоте сигнал типа меандр или другой выбранной формы. В результате поочередного открывания плеч моста мощный постоянный ток преобразуется в сигнал меандра. В разрыв линии АВ включен шунт с известным сопротивлением. Сигнал с шунта модулируется высокой частотой и через трансформатор и демодулятор подается на измеритель. Таким образом, осуществляется измерение силы тока в цепи АВ, фазовых параметров и происходит гальваническая развязка между высоковольтными цепями и измерителем. Сила тока в цепи АВ вычисляется по закону Ома:  $I = U_{изм} / R_{ш}$ . Аналогичный шунт установлен в измерительном блоке и служит для управления блоком стабилизации.





### 10.7.Измеритель ЭИН-204.

Измеритель ЭИН-204 предназначен для полевых электроразведочных работ на переменном токе низкой частоты методами ВП, ЧЗ, ВЭЗ, ВЭЗ-ВП. Измеритель позволяет регистрировать амплитуды и фазовые параметры на рабочих частотах от 0.019 до 312Гц с шагом 1/2. Диапазон измеряемых напряжений составляет от 1.0Е-5 до 5В. Диапазон измеряемого фазового параметра составляет от -45 до +45 градусов. Входное сопротивление измерителя не менее 100МОм. Напряжение питания -12В. Емкость встроенной памяти 4096\*4 бит. Измеритель выполнен в портативном переносном варианте. Для предварительной обработки данных в измерителе предусмотрен встроенный процессор.



Блок-схема устройства приведена на рис.

Сигнал с выходы приемной линии, датчика магнитного поля или

калибровочного устройства поступает на вход усилителей и фильтров. Сопротивление приемной линии может быть проконтролировано индикатором. В усилителях и фильтрах выполняется компенсация постоянной составляющей входного сигнала до уровня 1В. Фильтры предназначены для подавления промышленных и высокочастотных помех. Далее сигнал поступает на АЦП, где осуществляется дискретизация сигнала и преобразование дискретных значений в цифровой код.

Обработка значений сигнала выполняется процессором под управлением программы, записанной в ПЗУ. Каждый период сигнала представляется 256 дискретными выборками  $X_k$ . Затем осуществляется статическая обработка сигнала с целью подавления помех. Сначала вычисляется полусумма для исключения некомпенсированной постоянной составляющей:

$$\alpha_k^i = \frac{X_k^i + X_{(k+128)}^i}{2}.$$

При использовании алгоритма выборочного среднего для подавления шумовых помех производится оценка по  $n$  значениям:

$$\alpha_k^n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\alpha_k^i + \xi_k^i), \text{ где } \xi - \text{помеха.}$$

Для вычисления амплитуд гармоник и сдвига фаз между гармониками (фазовых параметров) предварительно вычисляются коэффициенты разложения в ряд Фурье:

$$a_m = \frac{1}{128} \sum_{k=1}^{256} \alpha_k^n \cos\left(m \frac{\pi}{64} k\right) \quad b_m = \frac{1}{128} \sum_{k=1}^{256} \alpha_k^n \sin\left(m \frac{\pi}{64} k\right),$$

где  $m$  - номер гармоники. Затем по специальной программе вычисляются амплитуды интересующих гармоник и фазовые параметры:

$$A_m = \sqrt{a_m^2 + b_m^2}, \quad \varphi_{l,m} = \frac{l\varphi_m - m\varphi_l}{l - m}$$

$$\varphi_m = \arctg \frac{a_m}{b_m} \quad \varphi_l = \arctg \frac{a_l}{b_l}$$

## ЛИТЕРАТУРА.

1. Электроразведка. Справочник геофизика. Книга первая.

Под редакцией В.К.Хмелевского.

2. Бобровников, Кадыров, Попов.

Электроразведочная аппаратура и оборудование.

Недра, 1985г.

3. Справочник оператора-электроразведчика.