

РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННОГО МАГНИТОМЕТРА НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА ИНТ-1 И РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА НА МАГНИТНОЙ СТАНЦИИ БАЙГАЗАН

Е.О. Учайкин, Д.В. Кудин, А.Ю. Гвоздарев

DESIGN OF INDUCTION COIL MAGNETOMETER BASED ON INT-1 SENSOR AND RESULTS OF MONITORING AT BAYGAZAN MAGNETIC STATION

E.O. Uchaikin, D.V. Kudin, A.Yu. Gvozdarev

В геофизике большое внимание уделяется исследованию микропульсаций магнитного поля Земли. Данные микропульсации являются проявлениями процессов происходящих в ионосфере и внутри Земли. Амплитуда таких микропульсаций зачастую не превосходит 0.01 нТл. Для их регистрации применяются магнитометры, способные проводить точные измерения магнитного поля, с шумом не более 0.01 нТл, и частотой не менее 10 Гц. Приборы, основанные на датчиках индукционного типа, очень хорошо подходят для таких исследований. В институте Солнечно-земной физики СО РАН в 1985 был разработан индукционный нанотесламетр ИНТ-1, обладающий чувствительностью 0.005 нТл. Технической особенностью данного прибора является отсутствие возможности наблюдения микропульсаций во всем диапазоне измеряемых частот, а также невозможность вести синхронизированные с UTC измерения и производить запись на цифровой носитель, что делает нанотесламетр неудобным для использования в геофизических обсерваториях. Задача данной работы – разработка электроники для датчика ИНТ-1, позволяющей установить датчик в обсерватории на кордоне Байгазан, оз. Телецкое.

In geophysics, great attention is paid to the study of Earth's magnetic field micropulsations. These micropulsations are manifestations of processes occurring in the ionosphere and in the Earth. The amplitude of micropulsations often does not exceed 0.01 nT. For registration apply magnetometers that can accurately measure the magnetic field noise is not more than 0.01 nT, and a frequency of at least 10 Hz. Devices based on the induction type sensors are very well suited for such studies. The Institute of Solar-Terrestrial Physics in 1985 was designed induction nanoteslametr INT-1, which has a sensitivity of 0.005 nT. Technical features of this device is the lack of monitoring micropulsations throughout the range of measured frequencies, as well as the inability to keep synchronized with UTC measure and record on digital media, making nanoteslametr inconvenient for use in geophysical observatories. The objective of this work – the development of the electronics for the sensor INT-1, which allows to install the sensor in the observatory at the cordon Baygazan, Lake. Teletskoye.

На первом этапе, в лаборатории робототехники Горно-Алтайского государственного университета был разработан усилитель сигнала с первичным активным аналоговым фильтром низкой частоты первого порядка, ввиду конструктивных особенностей датчика ИНТ-1. Датчик ИНТ-1 имеет большую паразитную емкость, которая при большом импедансе усилителя напряжения приводит к самопроизвольным электрическим всплескам напряжения на выходе датчика из-за перетекания электрической энергии катушки в пермалловый сердечник и обратно. Чтобы избежать такой ситуации усилитель выполнен, как преобразователь измерительного тока в напряжение, т. е. входной импеданс усилителя очень мал и, по сути, с выхода обмотки датчика ИНТ-1 измеряется ток, а не напряжение [Prance, 2000]. Энергия в таком случае измерительного тока рассеивается не в усилителе, а в активном сопротивлении катушки (23 кОм) датчика в виде тепла, которое уже не влияет на сердечник датчика. Частота среза активного фильтра подобрана таким образом (2.5 Гц), чтобы растущая с частотой чувствительность индукционного датчика примерно компенсировалась ослаблением первичного фильтра, такой подход позволяет оценивать значение магнитного поля в первом приближении до основной обработки данных без использования катушки обратной связи датчика, которая в ИНТ-1 не предусмотрена. Сигнал после усиления и фильтрации подается на аналоговый драйвер дифференциальной шины, который с помощью витой пары проводов передает сигнал в стоящее на расстоянии (до 100 м) регистрирующее устройство.

На втором этапе был разработан регистратор с 24-битным АЦП AD7732, энергонезависимым источником реального времени и энергонезависимой сменной памятью (MMC/SD/SDHC флеш карта). В качестве центрального управляющего устройства использован цифровой сигнальный контроллер dsPIC33F. Регистратор оснащен приемо-передающим модулем CAN для подключения геофизическому измерительному комплексу (CAN сеть), развернутому в обсерватории на кордоне Байгазан (оз. Телецкое). Привязка измерений к всемирному времени UTC выполняется средствами встроенного GPS приемника подключенного к микроконтроллеру [Кудин, 2010].

Установка индукционного магнитометра произведена на магнитоизмерительной станции Байгазан в 40 м севернее от магнитовариационного павильона (на пригорке) согласно разработанной схеме (см. рисунок).

Датчики ИНТ-1 были помещены в герметичные трубы ПВХ диаметром 160 мм, закрытые с торцов крышками. Положение пермалловых стержней фиксировалось внутри трубы пенополистироловыми вкладками, стыки крышек промазывались герметиком. По поверхности трубы намотана катушка из десяти витков для оценки работоспособности датчика. Датчики закопаны в грунт на глубину 30 см с целью термоизоляции, один сориентировали вдоль меридиана, другой вдоль широты [Нечаев, 2006]. Сигнальный кабель катушки датчиков выведен в будку при помощи металлопластиковой трубы диаметром 20 мм и длиной 2 м. Соединение с трубой

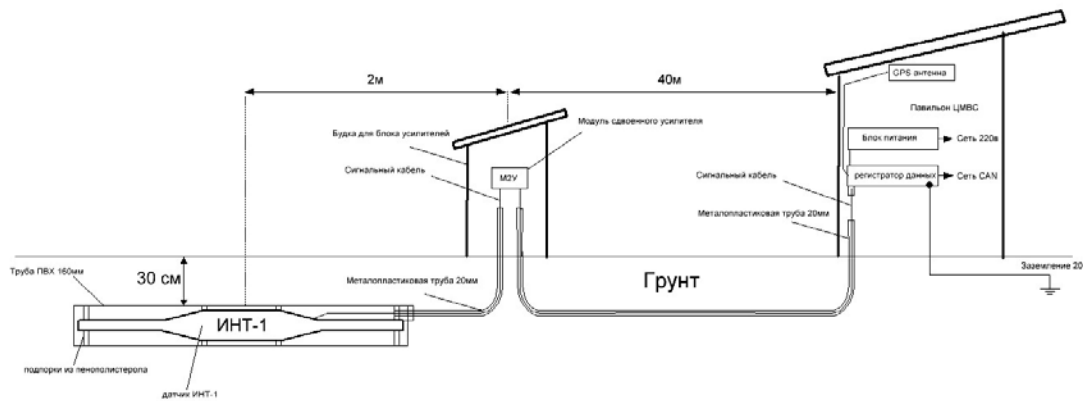


Схема установки индукционного магнитометра.

ПВХ датчика выполнены при помощи герметичных сантехнических разъемов. Аналоговый сигналы двух усилителей передаются по кабелю состоящий из витых пар, который также был помещен металлопластиковую трубу и подведен к магнитовариационному павильону, где установлен регистратор индукционного магнитометра с подключенным к нему блоком питания. Корпус магнитометра и металлопластиковая труба были заземлены. Измерения запущены 01.11.2014 с частотой записи АЦП 100 Гц.

Измерения с помощью разработанного магнитометра на основе датчиков ИНТ-1 показали способность фиксировать вариации с частотами от 0.001 Гц до 10 Гц в хорошем разрешении даже при регистрации вариаций класса Рс-1. Также на диаграммах спектрального разложения видны пики спектральной плотности мощности сигнала Шумановского резонанса 8, 14, 20 Гц, что позволяет судить о высокой чувствительности датчиков ИНТ-1, так как амплитуда мод резонанса очень мала (менее 1пТл).

В настоящее время проводится сравнительный анализ низкочастотной области (0.001–1 Гц) измерений разработанного магнитометра с данными ЦМВС Кварц 3 уставленной, на расстоянии 40 м от датчиков ИНТ-1, для выявления точных калибровочных констант датчиков ИНТ-1, поскольку создать однородное поле габаритов датчика ИНТ-1 очень сложно по причине огромных размеров колец Гельмгольца. Определить же шумовые характеристики на элементной базе станции Байгазан, не представляется возможным, т. к. магнитное поле Земли очень динамичное во всем измерительном диапазоне датчика, и найти относительно спокойное место невозможно. Сравнивая датчики сами собой, т. е. параллельно ориентировано друг относительно друга, давали похожий сигнал с коэффициентом корреляции близким 1 даже в частотном диапазоне

не входящим в Шумановский резонанс. В результате корреляции сигналов двух независимых датчиков ориентированных параллельно, можно предположить, что псевдослучайный сигнал, имеет природный характер, вызванный изменением магнитного поля Земли, а не шумовой случайной составляющей. В таком случае выявление шумовых характеристик необходимо проводить либо в пермалловом экране, либо в сверхпроводящей камере, что учитывая габариты датчика ИНТ-1, также не представляется возможным.

В результате проведенной работы на основе датчиков ИНТ-1 был разработан современный высокочувствительный индукционный магнитометр, выполняющий непрерывный мониторинг магнитных микропульсаций в Алтае-Саянском регионе.

Выражается благодарность от лица авторов данной статьи инженеру института Солнечно-земной физики СО РАН Нечаеву С.А. за создание датчиков ИНТ-1.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-90813-мол_рф_нр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кудин Д.В., Учайкин Е.О. Разработка регистратора данных для цифровой магнитовариационной станции «Кварц-ЗЕМ» // Физика окружающей среды: Материалы VIII Международной школы молодых ученых. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. С. 99–101.
- Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. 140 с.
- Prance R.J., Clark T.D., Prance H. Ultra low noise induction magnetometer for variable temperature operation // Sensors and Actuator 2000. V. 85, P. 361–364.

Горно-Алтайский государственный университет,
Горно-Алтайск, Россия