

БЫСТРЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ИОНОЗОНД НИРФИ: ДОРОГА ОТ МАКЕТА К ПРОТОТИПУ

Н.С. Тимукин, В.А. Павлова, К.К. Грехнева, А.В. Шиндин, С.П. Моисеев, А.В. Востоков

Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
timukin@nirfi.unn.ru

RFI'S VERTICAL IONOSONDE: ROAD FROM MODEL TO PROTOTYPE

N.S. Timukin, V.A. Pavlova, K.K. Grekhneva, A.V., Shindin, S.P. Moiseev, A.V. Vostokov

Radiophysical Research Institute RFI UNN, Nizhny Novgorod, Russia
timukin@nirfi.unn.ru

Аннотация. Разработан макет быстрого ионозонда вертикального зондирования. В качестве главного усилителя передающей части ионозонда используется макетная плата A600 v2.1 1.8-72MHz 600W. Одной из главных проблем при создании ионозонда является обеспечение непрерывной и автономной работы прибора. Для решения этой проблемы в состав макета ионозонда добавлен ряд следующих устройств: Arduino UNO, Raspberry Pi 4, релейный модуль, источник бесперебойного питания, GSM-розетки, интернет-маршрутизатор. Посредством данных устройств осуществляется мониторинг параметров ионозонда (температуры, напряжения питания и т. д.), а также удаленное включение/выключение ионозонда в целом и усилителя в частности. В приемной части ионозонда установлен также малошумящий антенный усилитель Nooelec для обеспечения уверенной регистрации отраженного от ионосферы сигнала и компенсации потерь мощности в сигнальном кабеле.

Ключевые слова: вертикальное зондирование ионосферы, ионограмма, ионозонд, диагностика ионосферы.

Abstract. A layout of a fast ionosonde of vertical sensing has been developed. The A600 v2.1 1.8-72MHz 600W breadboard is used as the main amplifier of the ionosonde transmitting part. One of the main problems of creating an ionosonde is to ensure continuous and autonomous operation of the device. To solve this problem, we have added the following devices to the ionosonde layout: Arduino UNO, Raspberry Pi 4, relay module, uninterruptible power supply, GSM sockets, Internet router. By means of these devices, the ionosonde parameters (temperature, supply voltage, etc.) are monitored, as well as remote switching on/off of the ionosonde in general and the amplifier in particular. Also, the Nooelec low-noise antenna amplifier is installed in the receiving part of the ionosonde to ensure reliable registration of the signal reflected from the ionosphere and compensation for power losses in the signal cable.

Keywords: vertical sounding of the ionosphere, ionogram, ionosonde, diagnostics of the ionosphere.

ВВЕДЕНИЕ

Ионозонд вертикального зондирования — прибор, позволяющий решать задачи диагностики ионосферы. Существующие на рынке ионозонды обладают ограниченным функционалом и высокой стоимостью. В НИРФИ есть потребность в создании более совершенного устройства, которое бы регистрировало ионограммы значительно быстрее существующих аналогов и при этом имело бы низкую стоимость комплектующих.

В 2021 г. был создан макет быстрого ионозонда вертикального зондирования [Shindin et al., 2022] с передовыми техническими характеристиками: скорость регистрации ионограмм — 0.9 с, пространственное разрешение — 800 м, возможность быстрого изменения параметров зондирования. Макет построен на базе двух отладочных плат SDRlab 122-16 [https://redpitaya.readthedocs.io/en/latest/developerGuide/hardware/122-16/top.html]. Он включает также линейный усилитель A600, предусилитель, программно-управляемый аттенуатор, опорный генератор, малошумящий антенный усилитель и КВ-фильтры.

Осуществление непрерывной диагностики ионосферы требует принятия дополнительных мер для обеспечения безопасной и непрерывной работы всех составляющих макета, поэтому в состав установки был введен ряд дополнительных устройств, позволяющих контролировать параметры работы прибора в реальном времени.

МЕТОДИКА

Одной из самых важных компонент передающей части макета ионозонда является плата линейного усилителя A600 v2.1 1.8-72MHz 600W [https://qrpblog.com/a600-hf-6m-600w-ldmos-amplifier]. Данная плата усиливает модулированный импульсный сигнал до 600 Вт. Усилитель с диапазоном частот 1.8–72 МГц и коэффициентом усиления порядка 20 дБ использует пару LDMOS-транзисторов MRF300. Для эффективного использования усилителя в условиях электромагнитных помех для платы был изготовлен металлический корпус. Усилитель оснащен аналоговыми выходами, позволяющими снять ключевые параметры работы усилителя: напряжение на клеммах питания, температуру транзисторов, силу тока, прямую мощность на выходе, отраженную мощность. Также при помощи одного из выходов усилителя можно осуществить запирающие транзисторов путем подачи положительного напряжения до 5 В.

Для регистрации параметров работы к плате усилителя подключена Arduino UNO — отладочная плата на базе микроконтроллера ATmega328 с входным напряжением 7–12 В, имеющая 14 цифровых и шесть аналоговых входов/выходов.

Удаленный контроль за параметрами усилителя, полученными посредством Arduino, осуществляется подключением к одноплатному микрокомпьютеру Raspberry Pi 4 (с 4-ядерным процессором Cortex-A72

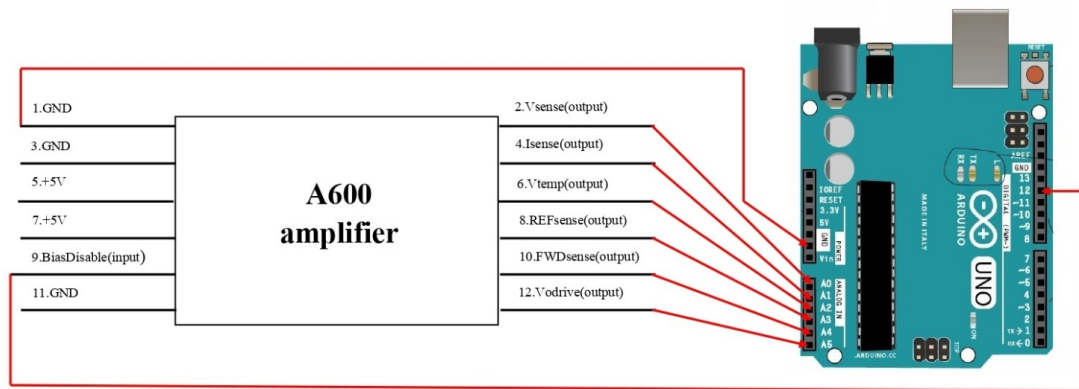


Рис. 1. Схема подключения аналоговых выходов линейного усилителя к Arduino UNO

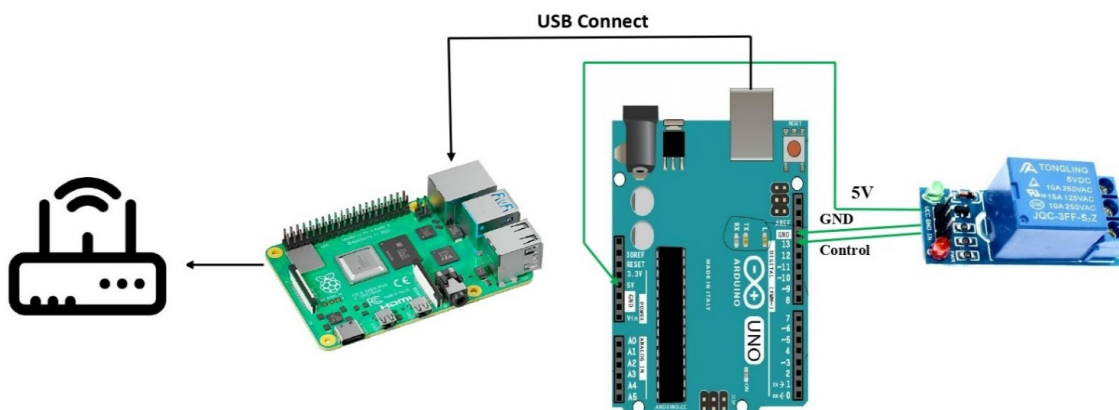


Рис. 2. Схема подключения реле к Arduino UNO и последующего подключения к Raspberry Pi

(архитектура ARM v8) 64-bit), который находится в сети маршрутизатора с постоянным выходом в интернет.

В состав ионозонда также входит реле, с помощью которого происходит включение и отключение питания платы усилителя. Для управления реле используются цифровые входы Arduino Uno. Все электромагнитные реле имеют нормально замкнутый (normal closed, NC) и нормально разомкнутый (normal open, NO) контакты. Если на управляющей обмотке реле отсутствует напряжение, то между нормально замкнутым и коммутируемым контактами есть электрическая связь, а между нормально разомкнутым и коммутируемым — нет. При подаче напряжения на управляющую обмотку нормально разомкнутый контакт замыкается, а нормально замкнутый — размыкается. Таким образом, имеется возможность удаленно контролировать питание платы усилителя в случае нештатных ситуаций. Разработка программы, выключающей усилитель при выходе одного из параметров за границы разрешенного диапазона, ведется в данный момент.

Для удаленного отключения передающей и приемной частей макета используются GSM-розетки (максимальный ток нагрузки 16 А). Управление нагрузкой на розетке осуществляется посредством звонка либо sms. Это позволяет включать и выключать ионозонд из любой точки покрытия GSM-связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После введения всех перечисленных мер стала возможной эксплуатация ионозонда в непрерывном режиме с контролем рабочих параметров. Можно сказать, что быстрый вертикальный ионозонд НИРФИ перешел из состояния макета в состояние рабочего прототипа.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-72-10131). Работа по монтажу системы охлаждения усилителя А600 выполнена Востоковым А.В. при поддержке проекта № 0729-2020-0057 государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Shindin A.V., Moiseev S.P., Vybornov F.I., et al. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. 547.

URL: <https://redpitaya.readthedocs.io/en/latest/developer-Guide/hardware/122-16/top.html> (дата обращения: 20 мая 2022 г.).

URL: <https://qrpblog.com/a600-hf-6m-600w-ldmos-amplifier> (дата обращения: 20 мая 2022 г.).