

УДК. 621.376.53

В.В. Бирюков, С.Ю. Захаров, В.А. Малахов, А.С. Раевский**УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ФЕРРИТОВЫМ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ
РАДИОПРИЕМНОГО ТРАКТА КРИОГЕННОГО РАДИОМЕТРА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены устройство и принцип работы драйвера ферритовых переключателей, входящих в состав двухчастотного криогенного радиометра для радиотелескопа РАТАН-600. Приведены: принципиальная схема устройства управления ферритовыми переключателями, способы соединения катушек, создающих магнитное поле в феррите, результаты измерений характеристик ферритовых переключателей.

Ключевые слова: ферритовый переключатель, драйвер ферритового переключателя, радиоприемный тракт, устройство управления, криогенного радиометр.

Введение

Радиоастрономия является одним из важных направлений исследования космического пространства. Инструментом, позволяющим принимать радиоизлучение, приходящее от объектов, расположенных в просторах Вселенной, являются радиотелескопы. Изучение космического пространства с помощью радиотелескопов началось с середины 30-х годов прошлого века. В настоящее время исследования излучений в радиоокне прозрачности (1 см – 10 м) [1] развиваются быстрыми темпами как за рубежом, так и в России. Одним из центров астрономических исследований является Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН), в которой в качестве инструмента открытого коллективного пользования по изучению космического пространства в радиочастотном диапазоне используется радиотелескоп РАТАН-600 (Радиотелескоп Академии Наук) с кольцевой многоэлементной антенной диаметром 600 м. Рабочий диапазон частот радиотелескопа РАТАН-600 – 610–30000 МГц [2]. В настоящее время в лаборатории микроволновой электродинамики (ЛМЭ) кафедры «Физика и техника оптической связи» (ФТОС) ИЯЭ и ТФ НГТУ совместно с Институтом прикладной физики Российской Академии наук ведутся работы по созданию для радиотелескопа РАТАН-600 высокочувствительного широкополосного радиометрического устройства на два частотных диапазона 18,5–21,5 ГГц (центральная частота 20,0 ГГц) и 27,5–32,5 ГГц (центральная частота 30,0 ГГц). В разрабатываемом двухчастотном криогенном радиометре используется модуляционная схема с волноводными ферритовыми переключателями, один вход которых подключен к входному тракту, а другой – к охлаждаемой согласованной нагрузке. Используемые ферритовые переключатели должны работать при криогенных температурах, обеспечивать частоту переключения 32–128 Гц, развязку по каналам 20 дБ, иметь малую мощность рассеивания и широкую полосу частот. Однако необходимой полосой частот обладают лишь так называемые переключатели резервирования, предназначенные для однократных переключений. Их малое быстродействие обусловлено высокой индуктивностью катушек управления. Данная статья посвящена исследованию возможностей использования данных переключателей в криостатированном радиометрическом приемнике.

Принцип работы устройства управления ферритовым переключателем

Радиометрический приёмник предназначен для проведения астрофизических исследований в миллиметровом диапазоне длин волн на радиотелескопе РАТАН-600 Специальной астрофизической обсерватории РАН. Радиометр состоит из четырёх каналов, обеспечивающих приём излучений двух взаимно перпендикулярных поляризаций в двух частотных диапазонах. Каждый канал построен по модуляционной схеме (рис. 1) с волноводным переключателем.

чателем 1 с прямоугольной петлёй гистерезиса (ППГ), охлаждаемой согласованной нагрузкой 2, охлаждаемым маломощным усилителем 3.

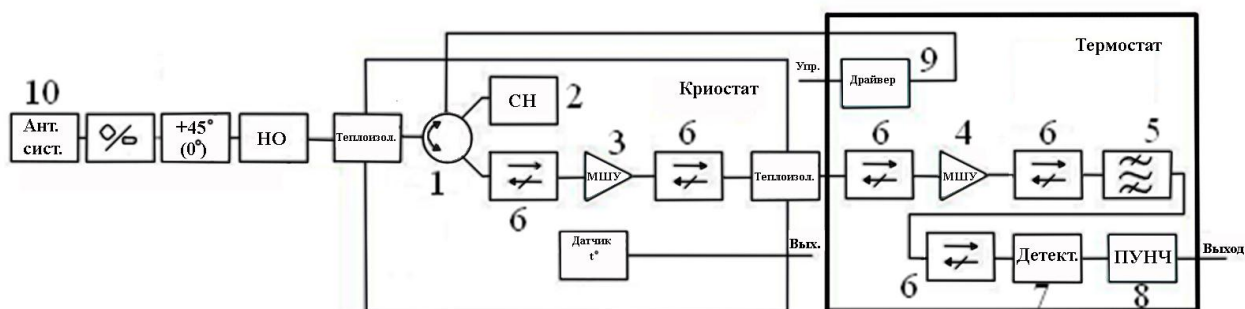


Рис. 1

Выходная часть выполнена в виде общего для четырёх каналов термостатируемого блока с выходными маломощными усилителями 4, полосно-пропускающими фильтрами 5, согласующими ферритовыми изделиями 6, квадратичными детекторами 7, предварительными усилителями низкой частоты 8 и драйверами управления волноводными переключателями 9. Термостатирование выходных блоков выполнено на уровне 37°C с точностью не хуже $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. В криостате предусмотрен независимый от криогенной системы датчик физической температуры усилителей.

Охлаждаемая часть приёмника выполнена в виде объединенного двухчастотного маломощного криоблока, т.е. в одном криоблоке размещены четыре радиометрических тракта. Первичные скалярные облучатели 10 располагаются в одну линию, вплотную друг к другу, с расположением в центре трактов более высокой частоты.

Основные технические характеристики:

- диапазон частот 18,5 – 21,5 ГГц (центральная частота 20 ГГц) и 27,5 – 32,5 ГГц (центральная частота 30 ГГц);
- возможность приема двух взаимно перпендикулярных поляризаций электромагнитного излучения;
- уровень криостатирования 80 К;
- схема построения – модуляционная с волноводным ферритовым переключателем и охлаждаемой согласованной нагрузкой;
- флюктуационная чувствительность не хуже 5 мК в расчете на 1 с постоянной времени выходного фильтра.

На рис. 2, а изображен волноводный ферритовый переключатель для канала 20 ГГц, на рис. 2, б – для канала 30 ГГц.

Для уменьшения рассеиваемой тепловой мощности управление ферритовыми переключателями предлагается осуществлять при помощи коротких импульсов длительностью 50 – 250 мкс. Полярность управляющих импульсов, их амплитуда и длительность определяют схемотехническую реализацию драйвера и схему подключения катушек, создающих магнитный поток в ферритовых переключателях. Необходимо также учитывать ограниченную мощность криостата, что накладывает ограничение на величину средней мощности управляющего сигнала, и требуемую величину развязки 20 дБ между полюсами переключателя.

Катушки, создающие магнитный поток в феррите, являются одним из ключевых элементов волноводного переключателя. Величина напряженности внешнего магнитного поля зависит от сердечника катушки, взаимного расположения катушки с ферритом и числа ее витков. От схемы подключения катушек управления зависит схематическое решение драйвера ферритового переключателя, в частности, выходные транзисторные каскады, подключенные к катушкам.



Рис. 2

На рис. 3 приведены три предлагаемые схемы подключения катушек, создающих магнитное поле в феррите.

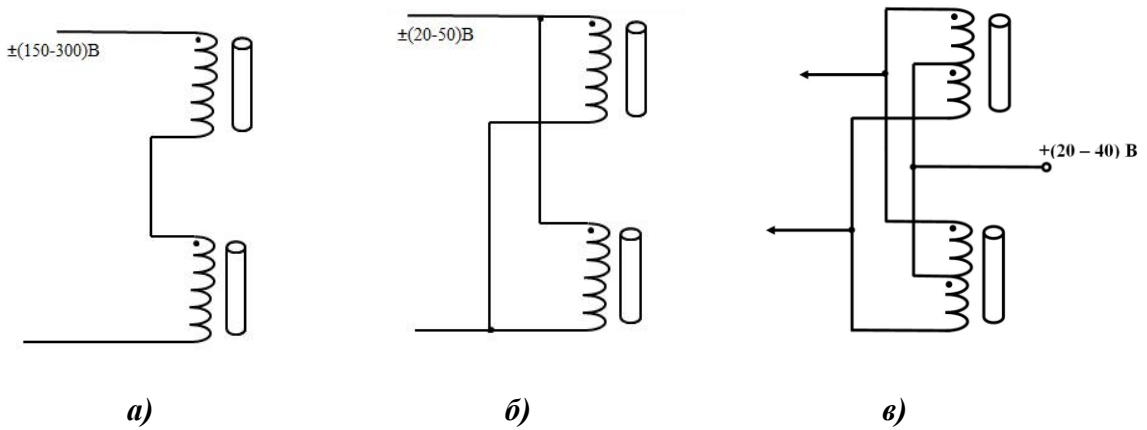


Рис. 3

Первый способ соединения катушек (рис. 3, а) требует последовательности импульсов разной полярности и больших управляющих напряжений для получения требуемого тока переключения, что сопряжено с усложнением схемы генерации импульсов и выходных каскадов драйверов переключателей. Схема соединения катушек на рис. 3, б позволяет уменьшить управляющие напряжения, но управляющие импульсы остаются разнополярными. Создание таких импульсов усложняет схемотехническое решение и не всегда удается подобрать разнополярные транзисторы с одинаковыми характеристиками.

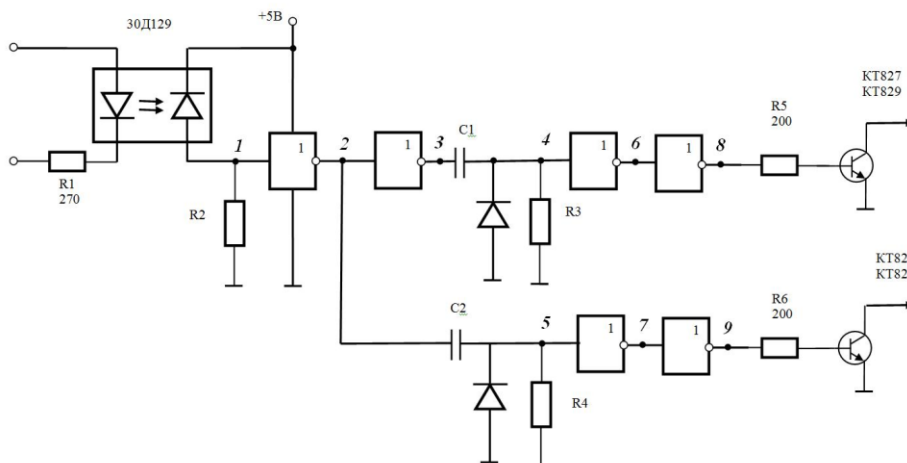


Рис. 4

Наиболее предпочтительным является соединение катушек, приведенное на рис. 3, в. В данном случае на каждый сердечник наматываются две катушки, создающие магнитное поле в противоположных направлениях. Такое соединение позволяет не только понизить управляющее напряжение, но и использовать в качестве управляющих однополярные импульсы, что значительно упрощает принципиальную схему драйвера волноводного ферритового переключателя. На рис. 4 приведена принципиальная схема устройства управления переключателем, а на рис. 5 эпюры напряжения в контрольных точках принципиальной схемы.

На рис. 5 номера графиков напряжений соответствуют номерам контрольных точек обозначенных на рис. 4.

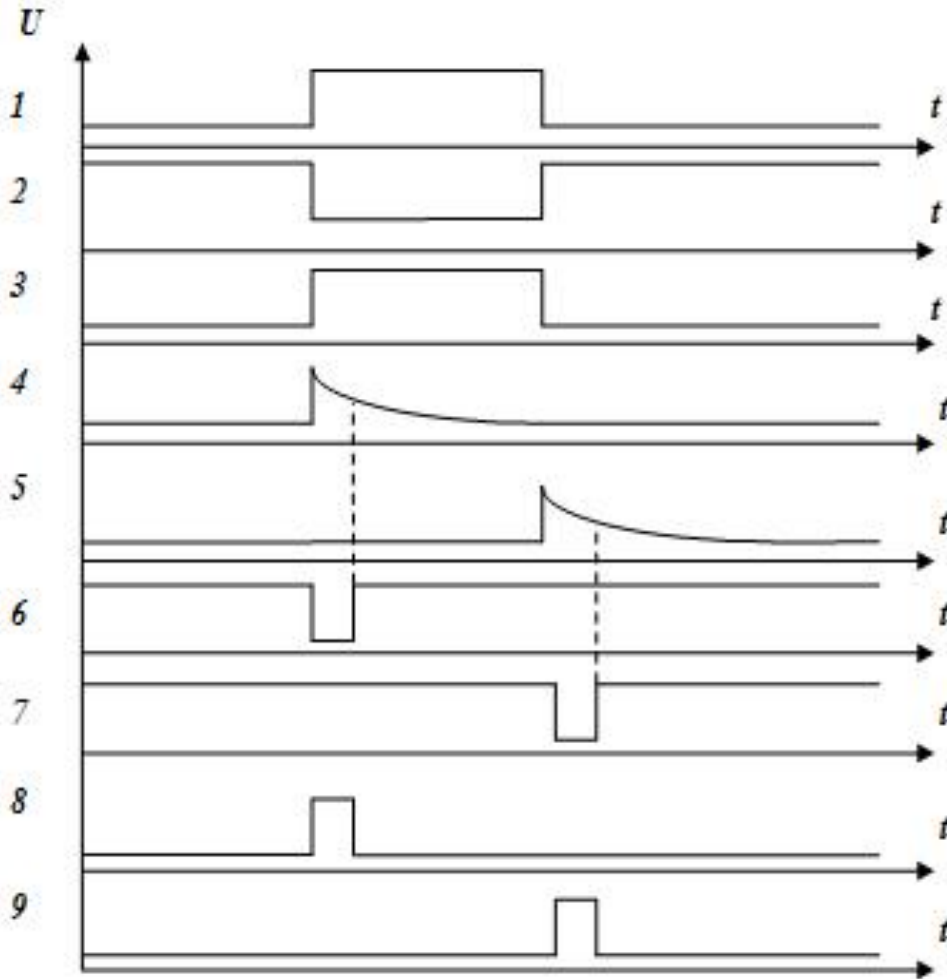


Рис. 5

На вход драйвера через диодную оптопару (предназначенную для развязки) подаются импульсы (рис. 5 эпюра 1) с требуемой частотой переключения волноводного ферритового переключателя (32–128 Гц). Поступая на вход элемента цифровой интегральной схемы КР1533ЛН1 транзисторной логики с диодами Шоттки серии ТТЛ (шесть логических элементов НЕ) [3], импульсы инвертируются (рис. 5 эпюра 2) и разделяются на два идентичных канала, которые формируют короткие управляющие импульсы. Проходя через дифференцирующую цепь и элементы НЕ микросхемы, длительность импульсов уменьшается (рис. 5 эпюры 6, 7). После инвертирования сигнала, управляющие импульсы поступают на базу выходных транзисторов (рис. 5 эпюры 8, 9). Коллекторы выходных транзисторов подключены к катушкам управления (рис. 3, в), а через них к источнику высокого напряжения. Управляющие импульсы создают токи в катушках индуцирующие магнитное поле противоположных направлений. Величина тока в катушке и длительность импульсов определяют остаточную намагниченность сердечников катушки, а следовательно, и величину развязки каналов.

Экспериментальные исследования драйвера ферритового переключателя

Для проверки работоспособности устройства управления волноводным ферритовым переключателем была собрана схема испытаний, показанная на рис. 6.

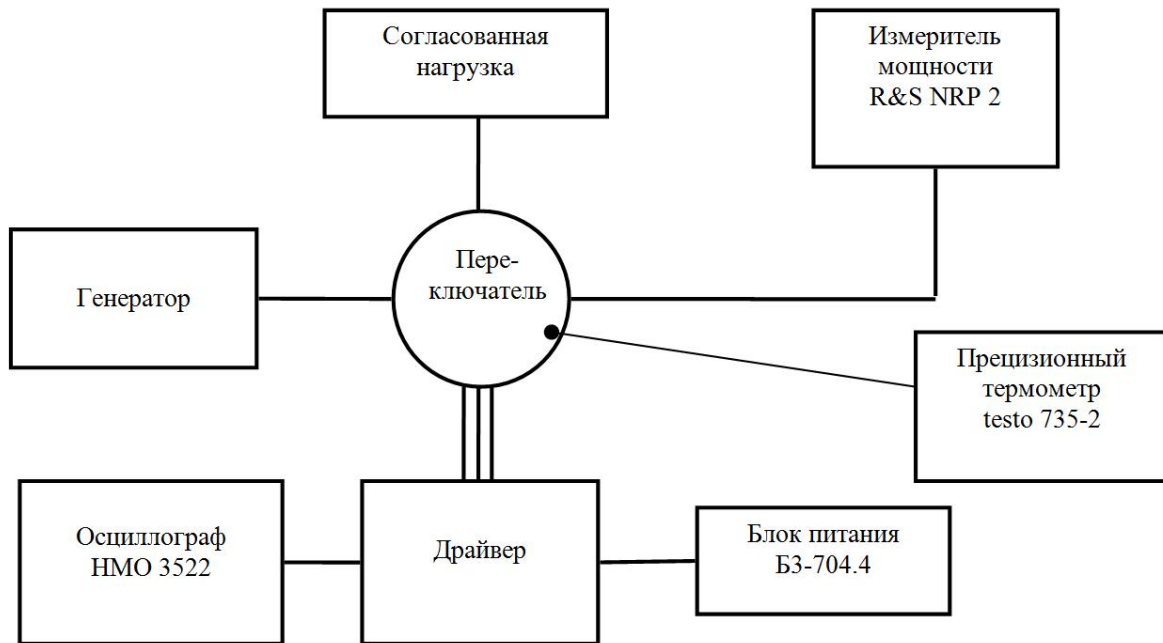


Рис. 6

Высокочастотный сигнал, генерируемый СВЧ генераторами Г4-207(20 ГГц) или Г4-208 (30 ГГц), поступает на ферритовый переключатель, один полюс которого нагружен на согласованную нагрузку, а другой подключен к измерителю мощности R&S NRP2. Управляющие импульсы контролируются осциллографом НМО 3522. С помощью прецизионного термометра testo 735-2 и зонда с платиновым датчиком температуры pt100 осуществляется контроль температуры на переключателе.

Исследование характеристик волноводного ферритового переключателя осуществлялись при разной частоте переключения, длительности управляющего импульса и его амплитуде. На рис. 7 представлено изменение мощности на выходе переключателя, полученное с помощью измерителя мощности R&S NRP2. Длительность управляющего импульса 150 мкс, амплитуда управляющего импульса 25 В, частота переключения 64 Гц.

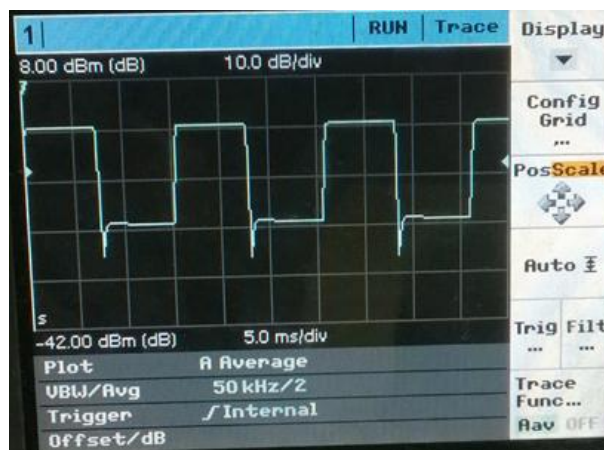


Рис. 7

Из рис. 7 видно, что требуемая развязка 20 дБ (рис. 710 дБ/дел) при небольших управляющих напряжениях (25 В) и требуемой частоте переключения (64 Гц) была достигнута. Потребляемая переключателем мощность при частоте приключения 64 Гц составляла 8 Вт, при частоте 32 Гц – 0,8 Вт. Таким образом, понижение частоты переключения обеспечивает возможность использования данных переключателей в криоблоках охлаждаемых криорефрижераторами на замкнутом газовом цикле.

Выводы

Предложенное схемотехническое решение устройства управления позволяет получить требуемые характеристики переключения, предъявляемые к волноводным ферритовым переключателям, которые используются в радиоприемном тракте (рис. 1) радиотелескопа РА-ТАН-600 для двух частотных каналов.

Увеличение частоты переключения приводит к увеличению выделяемой тепловой мощности, что создает проблемы для использования переключателей в криостате.

Уменьшение длительности импульсов управления требует повышения их амплитуды для достижения необходимой развязки 20 дБ.

Библиографический список

1. Краус, Дж. Д. Радиоастрономия / Дж.Д. Краус. – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с.
2. Бирюков, С.А. Применение цифровых микросхем серии ТТЛ и КМОП / С. А. Бирюков. – М.: Изд-во ДМК, 2000. – 240 с.

*Дата поступления
в редакцию 13.02.2015*

V.V. Biryukov, S.Y. Zakharov, V. A. Malakhov, A.S. Raevskii

THE CONTROL UNIT FOR A FERRITE SWITCH OF THE RADIO-RECEIVING CHANNEL FOR A CRYOGENIC RADIOMETER

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The development of the control unit for a ferrite switch of the radio-receiving channel for a cryogenic radiometer.

Design/methodology/approach: Circuit solution for the control unit for a ferrite switch using unipolar pulses.

Findings: The proposed circuit solution of the control unit allows you to get the desired switching characteristics applicable to the ferrite waveguide switches that are used in the receiving path.

Research limitations/implications: These results provide a starting point for the development of search techniques of the unipolar control of ferrite switches.

Originality/value: Circuit solution for the control unit for a ferrite switch.

Key words: ferrite switch, the driver of the ferrite switch for a receiving path, the control unit, a cryogenic radiometer.