

УДК 681.5

Д.В. Фомин, Д.О. Струков, А.Е. Воронков

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СОЛЕНОИДА НАНОСПУТНИКА

Представлена разработанная в студенческом конструкторском бюро НОЦ АмГУ электрическая принципиальная схема управления соленоидом. Она является частью устройства автоматического вывода тралов наноспутника CubeSat 3U, на механическую часть которого был получен патент № 194255. В статье приведен детальный анализ работы схемы и предложены способы ее совершенствования.

Ключевые слова: управление соленоидом, таймер задержки, наноспутник, работа в космосе.

NANOSATELLITE SOLENOID OPERATION CONTROL UNIT

This paper presents an electrical schematic diagram of the solenoid control developed in the student design Bureau of the scientific and educational center AmSU. This scheme is part of the CubeSat 3U nanosatellite automatic trawl output device, for the mechanical part of which patent No. 194255 was obtained. The article provides a detailed analysis of the scheme and suggests ways to improve it.

Key words: solenoid control, delay timer, nanosatellite, working in space.

DOI: 10/22250/jasu.12

Введение

В 2019 г. в студенческом конструкторском бюро НОЦ АмГУ был разработан механизм вывода тралов для наноспутника формата CubeSat 3U [1]. Вывод тралов осуществляется пружинно-поршневым устройством. Его запуск происходит после срабатывания соленоида, сердечник которого вытягивается и освобождает механический объект. Удерживать сердечник после освобождения в активной зоне нет необходимости.

При разработке схемы управления соленоидом необходимо учитывать возникновение импульса, вызванного ЭДС самоиндукции катушки соленоида, способного при отсутствии должного внимания привести к выходу из строя электронной части управления. Цель, которую ставили перед собой авторы, – разработать надежный блок управления, с одной стороны, учитывающий особенности работы соленоидов в цепи постоянного электрического тока [2], а с другой, – обеспечивающий автоматизм работы такого устройства и малую его восприимчивость к радиационному воздействию на высоких орбитах [3]. За основу были взяты полупроводниковые приборы на основе биполярных транзисторов.

Состав и принцип работы устройства

Для срабатывания соленоида в автоматическом режиме после отделения наноспутника от транспортно-пускового контейнера была предложена электрическая принципиальная схема блока управления, представленная на рис. 1. Схема включает в себя: таймер, длительность временной за-

держки которого определяется переменным резистором R1; блок формирования одиночного импульса заданной продолжительности (реализован на операционном усилителе 1040УД1); гальваническую развязку на основе оптрона, и, силовую часть, выполненную на основе биполярного транзистора КТ829 (реализованного по схеме Дарлингтона).

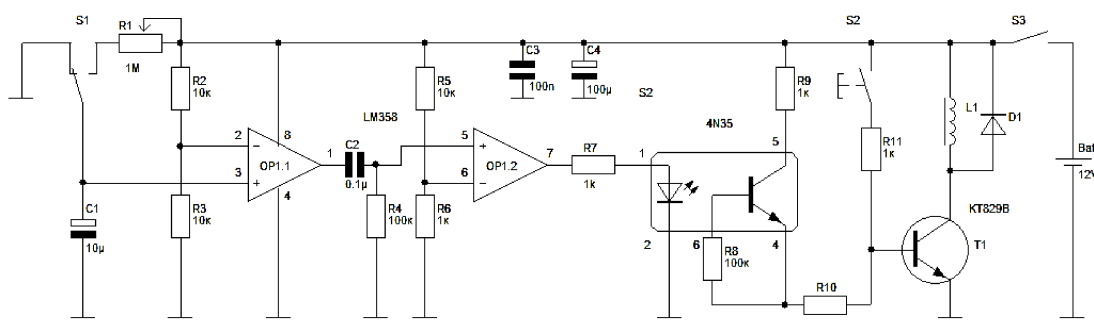


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема блока управления соленоидом.

После замыкания цепи ключом S1 происходит заряд конденсатора C1 через подстроечный резистор R1 (рис. 2, а). ОУ OP1.1 работает в режиме компаратора, сравнивая напряжение на конденсаторе C1 с опорным напряжением $U_{оп}$, заданным резистивным делителем напряжения на R2 и R3.

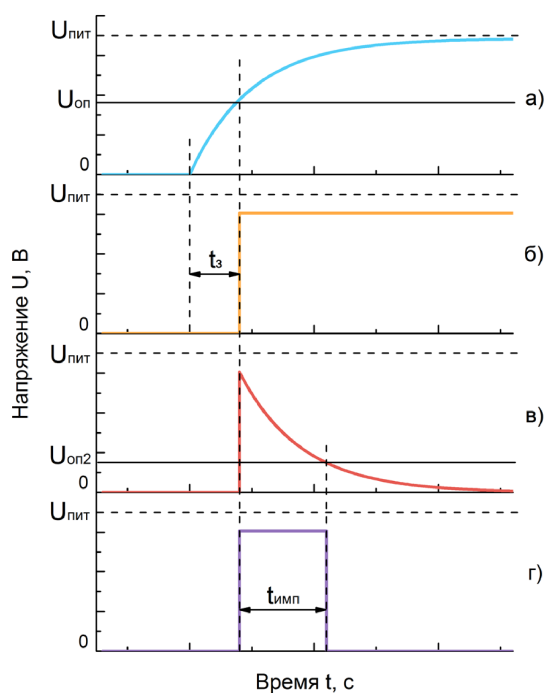


Рис. 2. Осциллограммы: а) зарядки конденсатора C1; б) выхода OP1.1, в) CR-цепи C2 и R4; г) выхода OP1.2.

Напряжение на конденсаторе можно выразить следующим образом:

$$U(t) = U_{umm} \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right), \quad (1)$$

где U_{umm} – напряжение питания; t – прошедшее время; C – емкость конденсатора; R – сопротивление резистора.

Формула (1) справедлива в случае, если конденсатор изначально был полностью разряжен. Тогда время задержки, т.е. время нарастания напряжения на конденсаторе C1 до уровня

$$U_{он} = U_{umm} \cdot \frac{R3}{R2 + R3} \text{ можно представить в виде:}$$

$$t_z = CR \cdot \ln \left(1 - \frac{U_{on}}{U_{num}} \right). \quad (2)$$

Таким образом, для использованных в схеме (рис. 1) номиналов подстроечного резистора в 1 МОм и конденсатора емкостью 10 мкФ максимальное время задержки составит 7 с.

Вторым важным параметром схемы является длительность импульса, генерируемого ОП1.2. Когда напряжение на С1 достигнет $U_{оп}$ (рис. 2, б), на выходе ОП1.1 появляется постоянное напряжение $U_{оп1}$ (согласно документации для 1040УД1 (зарубежный аналог LM358) максимальное выходное напряжение $U_{оп1} = U_{пит} - 1,4$ В, при 25°C). Возникшее нарастающее напряжение, проходя через CR-цепь, состоящую из С2 и R4, порождает скачок напряжения на выводе микросхемы ОП1.2 (рис. 2, в). ОУ ОП1.2 также работает в режиме компаратора, сравнивает напряжение скачка с опорным $U_{оп2}$, которое задается резистивным делителем напряжения на R5 и R6. Если пренебречь сопротивлением проводников и паразитными емкостями, то величину возникающего скачка можно принять за максимальное выходное напряжение ОУ $U_{оп1}$, также приняв скорость нарастания сигнала в скачке как бесконечно большую. Тогда временную зависимость спада сигнала можно записать так:

$$U_{сн}(t) = U_{оп1} e^{-\frac{t}{CR}}, \quad (3)$$

отсюда получаем длительность импульса на выходе ОП1.2:

$$t_{ум} = -CR \cdot \ln \left(\frac{U_{он2}}{U_{оп2}} \right), \quad (4)$$

где $U_{он2} = U_{num} \cdot \frac{R6}{R5 + R6}$; С – емкость конденсатора в CR-цепи; R – сопротивление резистора в CR-цепи.

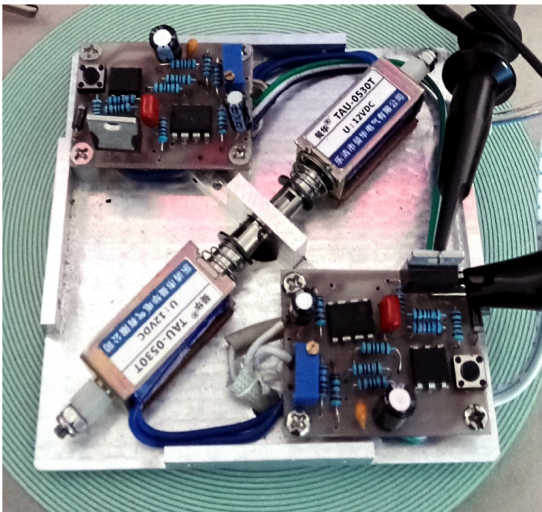


Рис. 2. Два идентичных устройства управления соленоидами, собранных для проверки работоспособности схемы блока управления ими.

Полученный на выходе ОП1.2 импульс (рис. 2, г) передается через транзисторную оптопару на управляющий нагрузкой транзистор Т1.

Для представленной схемы длительность импульса составляет порядка 23 мс, что достаточно для уверенного срабатывания соленоидов L1.

На рис. 3 показан внешний вид двух идентичных устройств управления соленоидами, собранных по схеме, представленной на рис. 1.

Следует отметить, что данная схема чувствительна к стабильности напряжения питания. Это следует учитывать при использовании мощных нагрузок, запитываемых от аккумуляторных батарей без стабилизации, так как может возникнуть падение напряжения источника питания и в свою очередь повлечь некорректную работу всей схемы задержки.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, авторами была предложена электрическая принципиальная схема блока управления соленоидом механизма вывода тралов наноспутника. Подробно исследован и описан принцип ее работы.

Изготовлен действующий прототип, показавший правильность расчетов. Устройство, собранное на основе предложенной схемы, продемонстрировало свою работоспособность и надежность.

1. Патент № 194 255. «Устройство вывода тралов для сбора космического мусора малых размеров» // Д.В. Фомин, А.Е. Гладков, А.А. Комарова, А.С. Кизима, В.А. Скрипаленко. Опубликовано: 04.12.2019. Бюл. № 34.
2. Мубаракшин, И.Р. Электромагнитное поле соленоида // Физическое образование в вузах. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 46-52.
3. Безродных, И.П., Тютнев, А.П., Семёнов, В.Т. Радиационные эффекты в космосе. Часть 3. Влияние ионизирующего излучения на изделия электронной техники. – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – 64 с.

УДК 537.226

С.А. Жежель, А.В. Сахненко, И.А. Голубева, О.В. Зотова

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФЕРРОИКА ОКСИДА МЕДИ И СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА ТИТАНАТА БАРИЯ

Представлены результаты исследования композитов $(\text{CuO})_{1-x}/(\text{BaTiO}_3)_x$ ($x = 0,1$ и $0,2$). Показано, что в исследуемых композитах наблюдается значительное размытие максимума ε' и его смещение в сторону более высоких температур по сравнению с чистым оксидом меди, величина этого смещения зависит от x . Значения диэлектрической проницаемости композита увеличиваются на порядок по сравнению с чистым CuO и также зависят от объемной доли включений.

Ключевые слова: мультиферроик, сегнетоэлектрик, композит, диэлектрическая проницаемость, сегнетоэлектрические фазовые переходы, оксид меди, титанат бария.

RESEARCH OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF A COMPOSITE BASED ON THE MULTIFERROIC OF COPPER OXIDE AND FERROELECTRIC BARIUM TITANATE

The results of the study of $(\text{CuO})_{1-x}/(\text{BaTiO}_3)_x$ composites ($x = 0,1$ and $0,2$) are presented. It was shown that, in the studied composites, a significant smearing of the maximum ε' and its shift toward higher temperatures in comparison with pure copper oxide are observed, the magnitude of this shift depends on x . The values of the dielectric constant of the composite increase by an order of magnitude compared to pure CuO and also depend on the volume fraction of inclusions.

Key words: multiferroic, ferroelectric, composite, permittivity, ferroelectric phase transitions, copper oxide, barium titanate.

DOI: 10/22250/jasu.13

Введение

На сегодняшний день существует значительный интерес к исследованию свойств мультиферроиков, которые обладают двумя типами упорядочения – ферромагнитным и сегнетоэлектрическим. Это связано с широким спектром их практического применения в качестве запоминающих устройств с множественными состояниями, в которых данные хранятся в виде электрической и магнитной поляризации [1-3]. Исследования свойств мультиферроиков связаны в первую очередь с изучением