

УДК 621.375.087.9.083.6

Кузнецов В.В., Кечиев Л.Н.

Усилитель с гальванической развязкой с дифференциальным входом

В данной статье предложен усилитель постоянного тока (УПТ) с дифференциальным входом и с гальванической развязкой. По сравнению с аналогами, в которых используется преобразование постоянного тока в переменный в усилителе отсутствует просачивание тактовой частоты во входную цепь, благодаря применению для развязки диодных оптопар. Описана схемотехника, методика расчёта и меры по повышению линейности такого усилителя. В ходе исследования был построен макет усилителя и проведены измерения его линейности. Область применения усилителя — измерительная техника, устройства многоканального опроса аналоговых датчиков.

гальваническая развязка, диодная оптопара, дифференциальный усилитель

При построении различной электронных устройств для проведения измерений с одновременным опросом нескольких датчиков возникает задача построения усилителей постоянного тока (УПТ) с гальванической развязкой между входом и выходом. Развязка аналоговых каналов измерения предотвращает паразитную связь по общей земле и уменьшает уровень помех. Такой усилитель также позволяет получить защиту узлов оконечной обработки измерительного прибора, например АЦП, микропроцессоров и т.п., так как при попадании перенапряжения на вход происходит только повреждение электронных компонентов до элемента развязки.

Поставленная задача может решаться несколькими способами. Из литературы известны реализации с применением системы модулятор-демодулятор [1]. При этом производится преобразование постоянного тока в переменный и для гальванической развязки по переменному току применяется обыкновенный трансформатор. Затем переменный ток снова преобразуется в постоянный. Другим возможным решением является предварительное преобразование аналогового сигнала в цифровой с помощью АЦП с выходом в последовательном коде, и затем передача его по цифровому каналу с оптронной развязкой [1]. Данный способ обеспечивает точную передачу сигнала и линейность данной схемы может быть практически идеальной, но часть схемы до элемента развязки здесь может быть сравнима по сложности с остальной схемой. Известны и варианты, когда входное напряжение преобразуется в сигнал с широтно-импульсной модуляцией, который передаются при помощи оптронной развязки. Недостатком всех схем с преобразованием постоянного тока в переменный является то, что всегда будет происходить просачивание частоты несущей во входную цепь. В некоторых случаях это является недопустимым, так как не обеспечивается электромагнитная совместимость.

От указанного недостатка свободны схемы с применением гальванической развязки на базе диодной оптопары. В таких схемах преобразование постоянного тока в переменный отсутствует и, следовательно, отсутствует паразитное просачивание несущей частоты во входную цепь. Зарубежной промышленностью выпускаются диодные оптопары специально с повышенной линейностью предназначенные для построения усилителей постоянного тока. Примером таких оптопар являются приборы HCNR200 и HCNR201 (Avago) [2].

Простейшим схемотехническим решением для усилителя постоянного тока с развязкой на диодной оптопаре было бы включение оптопары между двумя каскадами УПТ. Но такое схемотехническое решение обеспечит низкую линейность усиления, так как диодная оптопара имеет нелинейную зависимость фототока фотодиода от тока светодиода. В ходе исследований была снята зависимость напряжения выходного тока от входного напряжения для включения оптопары АОД101Б с резистором 1,5 кОм последовательно со светодиодом. Ток фотодиода измерялся цифровым мультиметром. График этой зависимости показан на рис. 1.

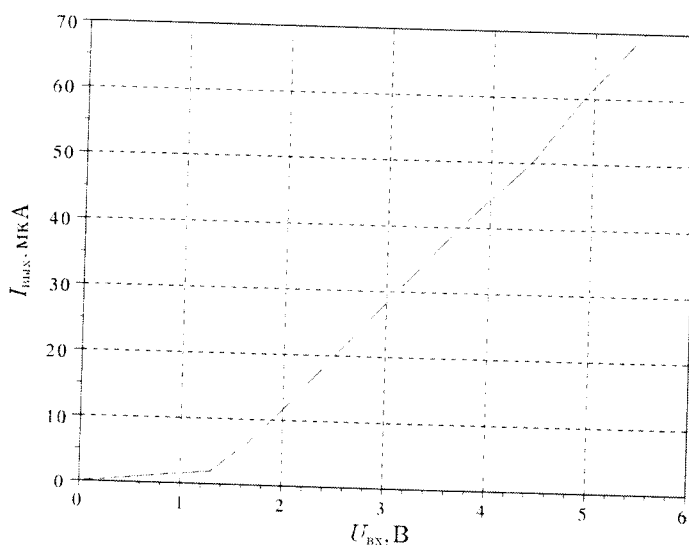


Рис. 1. Зависимость тока выхода от напряжения входа для оптопары АОД101Б

Из зависимости видим, что она нелинейна, и это не позволяет использовать диодную оптопару для развязки каскадов УПТ. Также эта зависимость различается для различных экземпляров оптопар. Поэтому для обеспечения повторяемости коэффициента передачи необходим подбор элементов схемы совместно с конкретным экземпляром оптопары.

Поэтому для повышения линейности УПТ применяется включение второй оптопары в цепь отрицательной обратной связи. Также коэффициент усиления подобных схем УПТ не зависит от характеристик конкретного экземпляра оптопары, а зависит только от номиналов элементов цепи обратной связи. Обе оптопары должны иметь идентичные характеристики. Примером такой оптопары, содержащей в одном корпусе светодиод и два фотодиода является HСNR200.

Прототипом разработанного УПТ с опторазвязкой с дифференциальным входом является УПТ на операционном усилителе (ОУ), описанный в паспорте на оптопару HСNR200 [2]. Отличием разработанной схемы от прототипа является использование дифференциального входа.

Схема разработанного УПТ показана на рис. 2

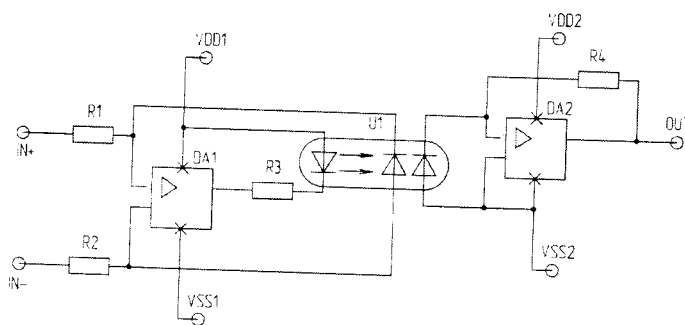


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная усилителя с опторазвязкой с дифференциальным входом. VDD1, VSS1 — напряжение питания входной ступени; VDD2, VSS2 — напряжение питания выходной ступени; IN+, IN- — входы УПТ; OUT — выход УПТ

Резисторы R1 и R2 на схеме обеспечивают замыкание цепи по постоянному току при отсутствии сигнала.

Произведём анализ схемы. Для анализа схем на ОУ с опторазвязкой применимы те же принципы, что и для всех остальных схем на ОУ. Согласно принципу неотвращения токов и принципу эквипотенциальности входов ОУ [3], выходное напряжение ОУ DA1 и следовательно ток светодиода оптопары установится таким образом, что ток I_{PD1} фотодиода, включённого между входами ОУ DA1 будет равен:

$$I_{PD1} = \frac{U_{IN+} - U_{IN-}}{R3 + R4} \quad (1)$$

где U_{IN+} , U_{IN-} – напряжение на зажимах усилителя IN+ и IN- соответственно.

Из (1) видим, что ток I_{PD1} фотодиода пропорционален дифференциальному входному напряжению. В соответствии с принципом эквипотенциальности входов ОУ и неотвращения токов выходное напряжение U_{out} ОУ DA2 установится так, что ток I_{PD2} фотодиода будет равен:

$$I_{PD2} = \frac{U_{out}}{R6} \quad (2)$$

Так как фотодиоды оптопары идентичны, то ток I_{PD1} фотодиода равен току фотодиода, включённого по входной цепи ОУ DA2 $I_{PD1} = I_{PD2}$. Поэтому можно приравнять выражения (1) и (2) и выразить отсюда напряжение на выходе усилителя:

$$U_{out} = \frac{(U_{IN+} - U_{IN-})R6}{R3 + R4} \quad (3)$$

Коэффициент усиления УПТ будет равен:

$$K = \frac{U_{out}}{U_{IN+} - U_{IN-}} = \frac{R6}{R3 + R4} \quad (4)$$

Таким образом, выражение (4) позволяет определить коэффициент усиления схемы УПТ. При $R3 + R4 = R6$ коэффициент усиления равен единице. Схема трансформируется в повторитель с опто-развязкой.

В ходе исследований был изготовлен макет УПТ. В качестве ОУ использовался ОУ общего применения LM358 [4]. Номиналы резисторов в цепи обратной связи были выбраны равными $R6 = 126$ кОм, $R3 = R4 = 35$ кОм. Рассчитанный по выражению (4) коэффициент усиления составил $K = 1,78$.

Схема показала хорошее согласование экспериментальных данных с результатами расчётов. Схема тестировалась при применении одиночных диодных оптопар отечественного производства АОД101. При этом желателен подбор оптопар для обеспечения равенства $I_{PD1} = I_{PD2}$. Если использовать оптопары без предварительного отбора, то коэффициент усиления не будет соответствовать рассчитанному по выражению (4). Зависимость выходного напряжения от входного для макета УПТ показана на рис. 3.

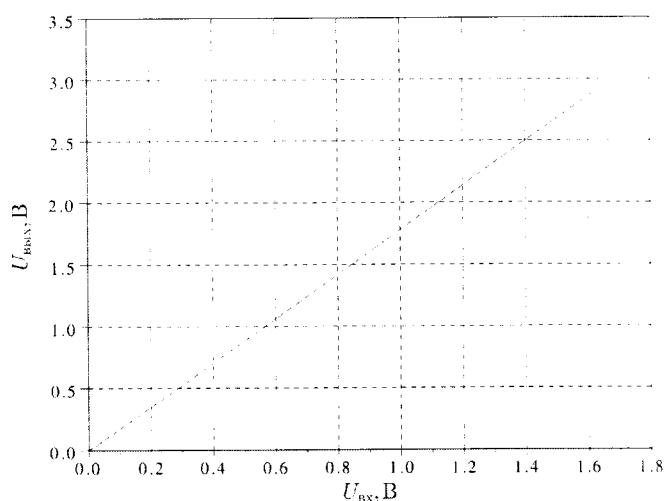


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения от входного для макета УПТ

Из графика видно, что схема обеспечивает хорошую линейность по сравнению со схемой без включения оптопары в цепь обратной связи. Коэффициент усиления K изменяется в крайних точках характеристики в пределах от 1,72 (вблизи нуля) до 1,77.

Для достижения наилучших характеристик схемы рекомендуется использовать ОУ класса Rail-To-Rail, но схема работоспособна и с ОУ общего применения, например LM358, LM324 и т.п.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. В результате проведённой работы была разработана схема УПТ с гальванической развязкой на диодных оптопарах. Достоинством разработанной схемы перед схемами с УПТ и с ШИМ является отсутствие просачивания тактовой частоты во входную цепь, т.к. преобразования постоянного тока в переменный здесь отсутствует. Коэффициент усиления схемы зависит только от номиналов элементов цепи обратной связи. Недостатком данного УПТ является линейность меньшая, чем у схем с использованием АЦП. Для преодоления данного недостатка необходимо применять подбор оптопар.

Список литературы

1. Андрусевич А. Четыре в одном, или как максимально упростить гальваническую развязку аналогового канала. — Новости электроники. — 2007. — № 15. — С. 25–27.
2. HCNR200 and HCNR201 — High linearity analog optocoupler. <http://www.avagotech.com/>
3. Титце К., Шенк У. Полупроводниковая схемотехника. Пер. с нем. / Под ред. д.т.н. Алексеенко А.Г. — М.: Мир, 1982 — 512 с., ил.
4. LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers. <http://www.ti.com/>

*Московский государственный институт электроники и математики (МИЭМ).
Статья поступила 18.12.2011.*

V.V. Kusnetsov, L.N. Kechiv

A differential isolation amplifier

An isolation differential amplifier is presented. In comparison to topologies of other isolation amplifiers using ADC and PWM techniques, there are no interferences at the input of the amplifier due to clock frequency of ADC or PWM. This feature is obtained due to using of the analog diode optocouplers. The circuitry, calculation methods and measures to increase the linearity of amplifier is presented. This topology of amplifier was implemented in practice. The measurements of linearity of the amplifier was taken. This amplifier may be used in measurement equipment and multichannel analog data acquisition systems.

isolation amplifier, diode optocoupler, differential amplifier

Moscow State Institute of Electoronics and Mathematics.