МИКРОСХЕМА ЦИФРОВОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ DIGITAL GALVANIC ISOLATION CIRCUIT

УДК 621.382, ВАК 05.27.01

А.Лукьянов*, Р.Фёдоров* / A.Lykyanov@tcen.ru, R.Fedorov@tcen.ru
A.Lykyanov*, R.Fedorov*

Рассматриваются особенности проектирования микросхем гальванической развязки. На основе унифицированной библиотеки ячеек серии базовых кристаллов 5521 показана разработка микросхемы двухканальной трансформаторной гальванической развязки, приводится описание основных функциональных блоков и принципов работы.

This paper presents the features of the galvanic isolation circuit design. It shows the development of a dual-channel transformer galvanic isolation circuit and describes the main functional units and the principles of their operation on the basis of the unified cell library of 5521 gate array family.

В настоящее время при разработке систем передачи сигналов управления, приема данных измерительного и медицинского оборудования инженеры сталкиваются с необходимостью использования гальванической развязки, которая позволяет осуществить передачу энергии между электрическими цепями без электрического контакта.

Гальваническая развязка позволяет решить следующие задачи:

- защитить оборудование и людей от поражения электрическим током;

- повысить помехоустойчивость систем;
- осуществить сопряжение электрических цепей с разными питающими напряжениями.

Наиболее широкое распространение получили три основных метода реализации гальванической развязки [1]:

- оптический;
- емкостной;
- трансформаторный.

В основе оптической гальванической развязки (оптрона) лежит принцип передачи информации через изолирующий барьер световым потоком с помощью светодиодов и фотоприемников. Пример конструкции оптрона приведен на рис.1.

Оптическая гальваническая развязка имеет большое напряжение изоляции (до 7000 В) и высокую устойчивость к воздействию синфазных помех между входом и выходом (около 15 кВ/мкс). Верхняя рабочая частота оптронов, оптимизированных под высокочастотную передачу цифровых сигналов, достигает нескольких десятков МГц, например 100 Мбит/с в микросхеме HCPL-090J-000E фирмы Avago Technologies. Оптоны устойчивы к электрическим и магнитным полям. Недостатками оптронов являются высокая рассеиваемая мощность (150–200 мВт на канал), относительно низкая скорость передачи, деградация структуры светодиодов с течением времени. При изготовлении светодиодов используются материалы (GaAs), которые не позволяют напря-

Рис.1. Пример конструкции оптрона

Fig.1. Example of design of optocoupler

* НПК "Технологический Центр" / SMC "Technological Centre".

мую интегрировать их в рамках одного технологического процесса с микроконтроллером или драйвером.

В основе емкостной гальванической развязки (рис.2) лежит принцип работы электрического конденсатора. Емкостные изоляторы блокируют постоянный ток с помощью диэлектрика между двумя проводниками. Переменное электрическое поле высокой частоты позволяет передать сигналы через диэлектрический барьер. К достоинствам емкостных гальванических развязок можно отнести высокую скорость передачи (например, 150 Мбит/с у микросхемы SI84xx фирмы Silicon Labs), низкую рассеиваемую мощность (примерно 30 мВт/канал), высокую устойчивость к воздействию синфазных помех между входом и выходом (около 25 кВ/мкс) и невосприимчивость к магнитным полям. Напряжение изоляции у емкостной гальванической развязки не превышает 4000 В. К особенностям емкостной гальванической развязки можно отнести технологическую сложность изготовления конструкции конденсаторов.

Трансформаторный метод обеспечивает развязку с помощью изоляции между двумя катушками индуктивности. Требуемый сигнал переменного тока передается через взаимную индуктивность обмоток трансформатора. Традиционные трансформаторы имеют большие размеры, но с увеличением частоты сигнала появляется возможность уменьшения их габаритов. Так поступила фирма Analog Devices в своих гальваниче-

Рис.2. Пример конструкции емкостной развязки

Fig.2. Example of a design of capacitive decoupling

ских развязках серии ADuM [2]. Развязка состоит из двух кристаллов, размещенных в одном корпусе. Кристаллы изготавливаются по обычной КМОП-технологии, на одном из кристаллов размещается трансформатор на полиимидных слоях, как показано на рис.3.

Трансформаторная развязка позволяет работать со скоростью до 100 Мбит/с. Напряжение изоляции достигает 4000 В. Из-за отсутствия магнитного сердечника развязка невосприимчива к постоянным магнитным полям,

Currently, the developers of transmission systems for control signals and data acquisition of measuring and medical equipment are faced with the necessity of the use of galvanic isolation, which enables the transfer of energy between circuits without an electrical contact.

The galvanic isolation allows to solve the following tasks:

- protection of equipment and people from electric shock;
- increasing the noise immunity of the system;
- coupling of electrical circuits with different supply voltages.

The most widespread are three main methods of galvanic isolation [1]:

- optical;
- capacitive;
- transformer.

The basis of optical galvanic isolation is the principle of information transfer across an isolation barrier by means of light flux using LEDs and photodetectors. Example of optocoupler design is shown in Fig.1.

Optical galvanic isolation (optocoupler) has a high isolation voltage (up to 7000 V) and a high resistance to common-mode interference between input and

output (about 15 kV/μs). The upper operating frequency of optocouplers, which are optimized for high frequency transmission of digital signals, reaches several tens MHz, for example 100 Mbit/s in the chip HCPL-090J-000E of Avago Technologies. Optocouplers are resistant to electrical and magnetic fields. The disadvantages of optocouplers are high power dissipation (150–200 mW per channel), the relatively low transfer rate, the degradation of LEDs over time. Materials (GaAs), used in the manufacture of LEDs, don't allow to integrate them directly within a single workflow

Рис. 3. Пример конструкции трансформаторной развязки фирмы AD

Fig. 3. Example of design of transformer decoupling designed by AD

а малый размер способствует низкой восприимчивости к переменным магнитным полям.

При реализации микросхемы трансформаторной гальванической развязки, выполненной на КМОП-технологии, можно использовать три основных принципа передачи информации:

- "установка/сброс";
- амплитудная модуляция;
- полярность импульсов.

Рис. 4. Схема передачи информации "установка/сброс" с двойным трансформатором

Fig. 4. Information transmission scheme "set/reset" with dual transformer

Схема передачи информации "установка/сброс" с двойным трансформатором приведена на рис. 4. Достоинством этой схемы является простота реализации, недостатком – большая занимаемая площадь на кристалле, поскольку для одного канала требуется два трансформатора.

with the microcontroller or driver.

The capacitive galvanic isolation (Fig. 2) is based on the working principle of an electrical capacitor. Capacitive isolators block DC current through the dielectric between the two conductors. The alternating electric field of high frequency allows to transmit signals through the dielectric barrier. The advantages of capacitive galvanic isolation include high transmission speed (for example, 150 Mbit/s in SI84xx chip of Silicon Labs) low power dissipation (about 30 mW/channel), high resistance

to common-mode interference between input and output (about 25 kV/μs) and immunity to magnetic fields. Isolation voltage of the capacitive galvanic isolation is not more than 4000 V. A feature of capacitive galvanic isolation is the technological complexity of manufacturing of capacitors.

The transformer design provides isolation by using the isolation between the two inductors. The required AC signal is transmitted through mutual inductance of the transformer windings. Traditional transformers are large in size, but with increasing signal frequency, the

possibility of reduction of their overall dimensions appears. This was done by Analog Devices in their galvanic isolations of ADuM family [2]. The isolation consists of two chips placed in a single package. The chips are made by conventional CMOS technology, a transformer on polyimide layers is placed on one of the chips, as shown in Fig. 3.

Transformer isolation allows to work at speeds up to 100 Mbps. Isolation voltage reaches 4000 V. Due to the lack of the magnetic core the isolation is immune to constant magnetic fields, and the small size contributes to low

Рис.5. Схема передачи информации при амплитудной модуляции

Fig.5. Information transmission in case of amplitude modulation

Схема передачи на основе амплитудной модуляции (рис.5) является несколько сложнее в реализации, но занимает меньшую площадь, поскольку использует один трансформатор.

В схеме передачи информации на основе полярных импульсов (рис.6) также используется один трансформатор. Достоинством этой схемы является низкая потребляемая мощность.

В рамках одного КМОП-технологического процесса возможно изготовление трансформаторной

Рис.6. Схема передачи информации на основе полярных импульсов

Fig.6. Information transmission scheme based on polar impulses

гальванической развязки и схемы управления на двух кристаллах. Это позволяет достичь значения напряжений изоляции порядка 4000 В и обеспечить устойчивость к воздействию синфазных помех между входом и выходом, на уровне 15 кВ/мкс.

В НПК "Технологический центр" на основе унифицированной библиотеки ячеек серии базовых кристаллов 5521 была разработана заказная микросхема двухканальной гальванической развязки.

sensitivity to alternating magnetic fields.

In the transformer galvanic isolation IC made by CMOS technology, it is possible to use the three main principles of information transfer:

- set/reset;
- amplitude modulation;
- polarity of pulses.

The information transmission scheme "set/reset" with dual transformer is shown in Fig.4. The advantage of this scheme is simplicity of implementation, the disadvantage is large footprint on the chip, since each channel requires two transformers.

Transmission scheme based on amplitude modulation (Fig.5) is somewhat more complicated to implement, but takes less space because it uses a single transformer.

The information transmission scheme based on polar pulses (Fig.6) also uses a single transformer. The advantage of this design is low power consumption.

In single CMOS workflow it is possible to manufacture transformer galvanic isolation and control circuitry on the two chips. This allows to achieve values of voltage isolation about 4000 V

and to provide resistance to common-mode interference between input and output (at the level of 15 kV/μs).

SMC "Technological Centre" have developed a custom microcircuit of dual-channel galvanic isolation on the basis of unified library of gate array cells of 5521 family. The microcircuit is manufactured by 0.18 μm radiation-resistant CMOS process on bulk silicon. Supply voltage is 3 V ± 10% or 3.3 V ± 10% [3, 4]. The microcircuit is made in the body 5123.28-1 in the form of microassembly of two chips: a transmitter and a receiver.

Рис.7. Структурная схема одного канала микросхемы трансформаторной гальванической развязки

Fig.7. Structural diagram of one channel of transformer galvanic isolation circuit

Микросхема изготавливается по радиационно-стойкой КМОП-технологии с нормами 0,18 мкм на объемном кремнии. Напряжение питания составляет $3\text{ В} \pm 10\%$ или $3,3\text{ В} \pm 10\%$ [3, 4]. Микросхема выполнена в корпусе 5123.28-1 в виде микросборки из двух кристаллов: передатчика и приемника.

При передаче информации используется амплитудная модуляция в связи с простотой ее реализации и высокой скоростью, около 100 Мбит/с. Структурная схема одного канала микросхемы трансформаторной гальванической развязки показана на рис.7. Передатчик содержит

Amplitude modulation is used to data transfer in connection with the simplicity of its implementation and high speed of about 100 Mbps. Structural diagram of one channel of the transformer galvanic isolation is shown in Fig.7. The transmitter contains an LC oscillator and two modulators. The receiver circuit includes two comparators, block of comparison levels formation for the comparators, combinational logic and the digital output driver.

LC oscillator generates for two modulators the carrier frequency of 800 MHz. The output signals of the modulators are a function of

multiplying the input signal and the carrier frequency, which is supplied to the modulators with phase shift of 180° . The signals from the modulators are transferred to primary winding of the first transformer.

The input of the receiver receives a signal from the secondary winding of the second transformer. Signal detection is carried out using high frequency comparators and combinational logic circuit.

The transformers in the microcircuits of receiver and transmitter are placed in the upper layers of metallization (Fig.8). To increase the isolation voltage, two

transformers are used in a single channel, which are connected in series with wire conductors. The substrates of the transmitter and receiver circuits are isolated from each other.

The main parameters of the galvanic isolation circuit developed in the SMC "Technological Centre" are presented in the table in comparison with ADUM1100 chip of Analog Devices. ■

This paper was created with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state order 8.537.2016/БЧ.

Сравнение характеристик микросхем

Comparison of characteristics of circuits

Параметр Characteristic	Analog Devices ADUM1100	Микросхема НПК ТЦ SMC TC circuit
Скорость передачи данных, Мбит/с Data transmission speed, Mbit/s	До 100	До 200
Ток потребления на канал, мА Current consumption per channel, mA	16	15
Напряжения питания, В Supply voltage, V	3,0–5,5	2,7–3,6
Задержка распространения, нс Propagation delay, ns	28	4,7
Количество каналов Number of channels	1	2
Напряжение изоляции, В Isolation voltage, V	4 000	4 000

Рис.8. Топология микросборки двухканальной трансформаторной гальванической развязки, разработанной в НПК "Технологический центр"

Fig.8. Topology of microassembly of dual channel transformer galvanic isolation developed in SMC "Technological Centre"

LC-генератор и два модулятора. Схема приемника включает два компаратора, блок формирования уровней сравнения для компараторов, комбинационную логику и выходной цифровой драйвер.

LC-генератор формирует для двух модуляторов несущую частоту 800 МГц. Выходные сигналы модуляторов являются функцией умножения входного сигнала и несущей частоты, которая подается на модуляторы со сдвигом по фазе 180°. Сигналы с модуляторов поступают на первичную обмотку первого трансформатора.

На вход приемника поступает сигнал со вторичной обмотки второго трансформатора. Детектирование сигнала осуществляется с помощью высокочастотных компараторов и схемы на комбинационной логике.

Трансформаторы в микросхемах приемника и передатчика выполнены в верхних слоях металлизации (рис.8). Для увеличения значения напряжения изоляции в одном канале используется два трансформатора, последовательно соединенные проводочными проводниками. Подложки микросхем передатчика и приемника при этом изолированы друг от друга.

В таблице указаны основные параметры разработанной в НПК "Технологический центр" микросхемы гальванической развязки в сравнении с микросхемой-аналогом ADUM1100 фирмы Analog Devices.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания 8.537.2016/БЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cory Lynn Fandrich. An On-Chip Transformer-Based Digital Isolator System. University of Tennessee, Knoxville 2013.
2. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/MS-2234.pdf>
3. Коняхин В.В., Денисов А.Н., Федоров Р.А., Вильсон А.Л., Бражников С.С., Коновалов В.С., Малашевич Н.И., Росляков А.С. Микросхемы для аппаратуры космического назначения : Практическое пособие / Под общ.ред.Саурова А.Н. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. 388 с.
4. Гаврилов С.В., Денисов А.Н., Коняхин В.В., Малашевич Н.И., Федоров Р.А. Семейство серий базовых матричных кристаллов // Известия ВУЗов. Электроника. 2015. №5(101). С. 497–504.