

УДК [621.314.6+621.375.4]:681.586.788:620.1.051

*Шульгін О.Л., Лосіхін Д.А.***ЗАСТОСУВАННЯ ДВОПІВПЕРІОДНОГО ПІДСИЛЮЮЧОГО ВИПРЯМЛЯЧА НАПРУГИ БЕЗ ДІОДІВ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ У АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗРИВНІЙ МАШИНІ****ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

У статті розглянуто проблему перетворення вимірювального сигналу диференційного трансформаторного перетворювача універсальних випробувальних машин для подальшої обробки мікропроцесорним контролером. Для автоматизації процесу випробувань необхідно збирати, обробляти та передавати вимірювані дані до автоматизованого робочого місця за допомогою мікропроцесорного контролера. Через те, що зазвичай на вторинних обмотках диференційних трансформаторних перетворювачів утворюється змінна напруга дуже малої величини, такий вимірювальний сигнал неможливо обробити за допомогою сучасних мікропроцесорних контролерів без перетворення. Оскільки аналого-цифровий перетворювач мікропроцесорного контролера не може працювати зі змінною напругою, виникає необхідність випрямлення та підсилення вимірювального сигналу. Для низької напруги (менше 0,6 В) використання звичайних резисторно-діодних випрямлячів стає неможливим і з'являється необхідність застосування інших способів випрямлення змінного електричного струму. Запропоновано використання двопівперіодних активних випрямлячів без діодів на операційних підсилювачах для перетворення вимірювального сигналу диференційних трансформаторних перетворювачів, розглянуто основні недоліки діодних випрямлячів і переваги випрямлячів на операційних підсилювачах. Найбільшою перевагою випрямляча, запропонованого для використання у автоматизованій системі випробувань, є здатність одночасно випрямляти та підсилювати вимірювальний сигнал з необхідною точністю, що дозволяє обробити його за допомогою більшості сучасних мікропроцесорних контролерів. Вперше було розроблено автоматизовану систему випробувань на розривній машині з використанням двопівперіодного активного випрямляча напруги на операційних підсилювачах без використання діодів. Схема, наведена в статті, дозволяє перетворити сигнал диференційного трансформаторного перетворювача для подальшого оброблення за допомогою мікроконтролерної платформи Arduino. Активний двопівперіодний підсилюючий випрямляч напруги без діодів на операційних підсилювачах може бути використаний для модернізації випробувальної або вимірювальної техніки, що містить диференційний трансформаторний перетворювач вимірювального сигналу. Розроблену схему випрямляча було застосовано для автоматизації процесу випробувань на розривній машині моделі P-0,5.

Ключові слова: диференційний трансформаторний перетворювач, операційний підсилювач, випрямляч, перетворювач вимірювального сигналу, розривна машина, автоматизована система випробувань.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-70-74***Постановка проблеми***

Під час проектування й розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів механізмів, машин і споруд треба знати властивості матеріалів. Тому матеріали випробують на розтягання, стискання, зсув, кручення, згинання та твердість. Одним з основних видів випробувань матеріалів є випробування на розтяган-

ності матеріалів. Тому матеріали випробують на розтягання, стискання, зсув, кручення, згинання та твердість. Одним з основних видів випробувань матеріалів є випробування на розтяган-

ня, оскільки при цьому виявляються найважливіші їх властивості. Для випробувань на розтягання використовують розривні машини, що дають змогу в процесі випробування визначити зусилля та відповідні до них деформації зразка. На основі даних, отриманих в результаті випробування, будують діаграму розтягання. Характер діаграми залежить від властивостей випробуваного матеріалу [1]. Для вимірювання значення сили, прикладеної до зразка у розривних машинах використовуються маятникові, торсіонні або електричні силовимірювачі. Маятниковий силовимірювач визначає силу, прикладену до зразка за кутом відхилення маятника, торсіонний – за кутом закручення торсіону, електричний – за електричним опором тензодатчика [2]. Найбільш поширеними з них є маятникові та торсіонні силовимірювачі. Для перетворення значення кута відхилення маятника або кута закручення торсіону в електричний сигнал зазвичай застосовують диференційні трансформаторні перетворювачі. Щоб визначити значення сили, прикладеної до зразка, необхідно точно виміряти значення напруги на одній з вихідних обмоток диференційного трансформаторного перетворювача розривної машини. Відомо, що на виході трансформатора завжди змінний електричний струм, а більшість програмованих логічних контролерів можуть працювати тільки з постійним струмом. Тому необхідно застосувати випрямляч змінного струму, щоб мати можливість обробки вимірювального сигналу за допомогою мікропроцесорного контролера. Дослідним шляхом було визначено, що значення вихідної напруги диференційного трансформаторного перетворювача розривної машини P-0,5 змінюється в діапазоні приблизно від 370 до 800 мВ. Для випрямлення змінного струму такої малої напруги неможливо використовувати діоди. Звичайні резисторно-діодні випрямлячі незадовільно працюють при випрямленні напруг, менших за 0,6 В для кремнієвих та 0,4 В для германієвих діодів, оскільки неможливо виключити вплив прямого падіння напруги на діоді. Навіть діоди Шотки, що мають невеликий опір і високу швидкодію, не зможуть випрямити таку малу напругу з невеликою похибкою. Нелінійність вольт-амперної характеристики діодів є найбільшим недоліком випрямлячів на діодах, що не дозволяє використовувати такі схеми для вимірювальної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для точного вимірювання змінної напруги малої величини, коли використання діодів стає

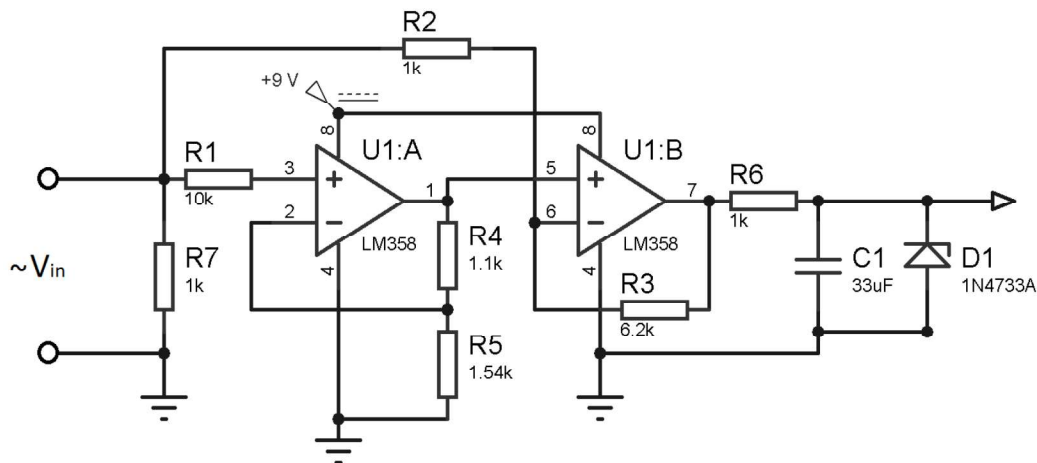
неможливим, використовують випрямлячі на операційних підсилювачах [3–7]. Застосування операційних підсилювачів дозволяє в значній мірі послабити вплив реальних характеристик діодів. У багатьох вимірювальних схемах необхідно виділення або складових тільки однієї полярності (однопівперіодне випрямлення), або визначення абсолютного значення сигналу (двопівперіодне випрямлення). У вимірювальній техніці найчастіше використовують саме двопівперіодне випрямлення. Більшість існуючих схем випрямлячів напруги на основі операційних підсилювачів містять у своїй схемі діоди [3–7]. Такі схеми є найбільш відомими та широко застосовуються у вимірювальній техніці. Але випрямляч на основі операційних підсилювачів може працювати і без діодів [8]. Такі схеми не отримали широкого застосування і раніше не використовувалися у випробувальній техніці. Вперше двопівперіодний активний випрямляч без діодів застосовано для перетворення вимірювального сигналу диференційного трансформаторного датчика розривної машини для подальшого оброблення мікропроцесорним контролером.

Постановка завдання

Задача автоматизації процесу випробувань матеріалів на розтягання полягає в тому, що вимірювальні сигнали з розривної машини мають передаватися до автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора, де автоматично має будуватись діаграма розтягання та відображатись інші вимірювані параметри, такі як температура навколишнього середовища та швидкість розтягання. Для вимірювання значення сили, прикладеної до зразка необхідно точно виміряти значення напруги на вторинній обмотці диференційного трансформаторного датчика. Оскільки вимірювальний сигнал диференційного трансформаторного датчика розривної машини має малу величину його необхідно випрямляти та підсилити за допомогою схеми на основі операційних підсилювачів. Для обробки вимірювального сигналу може бути застосовано мікроконтролерну платформу Arduino.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для вирішення проблеми випрямлення та підсилення вимірювального сигналу диференційного трансформаторного датчика розривної машини було застосовано двопівперіодний підсилюючий випрямляч на операційних підсилювачах без використання діодів. Для такого випрямляча необхідно застосувати два операційних підсилювача. Придатною для цього є мікросхема LM358, оскільки вона є найбільш



Принципова схема двопівперіодного підсилюючого випрямляча без діодів на операційних підсилювачах.

поширеною та недорогою мікросхемою, що складається з двох операційних підсилювачів, а також відрізняється низьким енергоспоживанням, можливістю працювати в схемах з однополярним живленням від 3 до 32 Вольт та наявністю захисту від короткого замикання. Коефіцієнт підсилення встановлюється дільниками напруги. Розроблену схему випрямляча напруги для диференційного трансформаторного перетворювача універсальної розривної машини наведено на рисунку.

Для нормальної роботи схема має живитися від напруги 9÷32 В, оскільки максимально можливе значення напруги на виході операційного підсилювача LM358 на 1,5 В менше за напругу живлення. Отже, при використанні напруги живлення 9 В, максимально можлива напруга на виході підсилювача буде дорівнювати 7,5 В. На схемі до V_{in} приєднується вихідна обмотка диференційного трансформаторного датчика. Резистор R1 має бути номіналом не менше 10 кОм. Резистор R7 номіналом 1 кОм необхідний для того, щоб за відсутності сигналу на вихідній обмотці диференційного трансформаторного датчика, на виході підсилювача не було максимально можливої напруги (близько 7,5 В при напрузі живлення підсилювача 9 В), яка може сприйматися мікропроцесорним контролером як надвисоке значення вимірюваної величини. Резистори R2 та R3 визначають коефіцієнт підсилення (K) за формулою 1 [8]. Номінали резисторів R4 та R5 обирають виходячи з виразу 2 [8]:

$$K = \frac{R3}{R2}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт підсилення; R2, R3 – опори резисторів дільника другого підсилювача.

$$\frac{R4}{R5} = \frac{K-1}{K+1}, \quad (2)$$

де R4, R5 – опори резисторів дільника першого підсилювача.

У випадку, наведеному на рисунку, коефіцієнт підсилення дорівнює 6,2, тобто випрямлена напруга на виході підсилювача буде у 6,2 разів більша, ніж змінна на вході. На виході другого операційного підсилювача встановлено RC-фільтр для згладжування можливих пульсацій. Після RC-фільтра встановлено стабілітрон з номінальною напругою 5,1 В для того, щоб у випадку виходу з ладу схеми або значного перевищення максимально допустимого навантаження розривної машини, не пошкодити аналоговий вхід плати Arduino.

Висновки

Для обробки вимірювального сигналу малої (менше 0,6 В) змінної напруги можна використовувати двопівперіодний активний випрямляч на операційних підсилювачах без діодів, який дозволяє випрямляти та підсилювати вимірювальний сигнал для подальшого оброблення за допомогою мікропроцесорного контролеру. До схеми випрямляча, розглянутого у [8], було додано RC-фільтр для зменшення пульсацій вихідного сигналу та стабілітрон для можливості безпечної взаємодії з мікроконтролерною платформою Arduino. Розроблену схему було застосовано для розробки автоматизованої системи випробувань на розривній машині P-0,5.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів: Підручник / За ред. Г.С. Писаренка. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 655 с. іл. — ISBN 966-642-056-2.
2. Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. Ключева В.В.. — М.: Машиностроение, 1982. — Кн. 2. — 1982. — 560 с.
3. Джонс М.Х. Электроника — практический курс. — М.: Техносфера, 2006. — 512 с. ISBN 5-94836-086-5.
4. Шустов М.А. Схемотехника. 500 устройств на аналоговых микросхемах. — СПб.: Наука и Техника, 2013. — 352 с. ISBN 978-5-94387-809-1.
5. Bruce Carter, Ron Mancini. Op Amps for Everyone — Elsevier Inc., 2017. — 484 p. — ISBN 978-0-12-811648-7.
6. James M. Fiore. Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application — James M. Fiore via dissidents, Utica NY, USA, 2019 — 3 edition — 589 p.
7. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. — 528 с. ISBN 5-74120-074-9
8. Anthony H. Smith. Двухполупериодный активный выпрямитель без диодов [Электронный ресурс]: / Anthony H. Smith // Журнал РадиоЛоцман — Электрон. дані. Режим доступу: <https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=56324> — Назва з екрана. — Дата публікації 12.08.2009. — Дата перегляду 21.05.2019.
9. Машина разрывная модели P-0,5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Иваново 1975.: Завод измерительных приборов (ЗИП).

Надійшла в редакцію 08.11.2019

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО УСИЛИВАЮЩЕГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ БЕЗ ДИОДОВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ИСПЫТАНИЙ НА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ

Шульгин А.Л., Лосихин Д.А.

В статье рассмотрена проблема преобразования измерительного сигнала дифференциального трансформаторного преобразователя универсальных испытательных машин для дальнейшей обработки микропроцессорным контроллером. Для автоматизации процесса испытаний необходимо собирать, обрабатывать и передавать измеряемые данные на автоматизированное рабочее место с помощью микропроцессорного контроллера. Так как обычно на вторичных обмотках дифференциальных трансформаторных преобразователей образуется переменное напряжение очень малой величины, такой измерительный сигнал невозможно обработать с помощью современных микропроцессорных контроллеров без преобразования. Поскольку аналого-цифровой преобразователь микропроцессорного контроллера не может работать с переменным напряжением, возникает необходимость выпрямления и усиления измерительного сигнала. Для низкого напряжения (менее 0,6 В) использование обычных резисторно-диодных выпрямителей становится невозможным и возникает необходимость применения других способов выпрямления переменного электрического тока. Предложено использование двухполупериодных активных выпрямителей без диодов на операционных усилителях для преобразования измерительного сигнала дифференциальных трансформаторных преобразователей, рассмотрены основные недостатки диодных выпрямителей и преимущества выпрямителей на операционных усилителях. Наибольшим преимуществом выпрямителя, предложенного для использования в автоматизированной системе испытаний, является способность одновременно выпрямлять и усиливать измерительный сигнал с необходимой точностью, что позволяет обработать его с помощью большинства современных микропроцессорных контроллеров. Впервые разработана автоматизированная система испытаний на разрывной машине с использованием двухполупериодного активного выпрямителя напряжения на операционных усилителях без использования диодов. Схема, приведенная в статье, позволяет преобразовать сигнал дифференциального трансформаторного преобразователя для дальнейшей обработки с помощью микроконтроллерной платформы Arduino. Активный двухполупериодный усиливающий выпрямитель напряжения без диодов на операционных усилителях может быть использован для модернизации испытательной или измерительной техники, содержащей дифференциальный трансформаторный преобразователь измерительного сигнала. Разработанная схема выпрямителя была применена для автоматизации процесса испытаний на разрывной машине модели P-0,5.

Ключевые слова: дифференциальный трансформаторный преобразователь, операционный усилитель, выпрямитель, преобразователь измерительного сигнала, разрывная машина, автоматизированная система испытаний.

THE USE OF A FULL-WAVE AMPLIFYING RECTIFIER WITHOUT DIODES ON OPERATIONAL AMPLIFIERS IN AN AUTOMATED TESTING SYSTEM ON A TENSILE TESTING MACHINE

Shulhin A.L., Losikhin D.A.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The article discusses the problem of transformation of measuring signal of differential transformer converter of universal testing machines for further processing by microprocessor controller. In order to automate the testing process, it is necessary to collect, process and transmit the measured data to an automated workplace using a microprocessor controller. Due to the fact that usually the secondary windings of the differential transformer converters produce an alternating voltage of very small magnitude, such a measurement signal cannot be processed with the help of modern microprocessor controllers without conversion. Since the analog-to-digital converter of the microprocessor controller cannot operate with alternating voltage, it becomes necessary to rectify and amplify the measuring signal. For low voltages (less than 0.6 V), the use of conventional resistor-diode rectifiers becomes impossible and there is a need for other methods of rectifying alternating current. It is proposed to use full-wave active rectifiers without diodes on operational amplifiers for conversion of the measuring signal of differential transformer converters, the main disadvantages of diode rectifiers and advantages of rectifiers on operational amplifiers are considered. The biggest advantage of a rectifier proposed for use in an automated testing system is the ability to simultaneously rectify and amplify the measurement signal with the required precision, allowing it to be processed by most modern microprocessor controllers. For the first time, an automated testing system on a tensile machine was developed using an active full-wave voltage rectifier on operational amplifiers without the use of diodes. The circuit shown in the article makes it possible to convert the signal of a differential transformer converter for further processing using the Arduino microcontroller platform. An amplifying active full-wave voltage rectifier without diodes on operational amplifiers can be used to modernize testing or measurement equipment containing a differential transformer transducer of a measuring signal. The developed electrical circuit of the rectifier was applied to automate the process of testing on the breaking machine of model P-0.5.

Keywords: differential transformer converter, operational amplifier, rectifier, measuring signal converter, tensile testing machine, automated test system.

REFERENCES

1. Pysarenko H.S., Kvitka O.L., Umanskyi E.S. *Opir materialiv: Pidruchnyk* [Strength of materials: Tutorial]. Kyiv, Vyscha shc., 2004, 655 p. (in Ukrainian).
2. Klyuev V.V. *Ispytatel'naya tekhnika: Spravochnik. V 2-h Kn.* [Test equipment: Directory. In 2 books]. Moscow, Mashinostroenie, 1982, vol. 2, 560 p. (in Russian).
3. Jones M.H. *Elektronika – prakticheskij kurs*. [A practical introduction to electronic circuits]. Moscow, Tekhnosfera, 2006, 512 p. ISBN 5-94836-086-5 (in Russian).
4. Shustov M.A. *Skhemitekhnika. 500 ustrojstv na analogovyh mikroskhemah*. [Shustov M. A. 500 devices on analog microcircuits]. Saint-Petersburg, Nauka i Tekhnika, 2013, 352 p. ISBN 978-5-94387-809-1 (in Russian).
5. Bruce Carter, Ron Mancini. *Op Amps for Everyone*, Elsevier Inc., 2017, 484 p. ISBN 978-0-12-811648-7.
6. James M. Fiore. *Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application*, James M. Fiore via disidents, Utica NY, USA, 2019, 3 edition, 589 p.
7. Volovich G.I. *Skhemitekhnika analogovyh i analogo-cifrovyyh elektronnyh ustrojstv*. [Circuitry of analog and analog-to-digital electronic devices]. Moscow, Publishing House «Dodeca-XXI», 2005, 528 p. ISBN 5-74120-074-9 (in Russian).
8. Antony H. Smith. *Dvuhpoluperiodnyj aktivnyj vypyramitel bez diodov* [Full-Wave Active Rectifier Requires No Diodes] Available at: <https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=56324> (Accessed 21 May 2019). (in Russian).
9. *Mashina razryvnaya modeli R-0,5. Tekhnicheskoe opisaniye i instrukciya po ekspluatatsii*. [Tensile machine model R-0.5. Technical description and instruction manual]. Ivanovo, Zavod izmeritelnyh priborov (ZIP), 1975, 38 p. (in Russian).