

УДК 621.317

В. Кочан¹, канд. техн. наук; В. Яскілка²; О. Кочан¹, канд. техн. наук

¹Тернопільський національний економічний університет

²Тернопільський національний технічний університет

ПОДАВЛЕННЯ ЗАВАД ЗАГАЛЬНОГО ВИДУ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛАХ

Резюме. У вимірювальних каналах виникають два види завад: (i) нормального виду (викликані електромагнітним полем); (ii) загального виду (викликані різницею потенціалів сенсора та вимірювального каналу). Тому необхідне подавлення завади загального виду. Основним методом подавлення є гальванічна розв'язка з допомогою імпульсних трансформаторів або оптронів, а також розділення обмоток трансформатора живлення. Таким чином, цей метод вимагає значних затрат на реалізацію. Простішим є пристрій, де сенсор з допомогою першої пари ключів періодично підключається до конденсатора, а потім конденсатор другою парою ключів підключається до входу вимірювального каналу. Обидві пари ключів ніколи не замкнені одночасно, чим досягається гальванічна розв'язка. Головним недоліком пристрою є значний вплив на результат вимірювання завад нормального виду. Суть запропонованого рішення полягає в тому, що на місце конденсатора вміщують вимірювальну частину в цілому. Вона має автономне живлення від акумулятора або конденсатора. Перший ключ (комутатор) підключає датчик до входу вимірювальної частини. Другий ключ підзаряджає джерело автономного живлення від звичайного заземленого блока живлення. Пристрій керування ключами працює так, щоби перший і другий ключі не були ввімкнені одночасно.

Ключові слова: завади загального виду, подавлення завад, гальванічна розв'язка, розділення обмоток трансформатора живлення.

V. Kochan, V. Yaskilka, O. Kochan

COMMON MODE NOISE REJECTION IN MEASUREMENT CHANNELS

Summary. Two kinds of noises appear in the measurement channels [1 – 3]: (i) the normal mode noise (caused by electromagnetic field); (ii) the common mode noise (caused by an electric potential difference between the sensor and the measurement channel). For instance while measuring temperature, small resistance of insulation (3...10 k Ω at 1000°C [4]) creates an error up to 380 mV, if a furnace is supplied by the 220V network and thermocouple resistance is 20 Ω . Thermo electromotive force of K type thermocouples at 1000°C is about 40 mV. That is why the sufficient common mode noise rejection is required.

The most often common mode noise is rejected by the galvanic separation [2 – 6] using either pulse transformer [6] or optocouplers [2 – 5] as well as separation of transformer winding. So, the galvanic separation method requires much additional expenses.

The device presented in [5] (page 2151, Fig 80.9) is much simpler. A sensor is periodically connected to a capacitor by the first couple of switches of a switchboard. Then the capacitor is connected to the input of the measurement channel by the second couple of switches. Both couples of switches are never switched simultaneously, which results in the galvanic separation. But the device mentioned in [5] is not widely used mainly due to the considerable effect of normal noise.

The main idea of the proposed solution is that the “flying” capacitor is replaced by the measurement channel. It is supplied by an autonomous battery. Its capacity makes possible to provide proper operation of the measurement channel during at least one measuring cycle. The first switch (switchboard) connects sensors to the input of the measurement channel. The second one charges an autonomous battery. The microcontroller of keys controls the operation so that the first and the second keys were not switched on simultaneously.

The proposed solution results in sufficient common mode noise rejection. The gain of proposed solution is due to application of cheaper non-shielded transformers.

Key words. Common mode noise, common mode noise rejection, galvanic separation, separation of transformer winding.

Вступ. У вимірювальних колах багатьох вимірювальних каналів виникають різні завади, що спотворюють результати вимірювання. Особливо це стосується вимірювальних кіл приладів і систем вимірювання неелектричних величин з допомогою різноманітних давачів, які мають малу чутливість. Наприклад, найбільш уживані давачі температури, термопари мають чутливість від 10 до 70 мкВ/°С і працюють при високій температурі, де опір ізоляції знижений, в умовах дії інтенсивних електромагнітних полів, викликаних нагрівачами електропечей. Відомі методи боротьби із впливом завад на результати вимірювання вимагають значних затрат, тому їх спрощення є актуальною науково-технічною задачею.

Постановка задачі. При вимірюванні температури термопарами завади поділяють на два види [1 – 3]:

1. Нормального виду (або паралельні), викликані (наведені) електромагнітним полем, що створюють струми різноманітних споживачів.
2. Загального виду (або послідовні), викликані різницею потенціалів первинного вимірювального перетворювача (давача, сенсора) та рештою ланок вимірювального каналу.

При вимірюванні температури в електропечах опору (один з найпоширеніших видів вимірювань) виникають завади обох видів (рис. 1). Завади нормального виду викликає струм нагрівача печі, що створює електромагнітний потік Φ і наводить у колі термопари ТП синусоїдальну заваду e , яка накладається на термо-е.р.с. E . Причиною завад загального виду є малий опір ізоляційних матеріалів при високій температурі – наприклад, опір ізоляції шамоту, який часто використовується в електропечах опору, не перевищує 3...10 кОм при 1000°С [4].

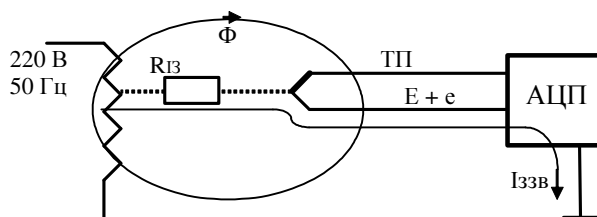


Рисунок 1. Виникнення завад нормального та загального виду

Figure 1. The emergence of noise normal and common modes

Завади суттєво обмежують точність вимірювання температури. Наприклад, за даними [4] рівень завад у гартувальних печах СУОЛ для термопар типу хромель-алюмель (типове промислове обладнання) становить: (i) для завад нормального виду – до 3 мВ завади частотою 50 Гц, що відповідає максимальній похибці вимірювання температури 75°С; (ii) для завад загального виду – до 190 В завади частотою 50 Гц.

При підключенні вторинного вимірювального перетворювача завада загального виду викличе спад напруги на опорі проводів сполучення та елементів вимірювального кола. Якщо вимірювальний прилад заземлений, то струм завади при її напрузі 190 В та опорі ізоляції 10 кОм, за законом Ома, становитиме 19 мА. При опорі вимірювального кола 20 Ом (типовий опір термопари та подовжувальних проводів) спад напруги на ньому буде 380 мВ. Термо-е.р.с. термопар типу хромель-алюмель при 1000°С становить приблизно 40 мВ. Звідси зрозуміло, що абсолютно необхідно суттєво зменшити вплив завади загального виду на результат вимірювання температури.

Відомі методи зменшення впливу завад загального виду. Основним методом зменшення впливу завад загального виду на результат вимірювання є гальванічна розв'язка [2 – 6]. Її найчастіше використовують у вимірювальних каналах цифрових вимірювальних приладів і систем. При її реалізації аналогова (саме вимірювальна)

частина вимірювального каналу залишається незаземленою (вимоги техніки безпеки виконуються в даному випадку за рахунок такої її конструкції, яка не дає змоги користувачу потрапити під дію високої напруги). Цифрова частина, що реалізує обробку і видачу (представлення) результату вимірювання, виконується заземленою. Передавання інформації між аналоговою та цифровою частинами здійснюється неелектричним шляхом. Відомі вимірювальні канали [2 – 6] використовують зв'язок через магнітне поле, з допомогою імпульсних трансформаторів [6] або через оптичний сигнал [2 – 5], з допомогою оптоелектронних пристроїв. Найчастіше використовують оптопари (оптрони) світлодіод-фотодіод або світлодіод-фототранзистор. У такому випадку шлях струму завади загального виду переривається – між потенціалом вимірювального кола та вимірювальної частини приладу з'являється ізоляційний проміжок.

Однак струм завади загального виду не зменшується до нуля [3, 4]. Він визначається опором ізоляції між аналоговою та заземленою частинами вимірювального каналу, а також ємністю між ними (для завад змінного струму). Опір ізоляції зазвичай збільшують, використовуючи фторопластові ізоляційні прокладки. Ємність між аналоговою та заземленою частинами в основному визначається прохідною ємністю трансформатора живлення, яка для звичайних силових трансформаторів досягає 400...700 пФ [4]. Для її зменшення використовують екранування і розділення обмоток силового [3, 4] та імпульсних [6] трансформаторів (що різко ускладнює їх конструкцію), або живлення аналогової частини через високочастотний перетворювач [2, 5] (що збільшує рівень імпульсних завад у вимірювальному каналі, а значить вимагає додаткового екранування). Часом використовують два трансформатори, як це, наприклад, зроблено в аналого-цифровому перетворювачі Ф4881. Таким чином, хоча метод гальванічної розв'язки дає добрі результати, його використання вимагає значних затрат на реалізацію.

Простішим у реалізації є пристрій, описаний в [5] (стор. 2151, фіг. 80.9), де використовується періодичний заряд підключеного до давача з допомогою пари ключів конденсатора і його перемикання з допомогою іншої пари ключів до входу вимірювального приладу. Таким чином, конденсатор «літає» між давачем і входом приладу, а обидві пари ключів ніколи не є замкнені одночасно, чим досягається гальванічна розв'язка.

Однак пристрій [5] мало розповсюджений через його очевидні недоліки. Значний рівень завад загального виду в електропечах (як було показано в [3, 4], він досягає сотень Вольт) вимагає використання контактних ключів перемикання конденсатора, тобто електромагнітних реле. Тому частота перемикання не може перевищувати 100 Гц. Через це необхідно використати конденсатори великої ємності, інакше розряд конденсатора за час підключення до входу приладу призведе до великої похибки. Використати малогабаритні електролітичні конденсатори, через малий опір ізоляції, значні паразитні е.р.с. [7] та абсорбцію, не можна. Тому габарити вимірювальної частини при реалізації цього способу будуть досить великими, а надійність – низька через наявність контактів реле, які перемикаються з високою (для реле) частотою. Однак головним недоліком пристрою [5] є значний вплив завад нормального виду на результат вимірювання. Адже «літаючий» конденсатор є своєрідним пристроєм вибірки-запам'ятовування – на конденсаторі запам'ятовуються миттєві значення вихідної напруги давача, тому всі заходи, використані у вимірювальному приладі для подавлення завад нормального виду (інтегрування, усереднення), виявляються неідеальними. Тому пристрій [5] на практиці широко не застосовується.

Метою даної статті є розроблення простого вузла гальванічної розв'язки, який забезпечує живлення вимірювальної частини, а також має великий опір ізоляції та малу

прохідну ємність, тобто високу стійкість щодо завад загального, а також нормального виду.

Подавлення завад загального виду шляхом автономного живлення. Суть запропонованого технічного рішення полягає в тому, що на місце «літаючого» конденсатора вміщують вимірювальну частину в цілому, оснащену джерелом автономного живлення (акумулятором або конденсатором великої ємності), яке дає змогу працювати цій вимірювальній частині протягом хоча б одного вимірювання. При цьому ключ між давачем і конденсатором виконують як багатоканальний комутатор, що підключає давачі до входу вимірювальної частини, а ключ між конденсатором і входом вимірювальної частини служить для підзаряду джерела автономного живлення від заземленого блока живлення. Пристрій керування ключами працює таким чином, щоби ні комутатор, ані ключ підзаряду джерела автономного живлення не були ввімкнені одночасно. Тоді ніколи не виникає ситуації, при якій давач підключений до заземленої частини схеми – гальванічна розв'язка функціонує.

На рис. 2 зображено структурну схему запропонованого вимірювального каналу (на прикладі вимірювального каналу температури з допомогою термоелектричного перетворювача), який забезпечує гальванічну розв'язку по живленню без використання спеціального екранованого трансформатора. До складу вимірювального каналу входять термоелектричний перетворювач ТП, багатоканальний комутатор КМ (канали, до яких підключаються інші термоелектричні перетворювачі, аналогічні до показаного), аналого-цифровий перетворювач АЦП, пристрій керування ПК, інтерфейс ІФ обміну даними (з гальванічною розв'язкою, наприклад, на оптронах) і блок опрацювання результатів аналого-цифрового перетворення БО. До складу вимірювального каналу також входять блоки живлення вимірювальної частини БЖВЧ та мережевий МБЖ, аналізатор напруги АН на вході БЖВЧ, ключ КЛ та двоконтактне реле. Крім того, на рис. 2 представлено також опір ізоляції R_{i3} термоелектричного перетворювача ТП відносно нагрівача, що живиться від мережі, та конденсатор С (або акумулятор) на вході БЖВЧ, який живить компоненти вимірювальної частини.

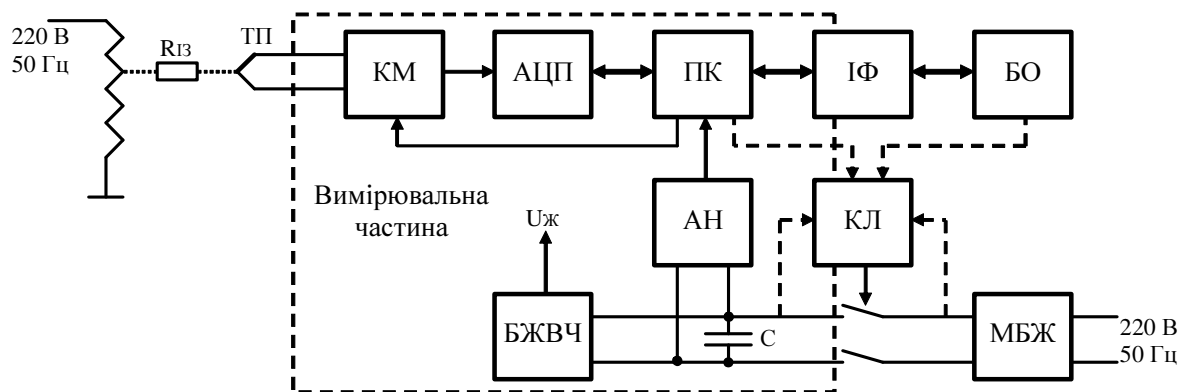


Рисунок 2. Структурна схема пристрою для вимірювання температури

Figure 2. The block diagram of a device for temperature measuring

Під час роботи АН аналізує напругу на вході БЖВЧ і, при критично низькому її значенні, при якому стабілізатори БЖВЧ можуть вийти з режиму стабілізації, перериває ПК. ПК, у свою чергу, перериває процес вимірювання (ігнорує результат поточного аналого-цифрового перетворення як непевний), вимикає всі реле КМ і з допомогою ключа КЛ вмикає реле підзаряду джерела на вході БЖВЧ (конденсатора або акумулятора С). Після закінчення підзаряду (потрібний час підзаряду формується,

наприклад, ПК) ПК вимикає ключ КЛ, реле відключає С від МБЖ і ПК ініціює повторне опитування каналу, результат перетворення по якому був проігнорований. Доцільно так вибрати часи заряду-розряду С, щоби критично низькі значення напруги на вході БЖВЧ наставали після закінчення чергового аналого-цифрового перетворення.

Реалізація пропонованого пристрою. Комутатор КМ доцільно виконати на базі герконових реле з додатковими термовирівнювачами [8] (для зменшення похибки комутації через паразитні термо-е.р.с. до значень менше 1 мкВ). Як АЦП та ПК доцільно використати мікроконвертор ADuC-834 [9] фірми Analog Devices (або аналогічний), 24-розрядний сигма-дельта АЦП якого на діапазонах, менших 80 мВ забезпечує рівень шумів менше 1 мкВ. У такому випадку ПК являє собою популярний 8-бітний мікроконтролер серії MCS51, здатний взяти на себе всі функції керування аналоговою частиною та попереднє опрацювання результатів аналого-цифрового перетворення. Як БО в такому випадку може теж бути використаний мікроконтролер серії MCS51, який, в основному, забезпечує зв'язок з користувачами вимірювальних даних. БЖВЧ доцільно виконати на сучасних інтегральних стабілізаторах, які мають мале самоспоживання. Аналізатор АН доцільно виконати на окремому компараторі, хоча його можна замінити додатковим каналом КМ (але тоді інформація про критично низький стан напруги на вході БЖВЧ буде надходити на ПК лише при опитуванні цього каналу). МБЖ можна використати стандартний, традиційний або імпульсний, що використовує неекранований трансформатор і має значну прохідну ємність.

Процес підзаряду С періодично повторюється і живлення вимірювальної частини не переривається. Співвідношення між часом заряду С і часом його розряду визначається співвідношенням між струмом заряду і струмом живлення вимірювальної частини (це співвідношення визначає також втрати часу вимірювання). При побудові вимірювальної частини на сучасній елементній базі її струм живлення, в основному, буде визначатися струмами реле комутатора, мікроконвертора і світлодіодів оптронів. Вимоги до реле комутатора визначаються допустимою напругою завади загального виду, тому можливе використання тільки електромагнітних реле [3]. Через те, що напруга завади загального виду може перевищувати 100 В, виконання КМ на напівпровідникових елементах неможливе. Необхідність зменшення паразитних термо-е.р.с. у контактах реле до рівня мікрвольт вимагає використання герконових реле з додатковими термовирівнювачами, наприклад, описаними в [3, 8, 10]. При використанні реле РГК-15 [11] їх максимальний струм споживання складає 40 мА. Струм світлодіодів не перевищує 5 мА [12], тому сумарне споживання вимірювальної частини можна оцінювати на 60 мА. Тоді конденсатор С ємністю 1000 мкФ за час 40...60 мілісекунд (типовий час перетворення АЦП двотактного інтегрування) розрядиться на 2,4...3,6 В, що цілком прийнятно. При заряді С струмом 0,4...0,6 А час заряду не буде перевищувати 10% часу розряду, тобто втрата швидкодії пристрою вимірювання температури не буде перевищувати 10%. При використанні прецизійних 24-розрядних сигма-дельта АЦП [9], час перетворення яких досягає однієї секунди, і реле РЭС-83 [13] (струм спрацювання 4 мА, сумарний струм споживання 10 мА), розряд конденсатора ємністю 4000 мкФ становитиме 2,5 В, що цілком прийнятно. В такому випадку, при 10% втраті швидкодії, струм заряду конденсатора не перевищує 100 мА.

При використанні як С акумулятора енергетичні співвідношення в схемі не змінюються. Перевагою такого варіанта є можливість проведення не одного, а цілої серії послідовних вимірювань, після чого заряду акумулятора протягом пропорційно більшого інтервалу часу, що дозволяє полегшити режим експлуатації реле і значно збільшити його термін служби.

У пропонованому пристрої можливі різні варіанти живлення ключа КЛ і обмотки реле (показані на рис. 2 штриховими лініями), що мають свої переваги. Перший варіант

(живлення КЛ і реле від конденсатора С) найпростіший в реалізації. Однак після вмикання пристрою необхідно живити обмотку реле для того, щоби вимірювальна частина почала працювати. Тому як С у першому варіанті необхідно використати акумулятор. Крім того, в ньому різко, на 30...60 мА, збільшується струм споживання вимірювальної частини, що вимагає відповідного збільшення ємності акумулятора С і, відповідно, струму або часу його заряду.

В другому варіанті коло живлення ключа КЛ і реле підключено до виходу мережевого блока живлення МБЖ. У цьому випадку струм розряду С суттєво зменшується і як С можна використати конденсатор. Однак схема ускладнюється необхідністю гальванічної розв'язки кола керування ключем КЛ, наприклад, з допомогою додаткового оптрона.

Найбільш вигідним є третій варіант, коли коло живлення ключа КЛ і реле підключено до виходу мережевого блока живлення МБЖ, а коло керування КЛ підключене до БО. Такий варіант можливий, коли як ПК використовується мікроконтролер. Тоді, при надходженні переривання від аналізатора АН, ПК формує відповідну команду та пересилає її через вже існуючий інтерфейс ІФ (що має вже гальванічну розв'язку) до БО, який вмикає ключ КЛ. Третій варіант щодо економії струму живлення вимірювальної частини відповідає другому, а щодо відсутності додаткового обладнання – першому.

Висновки. Економічний ефект пропонованої реалізації гальванічної розв'язки визначається суттєвим зниженням постійних затрат шляхом спрощення блоків живлення БЖВЧ, особливо МБЖ за рахунок побудови останнього на неекранованих серійних силових трансформаторах. При цьому ємність між контактами реле не перевищує кількох пікофарад, що забезпечує високий коефіцієнт подавлення завад загального виду на рівні кращих зразків екранованих трансформаторів. Необхідна доробка програмного забезпечення визначає лише разові затрати.

Виходячи з викладених переваг пропонованого технічного рішення, воно може знайти широке застосування як при побудові широко розповсюджених пристроїв і систем вимірювання, контролю і регулювання температури (слід відзначити, що температура, згідно з [14], є однією з найчастіше вимірюваних фізичних величин), так і при побудові вимірювальних пристроїв і систем іншого призначення, де необхідна гальванічна розв'язка при дії завади загального виду. При цьому, незважаючи на меншу вартість, такі системи можуть забезпечити подавлення завад загального виду на рівні кращих сучасних взірців.

Conclusions. The gain of the proposed solution is due to significant decreasing of constant manufacturing expenses. This decreasing is reached by simplification of power supply unit structure. Also it is possible to use non-shielded transformers. Such transformers are widely produced by industry. Capacity doesn't exceed few Pico Farads in such switches. This allows high quality common mode noise resection. To provide this, it is required to upgrade software but it is just one time expense.

Proposed solution can be used for design of measurement and control systems where it is required to use galvanic insulation. For instance in temperature measure systems as temperature is very often measured physical quantity. At the same time such devices provide high quality common mode noise decreasing despite to the less cost.

Список використаної літератури

1. Бурцев, Ю.И. Помехи при измерении температуры в электропечах сопротивления [Текст] / Ю.И. Бурцев, Я.А. Полищук, В.М. Эдемский. – Москва, Энергия, 1969. – 56 с.
2. Кончаловский, В.Ю. Цифровые измерительные устройства: учеб. пособие для вузов. / В.Ю. Кончаловский. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 355 с.
3. Kochan R. Development of the integrating analogue to digital converter for distributive data acquisition systems with improved noise immunity / R.Kochan, O.Berezky, A.Karachka, O.Bojko, I.Maruschak //

- IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. February 2002. – Number 1, Volume 51. – P. 96 – 101.
4. Масляк, Б.О. Підвищення завадостійкості засобів вимірювання температури в промислових умовах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.11.05 «Прилади та методи вимірювання електричних і магнітних величин»/ Б.О. Масляк; Київський політехнічний інститут, – Київ, 1994. – 20 с.
 5. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook (Second Edition) CRCnetBase 2007 [Електронний ресурс]. – режим доступу: <http://www.engnetbase.com>.
 6. Швецкий, Б.И. Электронные цифровые приборы [Текст] / Б.И. Швецкий. – Киев: Техника, 1981. – 284 с.
 7. Белоусов, И.А. Повышение точности многоканальных измерительных устройств с термоэлектрическими преобразователями [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.05 «Методы и средства измерения электрических и магнитных величин» / И.А. Белоусов; Физико-механический институт – Львов, 1991. – 20 с.
 8. Пат. № 82313 Україна, МПК H01H 51/00. Комутатор сигналів низького рівня / Кочан Р.В., Кочан В.В. (Україна); заявл. 23.03.2004; опубл. 10.04.2008, Бюл. №7.
 9. Details, datasheet, quote on part number:ADUC834 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.chipdig.com/datasheets/parts/datasheet/041/ADUC834.php>.
 10. Кочан, Р.В. Вдосконалення компонентів прецизійних розподілених інформаційно-вимірювальних систем [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.11.16 «Інформаційно-вимірювальні системи» / Р.В. Кочан; Фізико-механічний інститут – Львів, 2005. – 16 с.
 11. Реле РГК15 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.relay-start.ru/products/catalog/rem/rgnch/rgk15.html>
 12. АОТ128 datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Datasheets search system <http://kazus.ru/datasheets/search/go/?query=АОТ128&=1>.
 13. Реле РЭС83 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.radioman-portal.ru/sprav/commut/22res81.shtml>.
 14. Вимірювання температури: теорія та практика [Текст] / Я.Т. Луцик, О.П. Гук, О.І. Лах, Б.І. Стадник. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 560 с.

Отримано 13.05.2013