

УДК 621.373

О. В. Осадчук, д. т. н., проф.;

Р. В. Криночкін, асп.

ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ МЕТАЛЕВИХ І ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК

Викладено результати розробки пристрою для визначення товщини металевих і полімерних плівок на основі частотного перетворювача з від'ємним опором. Визначено основи його функціонування, та реалізація у вигляді електричної принципової схеми. Наведено результати експериментального визначення функції перетворення та її апроксимації поліномом третього ступеня.

Вступ

Визначення товщини металевих та полімерних плівок в процесі їх виробництва є необхідним етапом технологічного процесу, який дозволяє контролювати якість отриманого матеріалу, його відповідність технологічним нормам та стан виробничої системи в цілому. Важливим фактором є також безпосереднє зростання економічності виробництва з підвищенням точності вимірювання отриманого матеріалу. Зазначимо лише, що згідно з даними, наведеними в роботі [1], кожний додатковий не обумовлений технологічними нормами мікрометр товщини плівки призводить до витрат близько 19 000 € на тисячу тонн готової продукції (з номінальною товщиною у 70 мкм). Тому є актуальною розробка більш ефективних пристроїв вимірювання товщини.

В роботах [2, 3, 4] проаналізовано можливі способи вимірювання товщини полімерних і металевих плівок в процесі їх виробництва та обґрунтовано переваги ємнісного методу за співвідношенням «метрологічні параметри/вартість».

Метою роботи є розробка автоматизованого пристрою вимірювального контролю для визначення товщини плівок ємнісним методом на основі радіовимірювальних перетворювачів з від'ємним опором. Принцип дії, покладений в основу такого вимірювання, описаний в роботі [5].

Склад і принцип роботи пристрою

Основними функціональними складовими частинами пристрою (рис. 1) є: первинний ємнісний сенсор (планарної або плоскої конструкції, у параметричному або диференційному виконанні); частотний перетворювач на від'ємному опорі (ЧПВО) з вузлами захисту та керування живленням; частотомір на основі МК (включає також підсилювач), з інтегрованим USB-трансівером [6]; драйвер інтерфейсу зв'язку та контролювальне ПО.

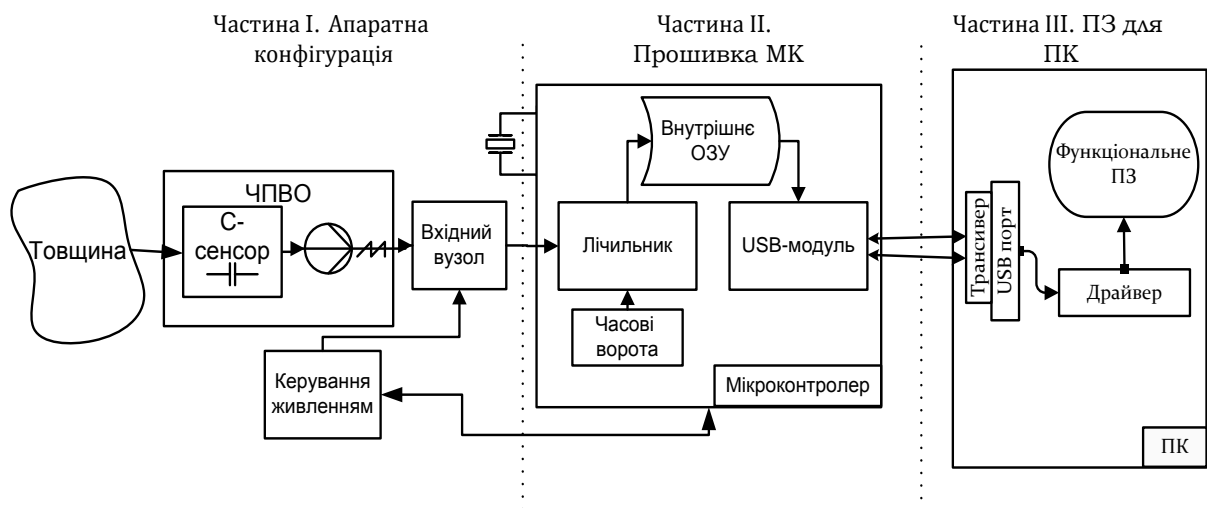


Рис. 1. Функціональна схема частотного пристрою вимірювання товщини матеріалів

Пристрій працює таким чином: зміна товщини вимірюваного матеріалу, приводить до зміни ємності чутливого елемента, яка в свою чергу впливає на еквівалентну ємність коливального контуру (через власне зміну ємності та через зміщення робочої точки транзисторної пари), що приводить до зміни частоти коливань, що генеруються на виході схеми.

Завдання вхідного вузла полягає у перетворенні коливань складної форми та змінної амплітуди у прямокутні з амплітудами логічного нуля та одиниці, не змінюючи при цьому період коливань. Далі сигнал через буфер, потрапляє до основного 16-бітного лічильника (всередині МК), що періодично отримує сигнали скиду від другого лічильника, який використовується в якості часової бази, і формує так звані «часові ворота».

Попередньо, перед скидом, підраховані значення основного лічильника записуються до оперативної пам'яті. Після цього проводиться операція ділення підрахованої кількості імпульсів на час підрахунку — отримане значення і буде шуканою частотою.

Періодично (приблизно кожну 1 мс) ПК проводить опитування підключених USB-пристроїв, щодо наявності даних для передачі (т. зв. polling method). З настанням часу чергового опитування, записані в пам'ять дані про визначену частоту передаються до ПК.

Мікропрограма, що реалізує описаний принцип роботи, використовує Microchip USB Firmware (див. повний текст на сайті компанії Microchip) та побудована таким чином, що пристрій визначається з боку ПК як віртуальне COM-обладнання (USB CDC ACM – загальний комунікаційний пристрій абстрактної моделі керування ніверсальної послідовної шини [6, 7]). Тому його використання в операційній системі Windows не потребує програмування окремих драйверів (тому, що вони вже містяться в складі операційної системи).

На основі вимірюваного значення частоти обчислюється за допомогою спеціального програмного забезпечення товщина плівки за відомою функцією перетворення, а також проводиться первинна статистична обробка даних, введення кореляційних функцій, індикація вимірюваного значення тощо.

Електрична принципова схема засобу вимірювання товщини для параметричного (одноканального) режиму показана на рис. 2. Схема реалізує вищевикладений принцип роботи, функціонування ЧПВО докладно описане в роботі [5], тому вкажемо лише призначення інших елементів. Вхідний розділовий конденсатор слугує для відокремлення змінної складової сигналу від постійної. Транзистора KT315, працює як формувач імпульсів (ключовий режим роботи), для перетворення коливань довільної форми в імпульси тої ж частоти (за умови існування у вхідному сигналі не більше двох екстремумів на період). Резистори, включені в коло бази, задають робочу точку транзистора. Резистор в колі колектора обирається в залежності від напруги, необхідної для переведення транзистора в режим насичення. Він же визначає постійну складову вихідної напруги транзисторного каскаду, що має встановлюватись з урахуванням напруги спрацювання логічних елементів мікросхеми (напруги лог. 1).

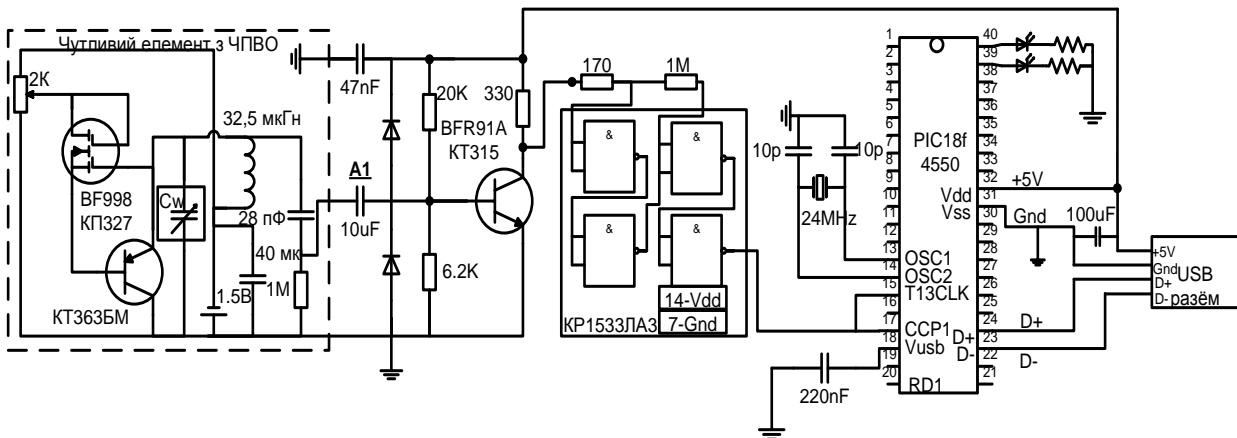


Рис. 2. Електрична принципова схема пристрою для параметричного режиму роботи

Завдання м/с KP1533LA3 полягає у нормалізації амплітуди сигналу до рівнів логічної 1 і логічного 0 та збільшенні крутизни фронтів, що необхідно для точного спрацювання лічильника мікроконтролера.

У випадку диференційної реалізації електрична принципова схеми буде мати вигляд, показаний на рис. 3. При цьому канал 2 формує опорне значення, що сприймає всі ті ж впливи навколишнього середовища та джерела завад, що і канал 1, окрім власне вимірювального сигналу. Така реалізація надає змогу, значно підвищити точність, тому що при цьому похибки від сторонніх впливів взаємно віднімаються.

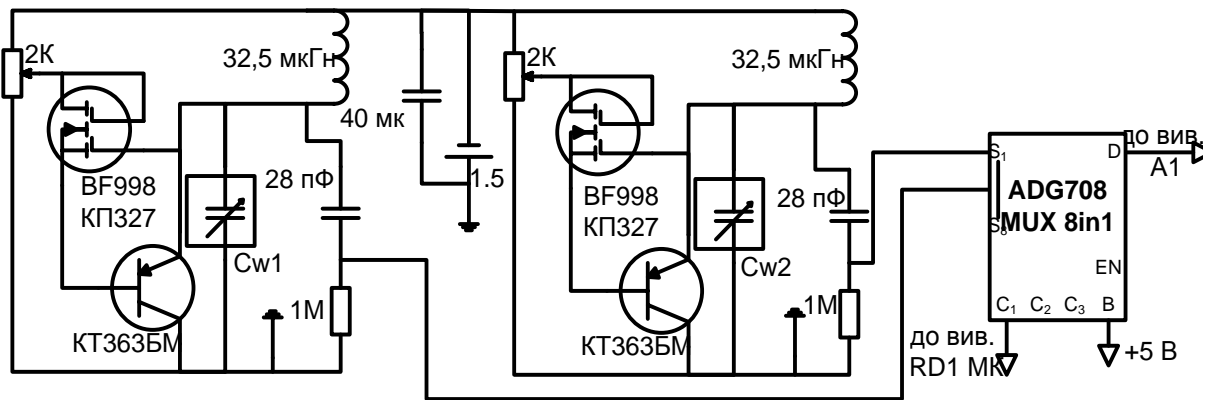


Рис. 3. Електрична схема чутливого елемента для диференційного режиму вимірювань

Проведені експериментальні дослідження з використанням зазначеної системи в параметричному режимі роботи. Як первинний сенсор використовувався плоский конденсатор з круглими обкладинками (діаметром $D = 25$ мм, і відстанню між ними $d = 550$ мкм). Вихідний сигнал з вторинного перетворювача потрапляв до вищеприписаного частотоміру та фіксувався спеціалізованим програмним забезпеченням.

На рис. 4 показана сукупна функція перетворення вказаного пристрою (експериментальна — точками), для незалежного визначення товщини мікрометром та її апроксимація поліномом третього ступеня $F = ah^3 + bh^2 + ch + d$. Така апроксимація є необхідною у разі використання перетворювача в мобільних застосуваннях, через те, що обмежена продуктивність та пам'ять МК ускладнює використання функцій перетворення знятих по точках з наступною інтерполяцією. Тому ефективнішим є попереднє знаходження апроксимуючої функції за відомою функцією перетворення. Поліном другого ступеня дає задовільну точність апроксимації (для функції на рис. 4: стандартне відхилення 1,998, коефіцієнт детермінації 0,99892), проте, з переходом до полінома третього ступеня можна отримати ще кращі результати (стандартне відхилення 0,2423, коефіцієнт детермінації 0,99998).

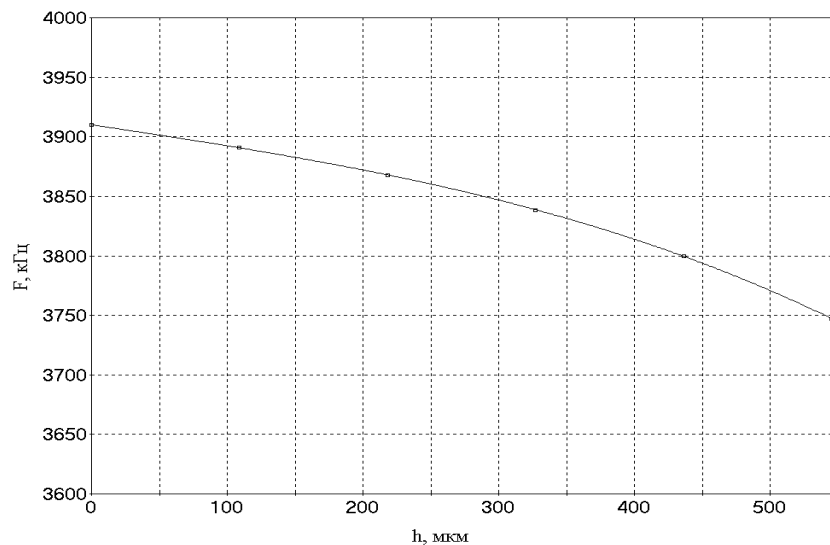


Рис. 4. Функція перетворення пристрою та її апроксимація функцією
 $F_{gen} = -4,25E-7 h^3 + 1,33E-6 h^2 - 0,17h + 3910$

Висновки

1. Розроблено функціональну та принципову електричну схеми мікропроцесорного пристрою вимірювання товщини плівок з USB-виходом на основі мікроконтролера PIC18F4550, з використанням частотного перетворювача на від'ємному опорі (ЧПВО).

2. Подано параметри, рекомендації та вказані властивості складових елементів схеми для параметричного та диференціального виконання вимірювального каналу.

3. Визначено експериментально залежність частоти генерації від товщини вимірюваного матеріалу (функцію перетворення засобу), наведені рекомендації щодо її апроксимації аналітичними поліноміальними виразами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смышляев А. Р. Коррекция толщины полимерных пленок в процессе их изготовления / А. Р. Смышляев, Б. В. Бердышев, Ф. Губерман // Полимерные материалы. — 2007. — № 11. — С. 6—11.
2. Гриневич Ф. Б. Измерительные компенсационно-мостовые устройства с емкостными датчиками / Ф. Б. Гриневич, А. И. Новик; АН УССР, Ин-т Электродинамики. — Киев : Наукова думка, 1987. — 112 с. — Библиогр. : С. 105—110 (109 назв.).
3. Осадчук О. В. Проблеми вимірювання товщини нанесеного покриття та методи підвищення його точності / О. В. Осадчук, Р. В. Криночкін // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. — 2009. — № 1. — С. 102—105.
4. Смышляев А. Р. Коррекция толщины полимерных пленок в процессе их изготовления. Ч. 2. / А. Р. Смышляев, Б. В. Бердышев, Ф. Губерман // Полимерные материалы. — 2007. — № 12. — С. 10—16.
5. Криночкін Р. В. Визначення оптимальної схеми підключення вимірювальної ємності до частотного перетворювача товщини / Р. В. Криночкін, О. В. Осадчук // Наукові праці ВНТУ. — 2010. — № 1. — С. 1—7.
6. Яценков В. С. Микроконтроллеры Microchip с аппаратной поддержкой USB / В. С. Яценков. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2008. — 400 с. — ISBN 978-5-9912-0030-1.
7. Агуров П. В. Практика программирования USB / П. В. Агуров. — СПб : БХВ-Петербург, 2006. — 624 с. — ISBN 5-94157-851-2.

Рекомендована кафедрою радіотехніки

Надійшла до редакції 25.05.10
Рекомендована до друку 10.06.10

Осадчук Олександр Володимирович — завідувач кафедри, **Криночкін Роман Володимирович** — аспірант.

Кафедра радіотехніки, Вінницький національний технічний університет