

РОЗРОБКА СЕСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАШИНОЮ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАННЯ ПЛОЩІ ШКІРИ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СЕРІЇ PIC16F

<https://doi.org/10.23939/istcipa2023.59.055>

© Зелінський І. Д., 2025

Постановка проблеми. Обладнання для вимірювання площі шкіри, що використовується на підприємствах, потребує регулярного обслуговування та метрологічної повірки. Обслуговування систем керування, випущених в 2000 роках, зазвичай дороге, оскільки такі системи керування фізично і морально застарілі та реалізовані на старій елементній базі. Механічна частина вимірювальних машин є в доброму стані та може ще тривалий час експлуатуватися. Тому актуальним є завдання створення сучасної системи керування до таких машин. **Метою роботи** є розробка мікропроцесорної системи керування до наявних машин для вимірювання площі шкіри. **Практичне значення.** Реалізація поставленої мети дасть змогу суттєво зменшити видатки на обслуговування та ремонт систем керування машин для вимірювання площі шкіри. Також сучасна система керування дасть можливість підвищити функціонал, покращити діагностику та використати сучасний інтерфейс для формування звітності та обліку продукції. Така система керування впроваджена і тривалий час експлуатується на підприємствах Львівщини та Франківщини.

Ключові слова: вимірювання, площа шкіри, мікроконтролер, система керування.

Вступ

Облік готової продукції на шкіряних підприємствах здійснюється за площею. Кожну одиницю продукції маркується. В маркуванні обов'язково вказується площа шматка шкіри в квадратних дециметрах. Міряють площу на електронних вимірювальних машинах. На рис. 1 наведено фото таких машин двох виробників, які використовуються на підприємствах та представлені на ринку вживаного обладнання.



GER Elettronica S.r.l.



WEGA S.r.l.

Рис. 1. Оптичні машини для вимірювання площі шкіри різних виробників [1], [2]

Fig. 1. Optical skin area measuring machine from various manufacturers [1], [2]

Зображені на рис. 1 машини укомплектовані мікропроцесорними системами керування. Але елементна база 2000-х років морально та фізично застаріла. Стан систем керування часто незадовільний. Витрати на ремонт високі, а виробники не пропонують варіантів заміни лише системи керування. Попередні варіанти систем керування такими машинами реалізовані на дискретній логіці та мають обмежені функції щодо діагностики помилок вимірювальних елементів. Тому розробка сучасної системи керування дасть змогу продовжити термін експлуатації таких машин, розширити можливості та доповнити машину новими функціями.

Мета та завдання роботи

Метою цієї роботи є розробка мікропроцесорної системи керування, яка буде використовуватись замість штатної під час модернізації або капітального ремонту машин для вимірювання площі шкіри. Ця система керування використовується для машин LOTO та WEGA, зображення яких наведено на рис. 1.

Принцип роботи та будова цих машин подібні. Розміри вимірювальних елементів різні, але принцип роботи однаковий. Це дає змогу розробити систему керування, що може використовуватись на цих машинах. Проаналізувавши роботу цих машин в умовах виробництва, можна сформулювати завдання, які потрібно виконати в процесі роботи:

- розробити структуру та алгоритм роботи систем керування;
- забезпечити функціональну діагностику, що дає змогу в автоматичному та ручному режимах виявляти поломки вимірювальних елементів;
- забезпечити вимірювання, коли шкіра проходить нерівномірно, різні ділянки мають різну швидкість переміщення;
- забезпечити вивід вимірюваного значення за стандартним інтерфейсом для під'єднання принтера, обладнання для маркування та системи обліку;
- забезпечити підрахунок сумарної площі вимірюваної партії шкір.

Огляд інформаційних джерел

Підходи до вимірювання площі шкіри, що передбачають розбивку шкіри на набір прямокутних сегментів з послідовним підрахунком цих сегментів, відомі з 1920 року та описані в [3]. Сьогодні для цих цілей використовують електронні оптичні машини. Прикладами таких машин є Smart від GER Elettronica [4] та Quasar від Wega [5]. Це лідери на ринку вимірювання. Але водночас на ринку існує багато вживаних машин від цих же виробників, експлуатація яких ускладнюється проблемами із системами керування.

Мікроконтролери PIC16F [6] використовуються для створення широкого спектру електронних пристроїв, включаючи побутову електроніку, системи керування, пристрої введення/виведення та промислові автоматизовані системи. Їхня універсальність дає змогу використовувати їх для керування двигунами, збору даних, керування живленням та реалізації логічних функцій у багатьох проектах. Використання цих мікроконтролерів у системах керування машин для вимірювання площі шкіри дасть змогу створити нову систему керування на сучасній базі та розширити функції машини.

Виклад основного матеріалу

Структурна схема системи керування машиною для вимірювання площі шкіри зображена на рис. 2. Привідний вал ПВ починає рух від електромотора М через редуктор. Над привідним валом шарнірно розміщені вимірювальні барабани ВБ. Барабани під дією власної ваги котяться по поверхні привідного валу. До складу вимірювального барабану входять 8 світлодіодів та енкодер. Корпус вимірювального барабану оптично прозорий для інфрачервоного та червоного випромінювання. В привідному валі є пази. В цих пазах на коромислах розміщуються фотоелементи. Світлодіоди

вимірювального барабану та фотоеlementи привідного валу розташовані на одній оптичній осі. Шкіра пропускається між привідним валом та вимірювальними барабанами. Вимірювання площі відбувається шляхом сумування площі затемнених ділянок. Ширина затемненої ділянки задається кроком розміщення світлодіодів та фототранзисторів, а довжина визначається діаметром вимірювального барабану та кількістю імпульсів енкодера на один оберт.

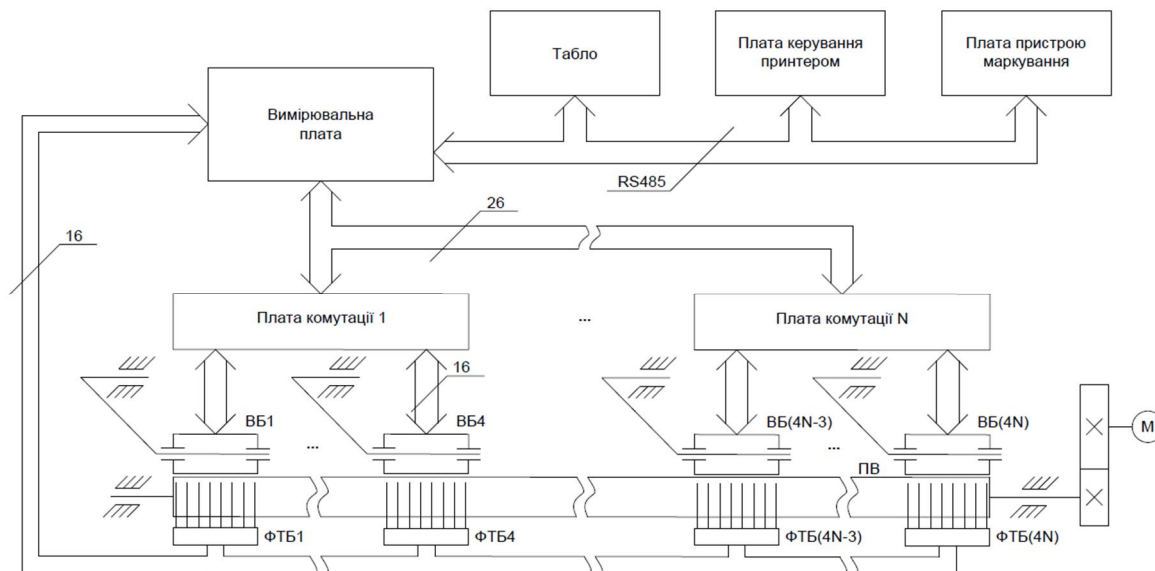


Рис. 2. Структурна схема системи керування
Fig. 2. Control system block diagram

Збір даних та підрахунок вимірювальної площі здійснює вимірювальна плата. Ця плата керує платами комутації. Кожна плата комутації керує чотирма вимірювальними барабанами. На схемі розміщені N плат комутації та $4 \cdot N$ вимірювальних барабанів. Залежно від ширини машини, $N=4; 5$. Під кожним вимірювальним барабаном містяться 8 фотоприймачів ФТБ. Вимірювальна плата також опитує стан фотоприймачів. Алгоритм опитування такий:

- вмикаються світлодіоди вимірювального барабана 1;
- відбувається опитування енкодера;
- якщо значення енкодера змінилось, то опитується стан фотодавачів і кількість затемнених ділянок залежно від знака приросту енкодера або додається, або віднімається від сумарної площі;
- вимикаємо світлодіоди барабана;
- далі попередні чотири пункти алгоритму повторюється $4 \cdot N - 1$ разів для кожного вимірювального барабана;
- вимірювання закінчене тоді, коли зовсім немає затемнених ділянок під час руху енкодера вперед.

Загальну площу, визначену в дм^2 , можна описати формулою:

$$S = K_1 \cdot K_2 \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^4 (x_{j,i} \cdot e_{j,i}), \quad (1)$$

де K_1 – коригувальний коефіцієнт, заданий у відсотках, наявність корекції передбачена вимогами стандарту ISO 11646; K_2 – коефіцієнт, що задає конструктивні параметри машини; $x_{j,i}$ – кількість затемнених ділянок вимірювального барабана i -го барабана j -тої плати комутації; $e_{j,i}$ – приріст енкодера i -го барабана j -тої плати комутації; $e_{j,i} = \begin{cases} 1 & \text{під час руху вперед (нормальний режим вимірювання);} \\ -1 & \text{під час руху назад (витягування або повертання шкіри).} \end{cases}$

Порядковий номер барабана n під час опитування визначаємо з виразу:

$$n = (j - 1) \cdot 4 + i, \quad (2)$$

де $i = 1 \dots 4$ – номер барабана в межах однієї плати; $j = 1 \dots N$ – порядковий номер плати.

Коефіцієнт, що задає параметри машини, визначається з виразу

$$K_2 = \frac{\Delta x \cdot \pi \cdot D}{100 \cdot K_e}, \quad (3)$$

де Δx – крок розміщення фотодавачів у мм; D – діаметр вимірювального барабана в мм; K_e – кількість імпульсів енкодера вимірювального барабана на один оберт.

Під час обробки даних енкодерів, розміщених у вимірювальних барабанах ВБ, потрібно звернути увагу на:

- не всі енкодери спрацьовують синхронно, деякі обертаються швидше, а інші повільніше;
- деякі енкодери показують зворотний рух. Така ситуація можлива під час вимірювання великих за площею шкір, коли у процесі проходження через машину шкіра нарівномірно затягується і повертається стосовно центру. Також така ситуація можлива, коли дії працівників, що подають шкіру, не синхронізовані.

Виходячи з вищесказаного, значення $e_{j,i}$ може бути від'ємним. Поява від'ємних значень переміщення по всіх енкодерах одночасно свідчить про примусове витягування шкіри. В цьому випадку система сигналізує про помилку, і вимірювання не відбувається.

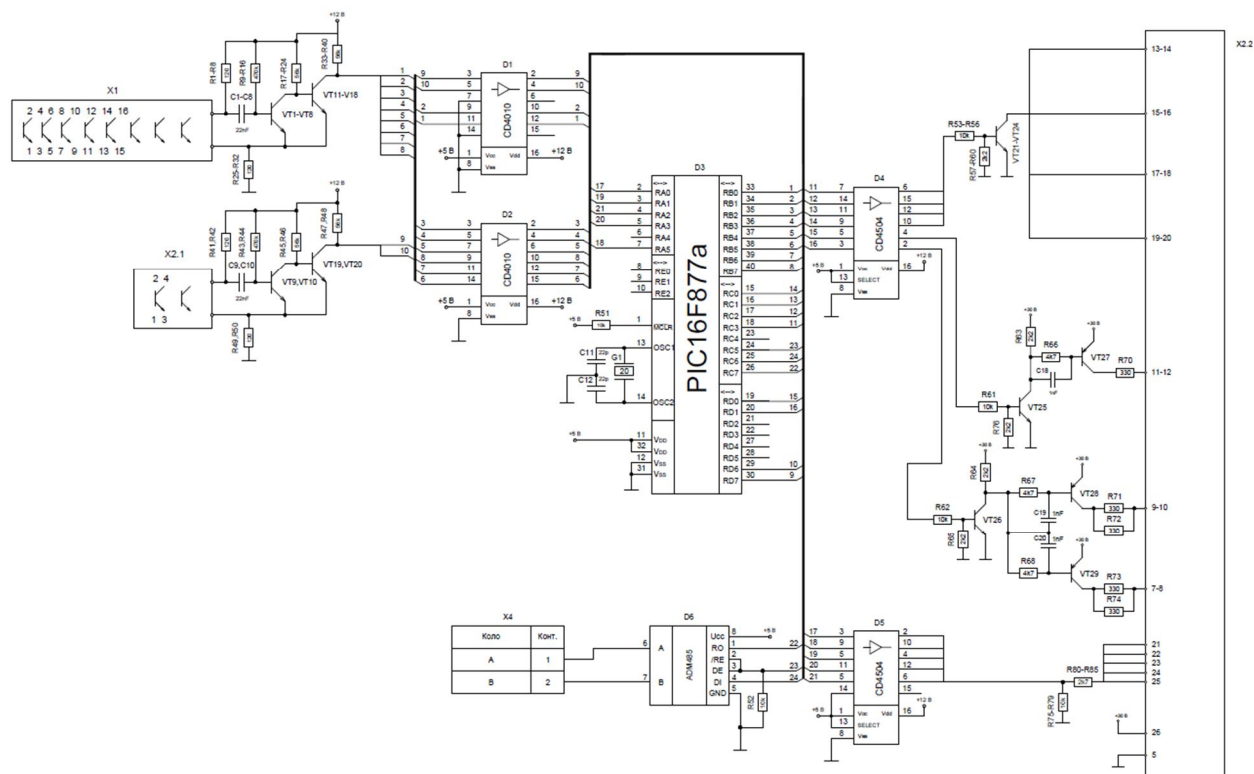


Рис. 3. Електрична принципова схема вимірювальної плати

Fig. 3. Measuring board electrical schematic diagram

Електрична принципова схема вимірювальної плати наведена на рис. 3. Схема побудована на мікроконтролері PIC16F877a. Дані від фотоприймачів подаються на плату через роз'єм X1. Обробка даних від фотоприймачів відбувається транзисторними каскадами, які побудовані на транзисторах

VT1 – VT18. Завдання цих каскадів сформувати прямокутні імпульси, які формуються фотоприймачами. Конденсатори C1–C8 на вході є фільтрами, які пропускають лише імпульсні сигнали. Далі через мікросхеми узгодження рівнів D1 та D2 сигнали від фотоприймачів подаються на PORTB мікроконтролера. Отже, на 8 виводах PORTB мікроконтролера є інформація про стан фотоприймачів. Фотоприймачі – це фототранзистори інфрачервоного діапазону вимірювання. Живлення фототранзисторів відбувається з вимірювальної плати відповідно через резистори R1...R8 та R25...R32. Комутація світлодіодів вимірювальних барабанів відбувається сигналами, що є в роз'ємі X2. Каскади на транзисторах VT21...VT24 комутують відповідно 4 вимірювальні барабани кожної плати комутації. Ці каскади комутують “мінус” живлення вимірювального барабана. Каскади на транзисторах VT28, VT29 подають на плати “плюс”. Таким способом засвічуються світлодіоди фотоприймачів. Через каскад на транзисторі VT27 відбувається вмикання світлодіодів енкодерів відповідних вимірювальних барабанів. Мікросхема D4 слугує для узгодження рівнів між транзисторними каскадами та мікроконтролером D3. Адресація плат комутації відбувається сигналами на виході мікросхеми D5. Ця мікросхема дає змогу адресувати 5 плат комутації. Обробка даних енкодерів відбувається транзисторними каскадами VT9, VT10 та VT19, VT20. Сигнали енкодера подаються на входи RD6 та RD7 мікроконтролера через мікросхему D1. Вимірювальна плата обмінюється даними по інтерфейсу RS 485 з платою керування табло, платою керування принтером та платою пристрою маркування. Вимірювальна плата в цьому обміні виконує функції ведучого (Master).

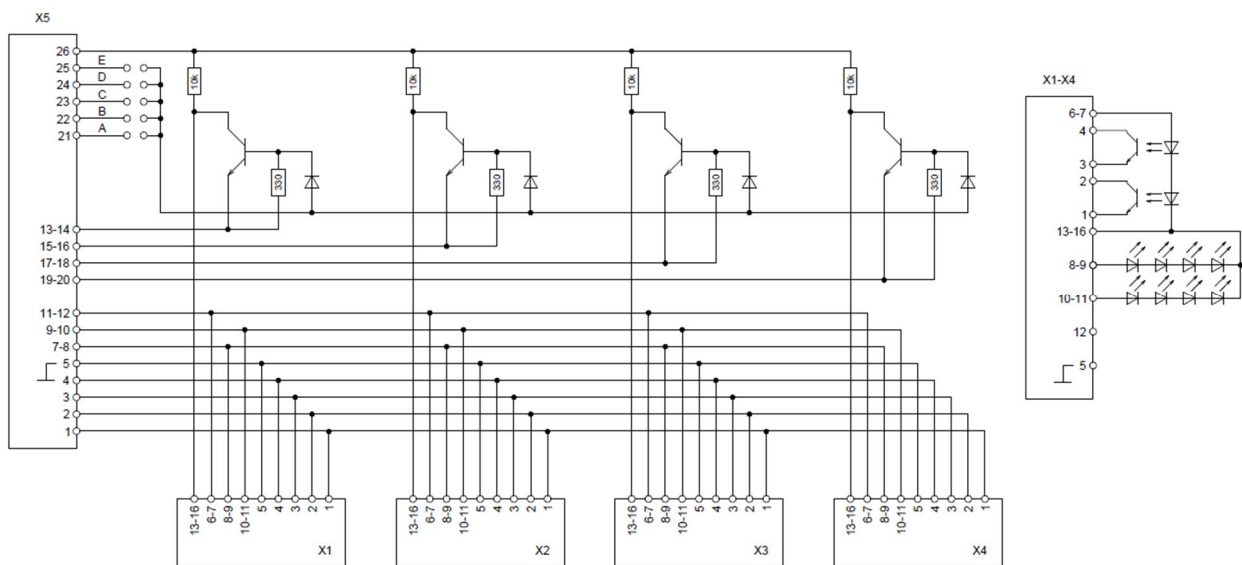


Рис. 4. Електрична принципова схема плати комутації та плати вимірювального барабана

Fig. 4. Switching board and measuring drum board, electrical schematic diagram

Електрична принципова схема плати комутації зображена на рис. 4. Номер плати задається перемичками між контактними площадками: А відповідає номеру 1, В – 2, С – 3, D – 4, Е – 5. Роз'єми X1...X4 використовуються для під'єднання відповідних вимірювальних барабанів. Схема плати, що розміщена на вимірювальному барабані, зображена на рис. 4 праворуч. До схеми входять 8 світлодіодів для фотоприймачів, два світлодіоди та два фототранзистори енкодера.

На рис. 5 наведена схема табло. Табло реалізовано на світлодіодних індикаторах по схемі динамічної індикації. На табло відображається: номер барабана D2, D3, площа вимірюної шкіри D4, D5, D6, кількість D7, D8. На індикаторах номер барабана відображається номер першого барабана, який має затемнені ділянки. На індикаторах кількість відображається кількість помірених шкір.

Вимірювана площа відображається на дві сторони табло: одна сторона – індикатори D4, D5, D6, інша сторона – D10, D11, D12. Табло також має 6 кнопок. Як інтерфейс зв'язку використовується RS485. Плата табло працює в режимі веденого (Slave).

За допомогою кнопок табло є можливість реалізувати інтерфейс користувача. Реалізовані такі режими та функції:

- режим вимірювання, основний режим експлуатації машини;
- режим діагностики, в цьому режимі є можливість перевірити роботу світлодіодів і датчиків швидкості кожного вимірювального та фотодавачів відповідного барабана;
- функція задання коригувального коефіцієнта K_1 ;
- функція задання сумарної кількості вимірювання. Ця функція дає змогу задати кількість вимірювань, після яких друкується в чеку сумарна площа;
- функція обнулення та друку сумарної площі. Ця функція аналогічна попередній. Відмінність полягає в тому, що сумарна площа друкується по натисканню відповідної кнопки оператором.

Окрім того, що результати вимірювання відображаються на табло, вони також друкуються на принтері чеків. У чеку друкуються площа кожного вимірювання та сумарна площа партії. Принтером керує плата керування принтером. Схема електрична принципова цієї плати наведена на рис. 6. Схема складається з двох мікроконтролерів, які з'єднані за допомогою SPI інтерфейсу. Мікроконтролер D2 забезпечує зв'язок з вимірювальною платою по інтерфейсу RS485. Процесор працює в режимі веденого (Slave). Мікроконтролер D3 забезпечує керування принтером по інтерфейсу RS232. Мікросхеми D1 та D4 забезпечують зв'язок відповідно до протоколу RS485 та RS232.

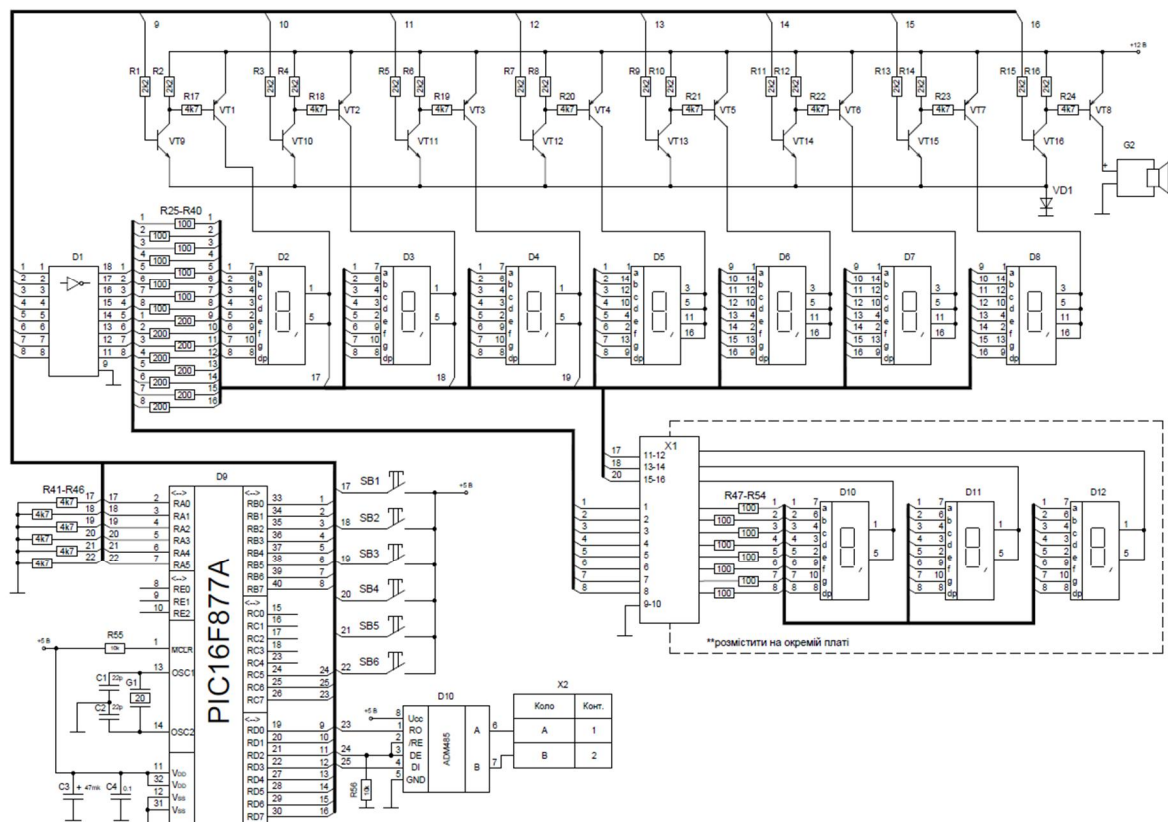


Рис. 5. Схема електрична принципова плати табло

Fig. 5. Board electrical schematic diagram

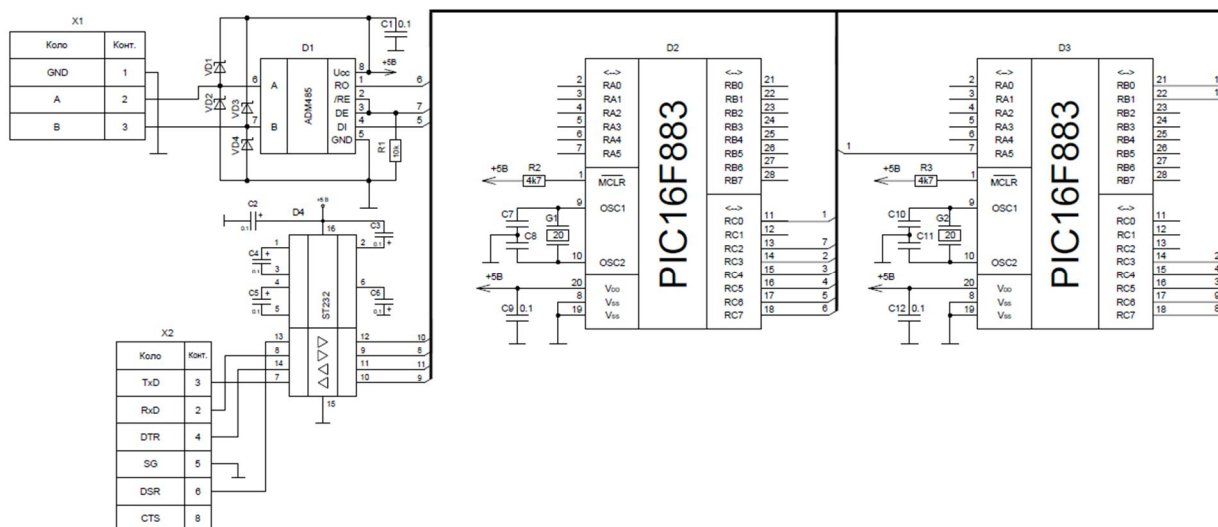


Рис. 6. Плата керування принтером

Fig. 6. Printer control board

До складу вимірювальної машини також можуть входити пристрої маркування. Їхнє завдання – наносити інформацію про площу на шкіру. В умовах виробництва часто таке маркування виконують спеціальним маркером вручну. Також для цих цілей використовують стікери або конвеєри з пристроєм маркування. В структурі, зображений на рис. 1, для цих цілей передбачена плата керування пристроєм маркування. Стосовно принтера стікерів, то структура цієї плати аналогічна платі керування принтером.

Використання інтерфейсу RS485 дає змогу під'єднувати інше обладнання для ведення обліку. Можливе під'єднання персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням.

Висновки

Запропонована в цій роботі система керування доцільна для використання під час модернізації та ремонту машин для вимірювання площі шкіри. Використання такої системи керування дає змогу забезпечити функціонування машини, розширити функції машини щодо самодіагностики.

Інформаційні джерела

1. <https://www.wotol.com/product/ger-loto-soft-measuring/2244709>
2. <https://www.tannerytrade.com/products/vega-3200-measuring/>
3. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/nbstechnologic/nbstechnologicpaperT153.pdf>
4. <https://www.gerelettronica.com/products/measuring-systems/crust-finished-leathers-area/>
5. <https://www.wegaitalia.com/en/measuring-machines/>
6. <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/8-bit-mcus>
7. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:11646:ed-2:v1:en>

Ihor Zelinskyi

Lviv Polytechnic National University

MACHINE CONTROL SYSTEM FOR ELECTRONIC MEASUREMENT OF SKIN AREA BASED ON PIC16F SERIES MICROCONTROLLERS

Problem statement. Equipment for measuring skin area used at enterprises requires regular maintenance and metrological verification. Maintenance of control systems released in the 2000s is usually expensive, since such control systems are physically and morally outdated and implemented on an old element base. The mechanical part of the

measuring machines is in good condition and can be operated for a long time. Therefore, the task of creating a modern control system for such machines is relevant. **The purpose** of the work is to develop a microprocessor control system for existing machines for measuring skin area. **Practical significance.** The implementation of the set goal will significantly reduce the costs of maintenance and repair of control systems for machines for measuring skin area. Also, a modern control system will allow to increase the functionality, improve diagnostics and use a modern interface for reporting and accounting of products. Such a control system has been implemented and has been operated for a long time at enterprises in Lviv and Frankivsk regions.

Keywords: measurement, area measurement, microcontroller, control system.

References

1. <https://www.wotol.com/product/ger-loto-soft-measuring/2244709>
2. <https://www.tannerytrade.com/products/vega-3200-measuring/>
3. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/nbstechnologic/nbstechnologicpaperT153.pdf>
4. <https://www.gerelettronica.com/products/measuring-systems/crust-finished-leathers-area/>
5. <https://www.wegaitalia.com/en/measuring-machines/>
6. <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/8-bit-mcus>
7. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:11646:ed-2:v1:en>