

УДК 543.087.9

## ПРОСТИЙ КОНДУКТОМЕТР MTECH COND-350 ДЛЯ ТИТРИМЕТРІЇ

**О. Бабій, І. Пацай, О. Красіцька**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна  
e-mail: mtech\_lab@ukr.net*

Розроблено електронну схему та сконструйовано робочий прототип кондуктометра MTEch COND-350 на основі мікроконтролера C8051F410 компанії Silicon Labs для титриметрії. Прилад апробовано визначенням кислот різної сили. Кондуктометр може працювати автономно з відображенням провідності розчину на світлодіодному дисплеї чи під керуванням персонального комп'ютера. Розроблено комп'ютерну програму в середовищі Visual Basic 5 для вимірювання залежності провідності від об'єму титранта.

*Ключові слова:* кондуктометр, кондуктометричне титрування, прилад MTEch COND-350, провідність.

DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.5901.224>

Серед фізико-хімічних методів аналізу кондуктометрія вигідно відрізняється простотою апаратурного забезпечення. Водночас цей метод широко використовують для визначення концентрації водних розчинів електролітів, контролю якості води, а також для титриметричного визначення багатьох аналітів [1–3].

Аналітичні характеристики визначення суттєво залежать від рівня обладнання, яке використовують в аналізі. Найбільш “слабким місцем” приладів, виготовлених понад 20–30 років тому, є вимірювання та реєстрація аналітичного сигналу, яку здебільшого проводять за допомогою аналогових електромеханічних показометрів. Стрімкий технічний прогрес у приладобудуванні привів до появи високоточного, надійного та зручного у використанні аналітичного устаткування, однак для багатьох вітчизняних лабораторій воно залишається недоступним через високу ціну, тому єдиною альтернативою є розробка власного або модернізація існуючого обладнання. Незважаючи на простоту конструкції, сучасні цифрові промислові кондуктометри є необґрунтовано дорогими. Зумовлено це насамперед їх “закордонним походженням” – в Україні аналітичного приладобудування фактично немає.

Мета нашої праці – розробити простий кондуктометр на основі мікроконтролера з вбудованою аналоговою периферією, виготовити робочий прототип та апробувати його на кондуктометричному титруванні кислот різної сили.

Основою розробленого кондуктометра MTech COND-350 є мікроконтролер C8051F350 [4, 5], який, крім цифрових компонентів, містить потужну аналогову периферію, зокрема 24-розрядний дельта-сигма аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з мультиплексором на вході та високостабільне джерело опорної напруги на 2,5 В (рис. 1). Тактування мікроконтролера реалізовано на основі внутрішнього тактового генератора на 24,5 МГц.

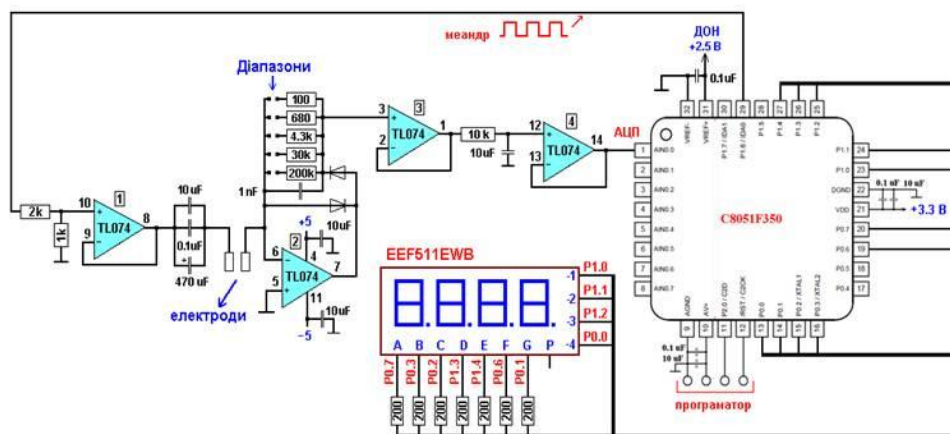


Рис. 1. Спрощена електрична схема кондуктометра MTech COND-350  
 Fig. 1. Simplified electrical circuit of conductivity meter MTech COND-350

Генератор змінної напруги частотою 1,5 кГц реалізовано на таймері мікроконтролера з виходом на цифровий порт P1.6. Форма вихідного сигналу генератора – меандр з амплітудою 3,3 В. За допомогою подільника на резисторах 2 і 1 кОм вихідна напруга генератора зменшується втричі. Перший операційний підсилювач виконує функцію буфера генератора. Його вихід подається на три паралельно увімкнуті конденсатори (0,1; 10 і 470 мкФ) для відсіювання постійної складової напруги. В такий спосіб на електроди кондуктометр виводить змінну напругу прямокутної форми з частотою 1,5 кГц та розмахом 1,1 В (рис. 1).

На другому операційному підсилювачі реалізовано перетворювач “змінний струм – постійна напруга”. Один з п’яти діапазонів вимірювання вибирають за допомогою галетного перемикача, який комутує резистор зворотного зв’язку в межах від 100 Ом до 200 кОм, що забезпечує широкий динамічний діапазон вимірюваних значень електропровідності. Паралельно резистора зворотного зв’язку підключено конденсатор на 1 нФ для згладження пульсацій вихідного сигналу напруги (рис. 1).

Операційні підсилювачі 3 і 4 відіграють роль буферів напруги. Між ними включено фільтр низьких частот на резисторі 10 кОм та керамічному конденсаторі 10 мкФ для остаточного згладження сигналу перед його поданням на вхід АЦП мікроконтролера (рис.1).

Більшість цифрових портів мікроконтролера (загалом 11) задіяно для динамічної індикації результатів вимірювання електропровідності за допомогою семисегментного дисплею. Порти P0.4 і P0.5, які є UART лініями мікроконтролера, задіяно для передавання результатів вимірювання у персональний комп’ютер за інтерфейсом RS232. Оскільки більшість сучасних комп’ютерів не мають COM портів стандарту RS232, а комплектуються лише USB портами, то зв’язок кондуктометра з

персональним комп'ютером реалізовано через USB порт за допомогою конвертера інтерфейсів RS232-USB на основі мікросхеми PL2303HX, підключеної за стандартною схемою (рис. 2), рекомендованою виробником [6].

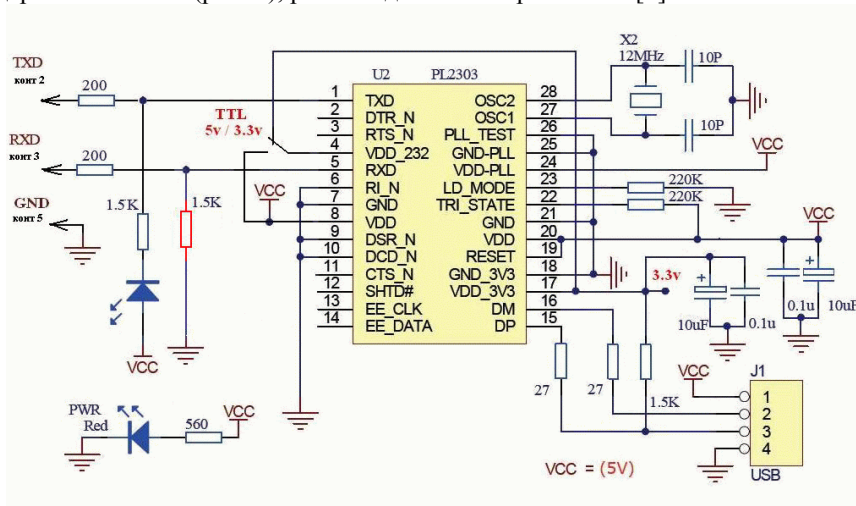


Рис. 2. Електрична схема конвертера RS232-USB  
Fig. 2. Electrical circuit of converter RS232-USB

Також USB-порт забезпечує прилад необхідним живленням – 3,3 В для мікроконтролера та  $\pm 5$  В для операційних підсилювачів. Мінусову компоненту двополярного живлення ( $-5$  В) одержано за допомогою перетворювача ICL7660 [7].

Більшість електронних компонентів, які використано в схемі кондуктометра, є в мініатюрних SMD корпусах для поверхневого монтажу. Вибір таких компонентів та відсутність окремого джерела живлення дав змогу суттєво мінімізувати розміри друкованої плати та розташувати її у пластиковому корпусі D65A компактного розміру – 9,2x6,6x3,6 см (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд кондуктометра  
Fig. 3. Photo of conductivity meter

З одного боку приладу розташовано BNC-коннектор для підключення електродів комірки, а з іншого – кабель з USB-штекером. У випадку автономної роботи приладу USB-кабель підключають не до USB-порта комп'ютера, а до блоку живлення чи накопичувача (powerbank) з вихідною напругою 5 В. На верхній кришці кондуктометра закріплено галетний перемикач для вибору діапазону вимірювання електропровідності та семисегментний дисплей для відображення значення електропровідності в умовних одиницях.

Розроблено комп'ютерну програму мовою Visual Basic 5 для виконання кондуктометричного титрування, побудови кривих титрування та розрахунку об'єму титранта у точці еквівалентності (рис. 4).

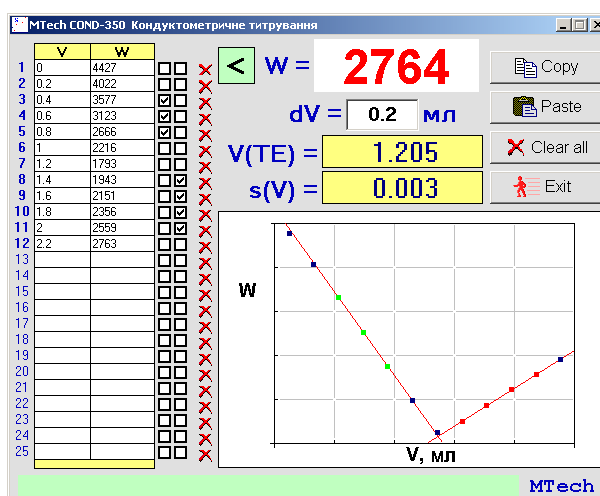


Рис. 4. Вікно програми для виконання кондуктометричного титрування  
 Fig. 4. Software window for conductometric titration procedure

Для визначення об'єму титранта у точці еквівалентності програма розраховує параметри (a, b), їхні стандартні ( $s_a$ ,  $s_b$ ) та відносні ( $s_{r,a}$ ,  $s_{r,b}$ ) відхилення двох прямолінійних ділянок регресійним аналізом за методом найменших квадратів [8]. Точку перетину цих прямих знаходять розв'язком системи рівнянь:

$$\begin{aligned} W_1 &= a_1 + b_1 V \\ W_2 &= a_2 + b_2 V \end{aligned}$$

У точці еквівалентності  $W_1 = W_2$ , тому:

$$a_1 + b_1 V = a_2 + b_2 V,$$

звідки знаходять об'єм титранта:

$$V = \frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}.$$

Ураховуючи зв'язок V з параметрами прямих, можна розрахувати відносну похибку визначення об'єму титранта зі стандартних відхилень двох прямолінійних ділянок кривої та оцінити похибку титриметричного визначення:

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\frac{s_{a1}^2 + s_{a2}^2}{(a_2 - a_1)^2} + \frac{s_{b1}^2 + s_{b2}^2}{(b_1 - b_2)^2}}.$$

Кондуктометр апробовано титруванням кислот різної сили розчином калій гідроксиду (рис. 5, 6). Для вимірювання електропровідності розчинів використовували промисловий кондуктометричний датчик від польського кондуктометра Elwro N-5721M, а також два саморобні дискові графітові електроди з площею поверхні  $0,25 \text{ см}^2$ .

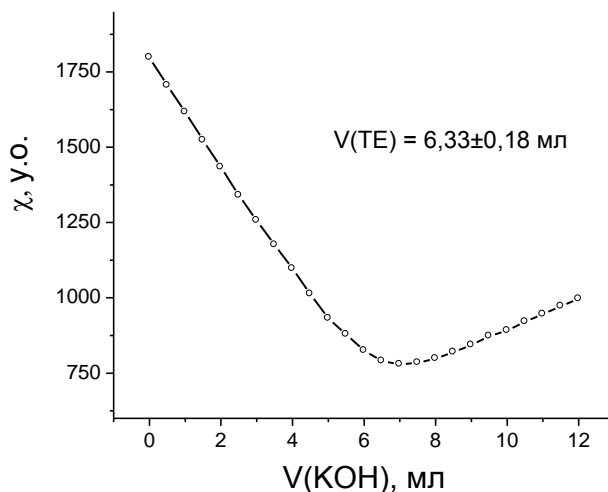


Рис. 5. Крива титрування  $100 \text{ ml } 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ M H}_2\text{SO}_4$   $7,35 \cdot 10^{-4} \text{ M}$  розчином KOH  
Fig. 5. Conductometric titration curve for  $100 \text{ ml } 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ M H}_2\text{SO}_4$  by  $7,35 \cdot 10^{-4} \text{ M}$  solution of KOH

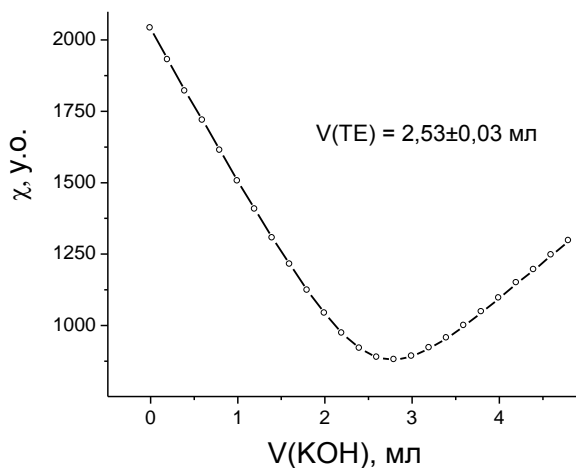


Рис. 6. Крива титрування  $100 \text{ ml } 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ M H}_2\text{C}_2\text{O}_4$   $7,35 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  розчином KOH  
Fig. 6. Conductometric titration curve for  $100 \text{ ml } 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ M H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  by  $7,35 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  solution of KOH

Похибка визначення об'єму титранта у точці еквівалентності за титрування як сильних, так і слабких кислот не перевищує 0,2 мл навіть для сильнорозбавлених розчинів ( $4,8 \cdot 10^{-5}$  М). Відносна похибка визначення коливається в межах 0,5–3 % залежно від концентрації та сили титрованої кислоти.

Одержані результати дають змогу стверджувати, що розроблений прилад MTech COND-350 можна успішно використовувати в аналізі для кондуктометричного визначення кислот та основ. У майбутньому ми плануємо апробувати прилад кондуктометричним титруванням за методом осадження.

1. *Kharitonov Yu. Ya.* Analytical chemistry. Quantitative analysis. Physicochemical (instrumental) analytical methods. Moscow : “Vysshaya shkola”, 2003. 559 p. (in Russian).
2. *Khudyakova T. A.* Conductometric analytical method. Moscow : “Vysshaya shkola”, 1975. 207 p. (in Russian).
3. *Nechyporenko A. P.* Physicochemical (instrumental) analytical methods. Electrochemical methods. Potentiometry and conductometry. Sankt-Peterburg : NDI ITMO, 2013. 34 p. (in Russian).
4. *Gladshstein M. A.* Mixed signal Microcontrollers C8051Fxxx Dodeka Silicon Laboratories. Moscow : Dodeka-XXI, 2008. 336 p. (in Russian).
5. *Nicolaiciuc O.* New series of microcontrollers C8051F35x Silicon Laboratories with 24-bit ADC // Schemotekhnika. 2004. No. 9. P. 17–19 (in Russian).
6. <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PL2303HX>
7. <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=ICL7660>
8. *Doerfel K.* Statistics in analytical chemistry. Moscow : Mir, 1994. 268 p. (in Russian).

## SIMPLE CONDUCTIVITY METER MTECH COND-350 FOR TITRATION

**O. Babiy, I. Patsay, O. Krasic'ka**

*Ivan Franko National University of Lviv,  
Kyryla i Mephodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine  
e-mail: mtech\_lab@ukr.net*

The conductivity meter MTech COND-350 based on the microcontroller C8051F350 (Silicon Labs, USA) for measuring the electrical conductivity of solutions and plotting curves of a conductometric titration has been designed. The conductivity meter can work both independently and under control of the personal computer. The conductivity meter has five ranges of measured electrical conductivity of solutions.

A computer program based on Visual Basic 5.0 language for operating the conductivity meter, visualization of the measured curves of conductometric titration, and calculation of the analysis results has been developed. It is suitable for titration of both concentrated and strongly diluted solutions. The error of scoping of the titrant volume does not exceed 2 ml.

The device is equipped with RS232-USB converter based on PL2303 chip for power supply and communication with the computer through USB port. Power supply of  $\pm 5$  V for operation amplifiers is based on USB port and DC-DC converter chip ICL7660.

The device was tested by determination of different acids via conductometric titration. Titration of strong acid such as  $\text{H}_2\text{SO}_4$  with strong base, e.g. KOH, shows that the equivalence point can be reliably located even in the case of highly diluted initial solution of acid up to  $10^{-5}$  mol/l. In the case of weak acids, the minimal value of the initial solution concentration is  $10^{-5}$  mol/l. In both cases, the conductance is high before KOH is added due to the presence of highly mobile hydrogen ions. When the base is added, the conductance falls due to the replacement of hydrogen ions by the added cation as  $\text{H}^+$  ions react with  $\text{OH}^-$  ions to form undissociated water. This decrease in the conductance continues till the equivalence point. At the equivalence point, the solution has the minimal value of the conductance. After the equivalence point, the conductance increases due to the large conductivity of  $\text{OH}^-$  ions.

The designed conductivity meter MTech COND-350 is very simple and cost-efficient. It is suitable for low frequency conductometric titration of strong and weak acid solutions with strong base.

*Keywords:* Conductivity meter, MTech COND-350, conductometric titration, analytical signal, measuring, determination, C8051F350 chip.

Стаття надійшла до редколегії 1.11.2017

Прийнята до друку 11.04.2018