

М.Ф. Буланий, О.В. Коваленко, О.В. Хмеленко, Є.Г. Плахтій
**ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ
СПЕКТРІВ ЕЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНІТНОГО
РЕЗОНАНСУ**

Анотація. Розроблено та виготовлено пристрій для автоматичного вимірювання спектрів електронного парамагнітного резонансу за допомогою зовнішнього мікроконтролерного (МК) блоку, який вимірює величину індукції магнітного поля та інтенсивність сигналу ЕПР з можливістю подальшого зберігання та обробки даних на ПК.

Ключові слова: спектрометр ЕПР, мікроконтролер, датчик Хола, магнітне поле, USB-порт, персональний комп'ютер, мікросхема.

Сучасні спектрометри ЕПР характеризуються високою роздільною здатністю та високою чутливістю. Але багато з них мають ручне керування та застарілу систему відображення даних, яка базується на паперових носіях інформації. Крім того, такі спектрометри мають досить незручну систему вимірювання та реєстрації магнітного поля, яка використовує датчик, побудований на використанні явища ЯМР. Така система точно вимірює статичні магнітні поля. При динамічних вимірюваннях вона веде себе нестабільно, що погано відображається на кінцевому результаті.

Виходячи з вище наведеного, нами було розроблено автоматичну систему вимірювання спектрів ЕПР за допомогою зовнішнього мікроконтролерного (МК) блоку, який вимірює величину індукції магнітного поля та інтенсивність сигналу ЕПР з можливістю подальшого зберігання та обробки даних на ПК. Важливою відмінністю створеного пристрою є вимірювання реального значення величини магнітного поля за допомогою термостабілізованого датчика Хола з великою точністю та стабільністю.

Роботу було виконано на спектрометрі ЕПР типа SE/X – 2543. Він характеризується наступними параметрами: чутливість – $5 \cdot 10^{10}$ спін/0.1 мТ; роздільна здатність – 0.01 мТ; діапазон робочих частот – 8.6 ч 9.8 ГГц. Для побудови автоматичного пристрою використано

термостабілізований датчик Хола ПХЭ607118А5, який було підключено до джерела струму, реалізованому на інтегральному стабілізаторі LM317L. Величина струму дорівнює – 119 мА.

Структурна схема підключення розробленого блоку до спектрометра та ПК наведено на рис. 1. Подібні схеми підключення застосовуються в багатьох випадках [1]. Для отримання первинної напруги живлення ± 20 В використовується блок живлення спектрометра ЕПР. Аналогова частина блоку містить стабілізатори напруги. Цифрова частина блоку керує величиною магнітного поля та передає дані оцифрованого сигналу за допомогою ПК. Розроблений пристрій може підключатися до ПК через COM або через USB-порт, або одночасно через обидва порти, але працювати при цьому буде тільки один з них, який вибрано у відповідній програмі [2].

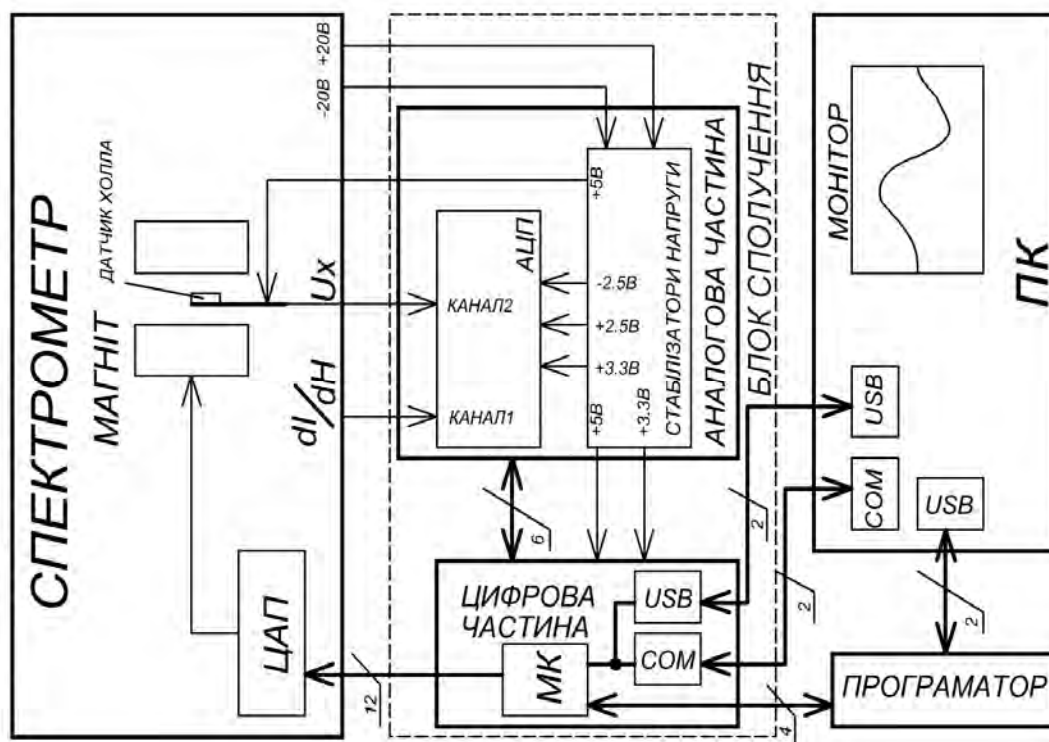


Рисунок 1 – Блок - схема пристрою до спектрометра ЕПР та ПК

Цифрова частина пристрою виконує функцію підключення аналогової частини АЦП до ПК через МК, який в свою чергу підключається до COM-порту ПК через перетворювач сигналів ST232, або до USB-порту через мікросхему FT232BL, яка являє собою віртуальний COM-порт. Мікросхема FT232BL підключена відповідно до стандарт-

ного опису використання [3]. Схема цифрової частини блоку приведено на рис. 2, а аналогової – на рис. 3.

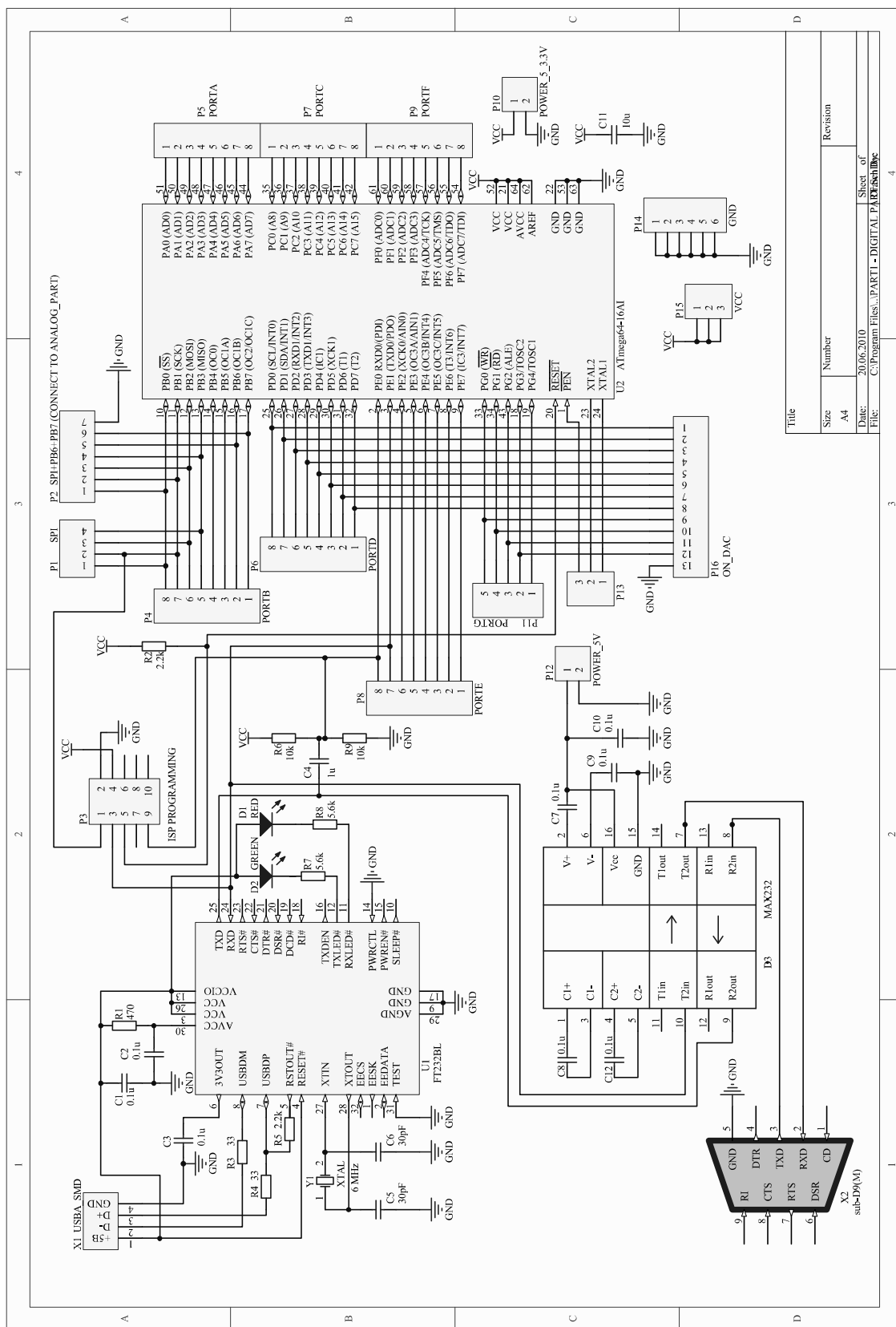
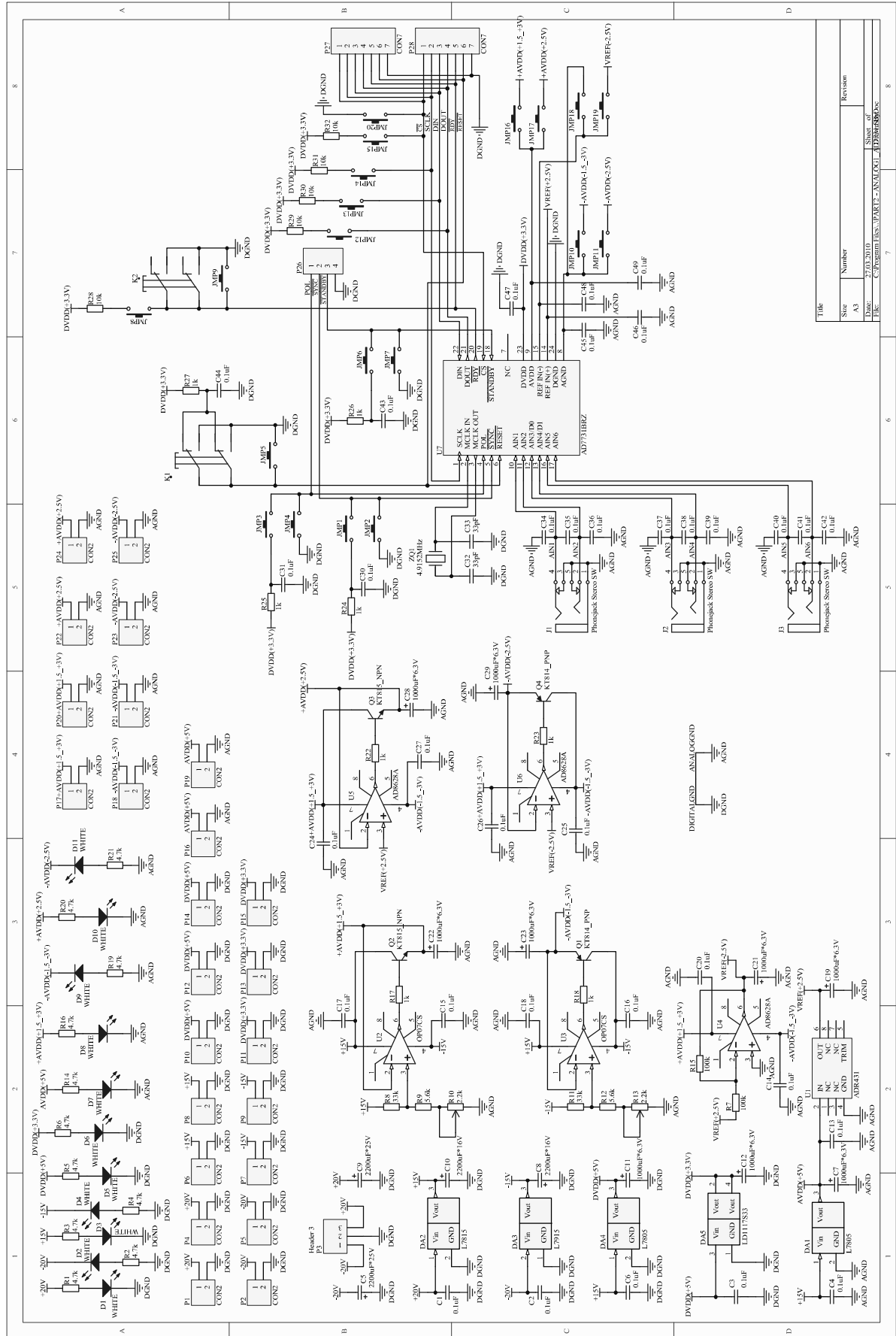


Рисунок 2 – Схема цифрової частини пристрою

Цифрова частина блоку живиться від напруг $+5\text{ В}$ та $+3.3\text{ В}$. Основну функцію в ньому виконує МК АТМega64, який містить в собі багато портів вводу/виводу [4]. Це гарантує можливість підключення при потребі додаткової периферії. В даному пристрої використовуються його апаратні RS-232 і SPI-інтерфейси, RS-232 для підключення до ПК через мікросхему ST232, SPI – для підключення до АЦП. Всі виводи портів вводу-виводу виведені на роз'єми для спрощення підключення додаткової периферії в разі необхідності.

Розроблений пристрій містить стабілізатори напруги: $\pm 15\text{ В}$ для живлення операційних підсилювачів, які в свою чергу включені по схемі джерел опорних напруг $+2\text{ ч }3\text{ В}$, $-2\text{ ч }3\text{ В}$; $+5\text{ В}$, $+3.3\text{ В}$. Стабілізатори напруг використано для живлення аналогової та цифрової частини пристрою.

На платі пристрою встановлені декілька перемичок для конфігурування АЦП, а також присутні дві кнопки: RESET – скидання АЦП та RDY – для імітації сигналу готовності АЦП для наступного перетворення. Використаний АЦП AD7731 має найбільшу розрядність на сьогоднішній день: теоретична розрядність становить 24 біта (реально 20-21 біта). Це дає можливість, при діапазоні вхідної напруги $0\text{ ч }5\text{ В}$, вимірювати значення напруги з точністю 1 мкВ . АЦП містить в собі декілька регістрів для його внутрішньої конфігурації. Один із регістрів відповідає за коефіцієнт підсилення вхідного сигналу, який можна запрограмувати рівним 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 [4], тобто можна звужувати діапазон вимірювання вхідної напруги до $\pm 20\text{ мВ}$. В процесі випробувань пристрою виявилось, що для досягнення більшої ефективної розрядності краще використовувати підсилювач, який знаходиться в АЦП. Для вимірювання сигналів від'ємної полярності треба подавати двополярне живлення. В складі АЦП міститься також регістр, який задає швидкість аналогово-цифрового перетворювача. При зміні швидкості перетворення змінюється і полоса пропускання фільтра, який стоїть на вході АЦП. Швидкість перетворення можна змінювати в діапазоні $50\text{ Гц ч }6.4\text{ кГц}$. Плата розведена так, що на роз'єми виведені всі аналогові входи, з яких 3 повністю диференційні. Ця конфігурація входів також програмується.



Size	Number	Revision
A3	7	1

Sheet of 1
 Date: 27.03.2016
 File: C:\Program Files\WIPREP-2\ANALOG\1\AD7731BZ.BOM

Рисунок 3 – Схема аналоговой части прибора

На платі аналогової частини пристрою аналогова і цифрова «земля» розділені і з'єднуються перемичкою тільки в одному місці.

Основна роль керування в пристрої належить МК АТМega64, який приймає команду з ПК і потім відповідно подає команду на АЦП. Основні команди дві: «запуск» і «зупинка» перетворення. Коли на ПК натиснули кнопку «запуск», МК починає конфігурувати АЦП на перетворення, зчитує з нього цифровий код і передає цей цифровий код на ПК, де відображається графік сигналу ЕПР. В процесі перетворення МК виставляє магнітне поле і після кожного аналогово-цифрового перетворення нарощує значення магнітного поля на одиницю, потім знову вимірюється напруга з датчика Холу. У результаті вимірювання АЦП відбувається по 2 каналам: один канал вимірює інтенсивність поглинання НВЧ енергії зразком, а другий - величину магнітного поля.

Таким чином, розроблено та виготовлено пристрій, який з'єднує спектрометр ЕПР з ПК. Він виконує функції керування та вимірювання магнітного поля з точністю 5 мкТл та вимірювання сигналу ЕПР. Розроблено дві програми: одна на мові ASSEMBLER на для МК, друга на мові VISUAL C++ 6.0 для ПК. Програми керують роботою спектрометра ЕПР, вимірюють значення магнітного поля, передають інформацію на ПК, що дозволяє її накопичувати та обробляти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пей Ан. Сопряжение ПК с внешними устройствами. М.: ДМК Пресс, 2001. – 320 с.
2. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. – М. Техносфера, 2010. – 328 с.
3. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы ATMEL – М.: ИП РадиоСофт, 2002 – 176 с.
4. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL» М.: Изд.дом «Додэка-XXI», 2004. 560 с.