

1.1 Основні поняття мікропроцесорних систем

Мікропроцесор (МП), мікроконтролер (МК), мікрокомп'ютер (МКП) слова схожі, але за змістом різні. Спрощена структурна схема типового мікропроцесора показана на рис 1.1. У його основі – центральний процесорний пристрій (ЦПП), який містить арифметичний обчислювач, логічне ядро і регістри загального призначення. Із зовнішнім світом ЦПП спілкується за допомогою трьох шин: адреси, даних і управління. По цих же шинах в нього поступають коди програми керування, яка зберігається на зовнішньому носії. Початкова установка регістрів ЦПП виконується по сигналу скидання RESET, а синхронізація роботи здійснюється від тактових імпульсів SYN.

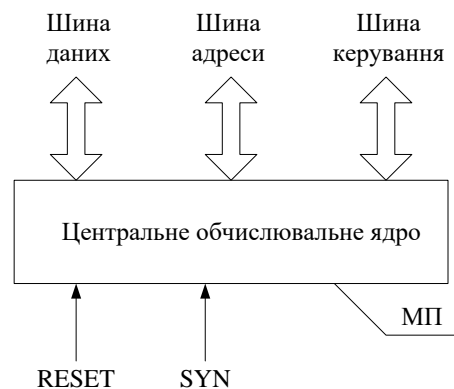


Рисунок 1.1 — Функціональна схема мікропроцесора (МП)

Якщо до ЦПП на кристал додати оперативний і постійний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП, ПЗП), таймери, лічильники, аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі (АЦП, ЦАП), інтерфейсні вузли і порти введення/виведення, то мікропроцесор перетвориться на МК (рис. 1.2). Тактові імпульси виробляє вбудований синхрогенератор, частота якого стабілізується кварцовим резонатором. Для програмування ПЗП використовується окремий вхід PROG або шина з декількох сигналів.

Раніше МК називали однокристальними мікро ЕОМ, віддаючи належне вітчизняним мікросхемам К1816ВЕхх, КР1830ВЕхх. Однак ця назва не закріпилася, оскільки зараз переважні позиції на ринку займають МК (microcontroller) закордонного виробництва сімейств AVR, MCS-51, PIC, Scenix, Z8.

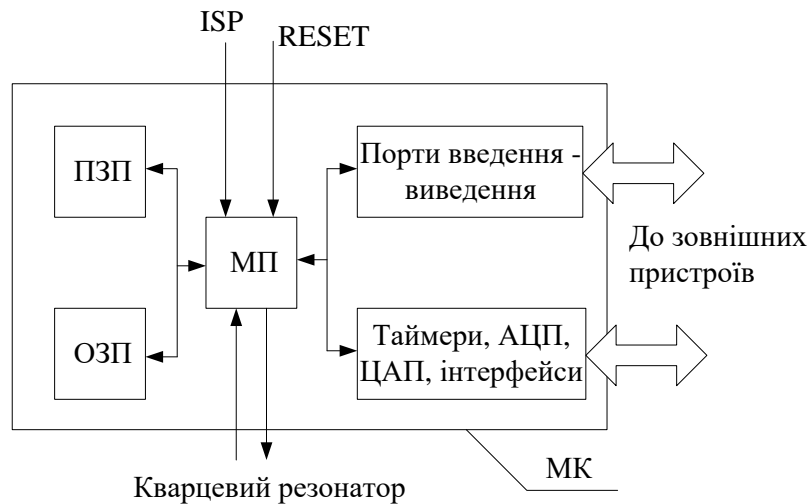


Рисунок 1.2 — Функціональна схема мікроконтролера (МК)

Мікроконвертор — це вдалий рекламний винахід фірми Analog Devices. Першим мікроконвертором був ADUC812, випущений в 1998 р. Ключове слово «MicroConverter» є офіційною торгівельною маркою і захищено юридичними правами фірми Analog Devices. Відноситься воно до лінійок мікросхем ADuC7xxx, ADuC8xx, що виконують функцію центрального ядра інтелектуальних систем збору інформації.

«Родзинкою» мікроконверторів є швидкодіючий прецизійний АЦП, доповнений універсальним блоком логічної обробки даних і багато розрядним ЦАП. Якщо врахувати наднизьке споживання струму і малі габарити мікроконверторів, то стає ясно, що спеціалізовані ІМС по праву займають свою нішу на ринку.

Проте, структурні схеми в мікроконверторів і МК повністю збігаються. Проте принципова різниця все ж є. Для звичайного МК спочатку вибирається цифрове обчислювальне ядро, а потім до нього додається АЦП і ЦАП. В протилежність цьому, ядром мікроконвертора спочатку служить зв'язка прецизійних АЦП і ЦАП, до яких додається процесор, що управляє.

Цифрові сигнальні процесори (англ. DSP - Digital Signal Processor) теж відносяться до мікроконтролерних пристроїв (рис. 1.3). Їх особливістю є обробка широкосмугових сигналів в режимі реального часу. Це характерно як для аудіо/відео техніки, так і для систем гнучкого управління роботизованими

комплексами. Досягненню мети сприяє висока швидкодія ядра сигнального процесора (СП), багатопотокова система обслуговування пам'яті і наявність апаратних математичних команд, наприклад, для швидкого перетворення Фур'є. Звичайні МК такими можливостями не володіють.

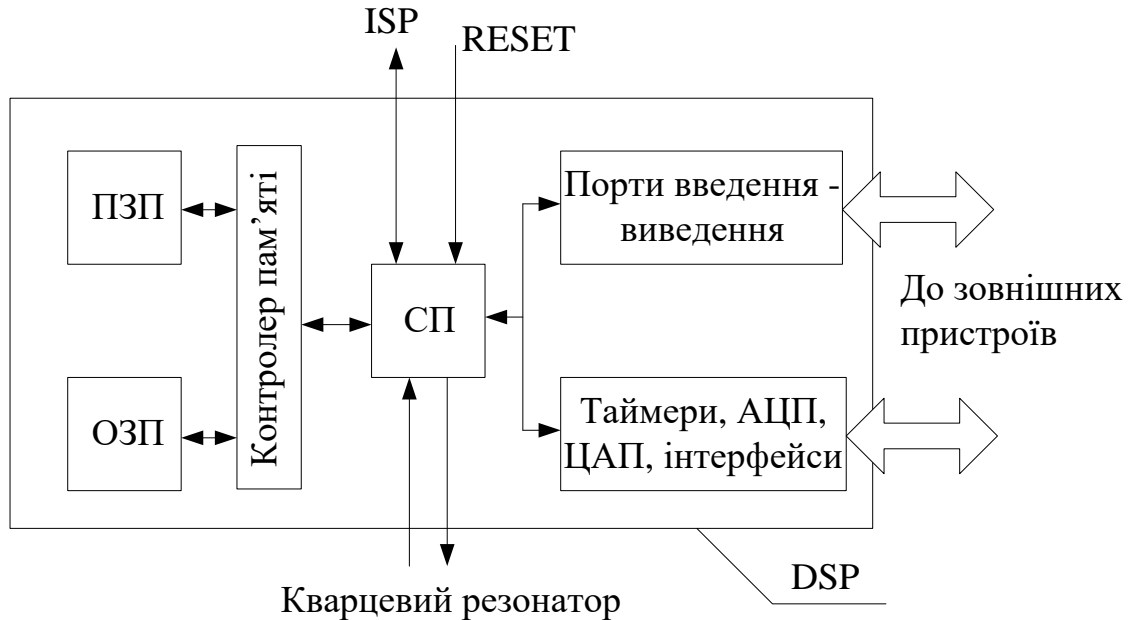


Рисунок 1.3 — Функціональна схема DSP

Перші DSP з'явилися в кінці 1970-х років через декілька років після перших МК, проте висока ціна і технологічні обмеження того часу не дозволили їм змагатися на рівних. Лише у 1982 р. фірма Texas Instruments зробила революційний прорив, випустивши в продаж перший універсальний програмований DSP TMS32010. Його концепція стала стандартом «де-факто» для всіх подальших сигнальних процесорів.

Відмінності в архітектурі і вузька спеціалізація привели до того, що напрям DSP/DSC виділився в окрему від МК сферу розробок з кількістю різновидів моделей більше 300. Вважається, що основною відмінністю DSP є відсутність розвиненої системи команд управління, тобто умовних переходів, непрямих викликів підпрограм, які необхідні для виконання завдань з'єднання із зовнішніми об'єктами. Процесор в DSP і його системі команд орієнтовані на найвищу швидкість перетворення вхідних даних, що поступають. На управлінські «дрібниці» обчислювальних ресурсів вже не вистачає.

Сучасні МК запозичують від DSP апаратне множення і спеціалізацію команд, а DSP запозичують від МК універсальні інтерфейси введення/виведення і гнучкість в платформі програмування. Грані відмінностей поступово стираються.

На початку 1980-х років японська фірма Hitachi почала використовувати термін «мікрокомп'ютер», яким стали називати швидкодіючі процесори лінійки «Hitachi SUPERH». У рекламі можливостей чипів «SUPERH microcomputer SH7000 series» підкреслювалося, що на одній мікросхемі тепер можна побудувати систему керування реального часу, що перевищує за продуктивністю звичайний настільний мікрокомп'ютер.

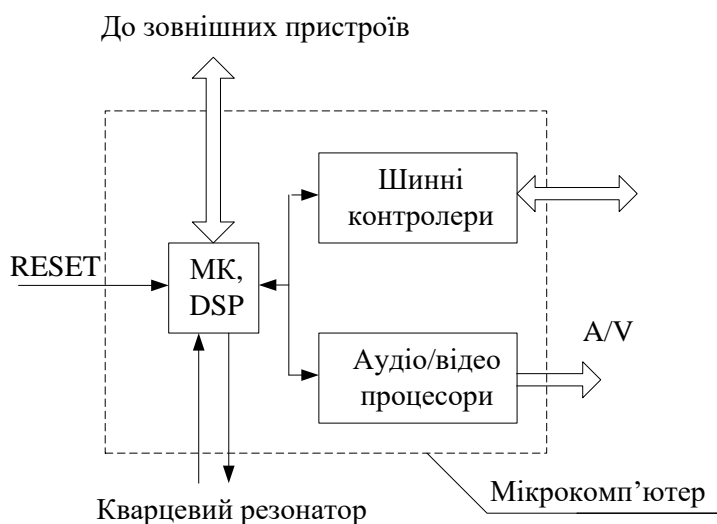


Рисунок 1.4 — Функціональна схема мікрокомп'ютера

Сучасний мікрокомп'ютер (рис. 1.4) містить всі складові МК або DSP, але додатково має контролер шин для підключення зовнішньої високошвидкісної пам'яті, а також аудіо- і відеопроцесори. Останні, як правило, не поступаються ЦПП за складністю та функціональністю. Приклади спрощених мікрокомп'ютерів з повсякденного життя — це однокристальні ВІС китайських клонів ігрових приставок «Dendy», «SEGA Mega Drive».

Мікропроцесор — це пристрій, який здійснює прийом, обробку і видачу інформації. Конструктивно МП містить одну або декілька інтегральних схем і виконує дії за програмою, записаною в пам'яті.

Мікропроцесорна система – обчислювальна, контрольно-вимірювальна або система керування, в якій основним пристроєм обробки інформації є МП. Мікропроцесорна система будується з набору мікропроцесорних ВІС.

Мультимікропроцесорна (або мультипроцесорна) система – система, яка утворюється об'єднанням деякої кількості універсальних або спеціалізованих МП, завдяки чому забезпечується паралельна обробка інформації і розподілене керування.

Мікропроцесорний комплект (МПК) — сукупність інтегральних схем, сумісних за електричними, інформаційними та конструктивними параметрами і призначених для побудови мікропроцесорних систем керування. Зазвичай МПК містить: ВІС МП (один чи кілька корпусів інтегральних схем); ВІС оперативних запам'ятовувальних пристроїв (ОЗП); ВІС постійних запам'ятовувальних пристроїв (ПЗП); інтерфейси або контролери зовнішніх пристроїв; службові ВІС (тактовий генератор, регістри, шинні формувачі, контролери шин, арбітри шин).

Жорстке розділення мікросхем на МК, мікропроцесори і DSP було характерне в кінці ХХ століття. У сьогодення грані відмінностей поступово стираються. МК усе частіше відносять до класу процесорів для вбудованих застосувань або, по-іншому, процесорів вбудованих систем (embedded processor). За визначенням, вбудовані обчислювальні системи – це системи, які безпосередньо, без постійної присутності людини, взаємодіють з датчиками і виконавчими пристроями керованого об'єкту.

Прикладами вбудованих систем є бортові і панельні комп'ютери, портативні вимірювальні прилади, системи відеоспостереження, роботи, мережеве устаткування, стільникові телефони.

Для досягнення максимальної універсальності і спрощення протоколів обміну інформацією в мікропроцесорних системах застосовується шинна структура зв'язку між окремими пристроями, що входять в систему.

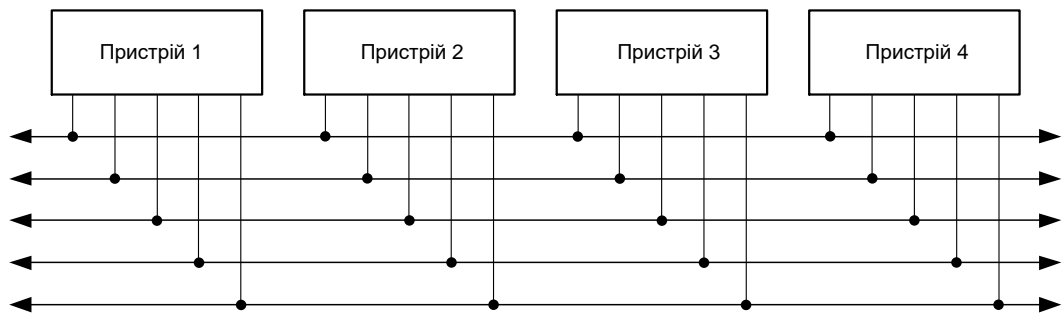


Рисунок 1.5 — Шинна структура зв'язків

При шинній структурі зв'язку (рис.1.5) всі сигнали між пристроями передаються по одних і тих же лініях зв'язку, але у різний час. Передача по всіх лініях зв'язку може здійснюватися в обох напрямках. У результаті кількість ліній зв'язку істотно скорочується, а правила обміну (протоколи) спрощуються. Група ліній зв'язку, по яким передаються сигнали або коди називається шиною (англ. bus). При шинній структурі зв'язку легко здійснюється пересилка всіх інформаційних потоків у потрібному напрямку, наприклад, їх можна пропустити через один процесор, що дуже важливо для мікропроцесорної системи. Проте при шинній структурі зв'язку вся інформація передається по лініях зв'язку послідовно в часі, по черзі, що знижує швидкодію системи у порівнянні з класичною структурою зв'язку.

Перевагою шинної структури зв'язку є те, що всі пристрої, що підключені до шини, повинні приймати і передавати інформацію за одними і тими ж правилами (протоколам обміну інформацією по шині). Відповідно, всі вузли, що відповідають за обмін з шиною в цих пристроях, повинні бути одноманітні, уніфіковані.

Недоліком шинної структури є те, що всі пристрої підключаються до кожної лінії зв'язку паралельно. Тому будь-яка несправність будь-якого пристрою може вивести з ладу всю систему. З цієї ж причини настройка системи з шинною структурою зв'язку досить складна і вимагає спеціального устаткування.

Типова структура мікропроцесорної системи наведена на рис. 1.6. Вона включає три основних типу пристроїв: процесор; пам'ять, що включає оперативну пам'ять ОЗП і постійну пам'ять ПЗП, яка служить для зберігання даних і програм; пристрої введення/виведення (ПВВ, I/O - Input/Output Devices),

які призначені для зв'язку мікропроцесорної системи із зовнішніми пристроями; для приймання (введення, читання, Read) вхідних сигналів і передавання (виведення, запис, Write) вихідних сигналів.

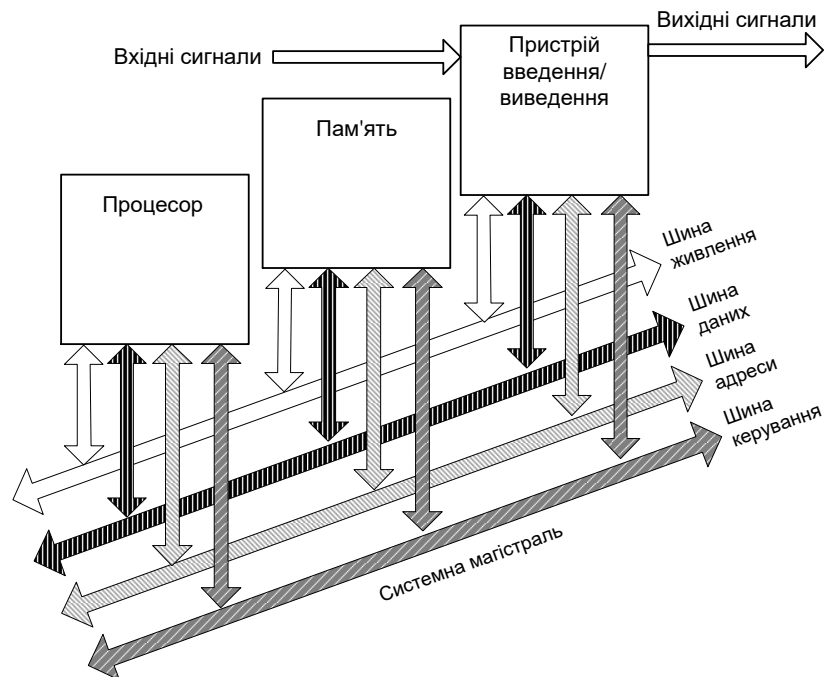


Рисунок 1.6 — Структура мікропроцесорної системи

Усі пристрої мікропроцесорної системи об'єднуються загальною системною шиною (вона ж називається ще системною магістраллю або каналом). Системна магістраль включає чотири основні шини нижнього рівня: шина адреси (Address Bus); шина даних (Data Bus); шина керування (Control Bus); шина живлення (Power Bus).

Шина адреси служить для визначення адреси пристрою, з яким процесор обмінюється інформацією в даний момент. Кожному пристрою (окрім процесора), кожному елементу пам'яті в мікропроцесорній системі задається власна адреса. Коли код якоїсь адреси виставляється процесором на шині адреси, пристрій, якому ця адреса призначена, розуміє, що його чекає обмін інформацією.

Шина даних — це основна шина, яка використовується для передачі інформаційних кодів між всіма пристроями мікропроцесорної системи. Звичайно в пересилці інформації бере участь процесор, який передає код даних в якийсь пристрій або в елемент пам'яті чи ж приймає код даних з якогось пристрою або з

елементу пам'яті. Але можлива також і передача інформації між пристроями без участі процесора. Шина даних завжди двохнаправлена.

Шина керування на відміну від шини адреси і шини даних складається з окремих сигналів керування. Кожний з цих сигналів під час обміну інформацією має свою функцію. Деякі сигнали служать для того щоб синхронізувати дані, що передаються або приймаються. Інші сигнали керування можуть використовуватися для підтвердження прийому даних, для скидання всіх пристроїв в початковий стан. Лінії шини керування можуть бути однонаправленими або двохнаправленими.

Шина живлення призначена не для пересилки інформаційних сигналів, а для живлення системи. Вона складається з ліній живлення і загального дроту. У мікропроцесорній системі може бути одне джерело живлення (частіше +5В) або декілька джерел живлення (звичайно ще -5В +12В і -12В). Кожній напрузі живлення відповідає своя лінія зв'язку. Всі пристрої підключені до цих ліній паралельно.

У мікропроцесорній системі всі інформаційні коди і коди команд передаються по шинах послідовно, по черзі. Це визначає порівняно невисоку швидкість мікропроцесорної системи. Воно обмежене навіть не швидкістю процесора (яке теж дуже важливо) і не швидкістю обміну по системній шині, а саме послідовним характером передачі інформації по системній шині.

1.2 Архітектура AVR мікроконтролерів

На рис. 1.7 наведена узагальнена структурна схема плати Arduino-UNO. Ядром Arduino є AVR-контролер, що тактується від кварцового резонатора частотою 16 МГц. Лінії портів МК виводяться назовні на контактну «гребінку» плати без яких-небудь обмежувальних або захисних елементів. Початкове скидання проводиться кнопкою SB1. На платі є 4 світлодіодних індикатора, з яких 3 службові та один («L») користувача.

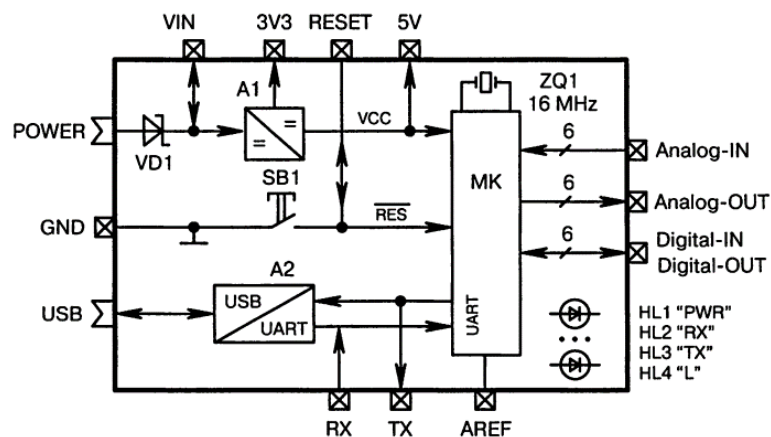


Рисунок 1.7 — Структурна схема Arduino-UNO

Зв'язок з комп'ютером здійснюється через конвертор USB-UART. Живлення на нього та на Arduino 5В надходить від комп'ютера. Також передбачено зовнішнє живлення через роз'єм POWER від «мережевої вилки» з напругою 9... 12 В. Система живлення Arduino-UNO показана на рис. 1.8.

Вхідні і вихідні сигнали МК поділяються за функціональною ознакою на такі групи: цифрові входи (IN), цифрові виходи (OUT), аналогові входи (АЦП), аналогові виходи (ШІМ). Схемотехніка підключення зовнішніх вузлів по входу та виходу буде такою ж, як і для звичайних МК.

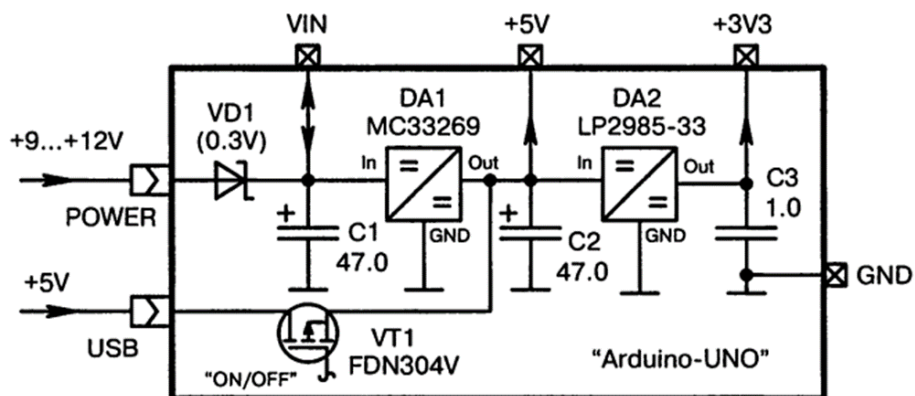


Рисунок 1.8 — Схема організації живлення в Arduino-UNO

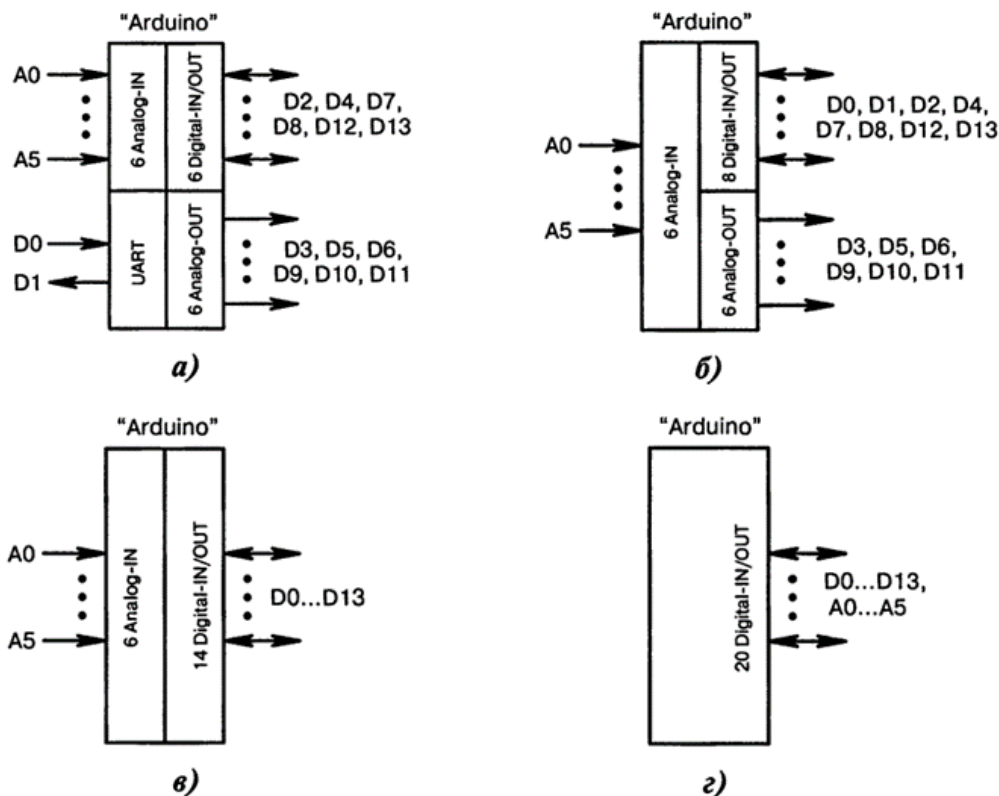


Рисунок 1.9 — Конфігурація пінів Arduino: а) повна; б) без сигналів UART: в) без аналогових виходів; г) без аналогових входів

Контакти «гребінки» 5V та 3V3 захищені від короткого замикання на загальний провід GND внутрішніми стабілізаторами DA1, DA2.

Кількість програмно доступних портів в Arduino не є константою. В залежності від налаштувань регістрів допускається різне поєднання цифрових та аналогових входів та виходів (рис. 1.9). Лінії портів Arduino прийнято називати «пінами» (pin). В Інтернеті часто застосовуються терміни «порт», «лінія». Нумерація пінів наскрізна. Цифрові піни позначаються літерою «D», аналогові піни — літерою «A». Цифрові піни D0 та D1 відіграють особливу роль. Вони налаштовані на канал UART, який може в будь-який час необхідний для передачі даних в комп'ютер при налагодженні програми.

Розробники не встановлюють обмежень на тип МК, застосовуваний у Arduino, тому в його численних клонах використовують 8...32-бітні AVR, PIC-ARM-, Cortex-контролери. Кількість пінів (портів вводу/виводу) також може відрізнятися. Але для всіх моделей Arduino залишається незмінним принцип поділу портів на цифрові та аналогові, на входи та виходи.

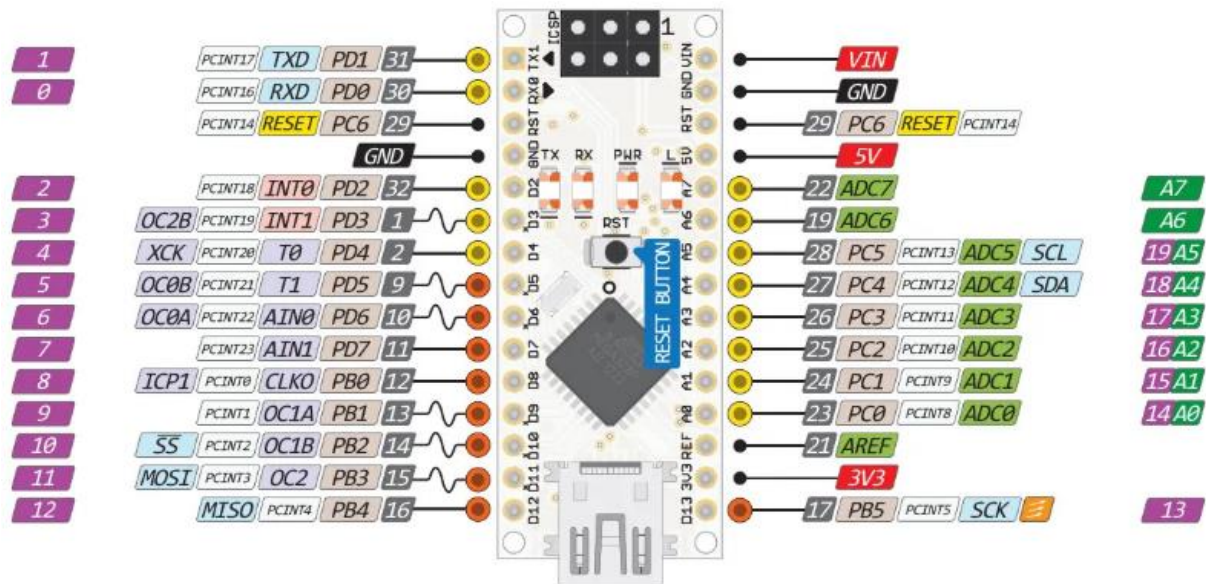


Рисунок 1.10 — Призначення виводів плати Arduino NANO

Плата Arduino NANO – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328 (рис. 1.10). До його складу входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 виводів можуть використовуватися як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішнього схемного програмування (ICSP) та кнопка скидання. Для початку роботи з платою необхідно подати живлення від AC / DC-адаптера, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Для роботи з платою Arduino Nano в операційній системі Windows необхідно встановити на комп'ютер інтегроване середовище розробки Arduino IDE (Integrated Development Environment).

Входи і виходи плати Arduino NANO:

- послідовний інтерфейс: виходи 0 (RX) і 1 (TX), що використовуються для отримання (RX) та передачі (TX) даних по послідовному інтерфейсу. Ці виводи з'єднані з відповідними виводами мікросхеми ATmega8U2 на платі Arduino Nano, яка виконує роль перетворювача USB-UART;
- зовнішні переривання: виводи 2 і 3, які можуть служити джерелами переривань, що виникають при фронті, спаді або при низькому рівні сигналу на цих виводах.

- ШІМ-виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11 — інтерфейс SPI: виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK);
- світлодіод є вбудованим, приєднаний до виводу 13. Рівень HIGH включає світлодіод, LOW — виключає;
- 6 аналогових входів (A0 - A5), кожен з яких може представити аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа. За замовчуванням, вимір напруги здійснюється у діапазоні від 0 до 5 В;
- Reset: формування низького рівня (LOW) на цьому виводу призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей вивід служить для функціонування кнопки скидання на платах розширення;
- 3V3: напруга на даному виводі +3.3 В, що генерується вбудованим регулятором на платі. Максимальне споживання струму 50 мА. Від цього виводу можуть житися деякі апаратні модулі;
- 5V: напруга на даному виводі +5 В, що генерується вбудованим регулятором на платі Arduino NANO;
- GND: земля, або загальний мінус;
- Vin: використовується для подачі живлення від зовнішнього джерела в відсутності живлення 5 В від роз'єму USB, наприклад, коли необхідно запустити плату Arduino окремо від комп'ютера;
- TWI / I2C: вивід A4 або SDA та вивід A5 або SCL;
- AREF: опорна напруга для аналогово-цифрового перетворювача.

Рівень напруги на виводах обмежений 5В, максимальний струм, який може віддавати або споживати один порт, становить 40 мА. Всі виводи пов'язані з внутрішніми резисторами номіналом 20-50 кОм.