

ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Модуль 3. Схеми радіоелектроніки

Лекція № 5

Викладач:
Кан.-фіз. мат. наук, доцент КЯФ

Єрмоленко Руслан Вікторович

План лекції

- Імпульсні генератори
- Цифрові сигнали
- Цифрові логічні елементи
- Шифратори / Дешифратори
- Змінна логіка
- Мультивібратор
- RS-тригер
- Регістр — набір тригерів

Література

- Исаков.Ю.А., Платонов А.П. Основы промышленной электроники. К.:Техніка, 1976..
- И.П. Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., Энергия, 1977.
- Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. Изд. 2-е. гл.5, п.13, гл.6, п.8. М.: Радио и связь, 1985..
- Москатов Е.А. Электронная техника. Таганрог, 2004.

Імпульсні генератори

Імпульси можна генерувати за допомогою лінійних RC ланцюжків: диференціюючого та інтегруючого, але отримані параметри імпульса (тривалість, амплітуда, крутизна фронту) не є задовільними.

Для створення електричних імпульсів слугують імпульсні генератори - тривалість імпульса $10^{-9} - 10^{-1}$ [с].

За способом збудження поділяють на:

- з самозбудженням (автоколивальні);
- з зовнішнім збудженням;
- очікуючий(загальмований) режим спрацювання (форма та параметри вихідного імпульса не залежать від зовнішніх імпульсів).

Для виконання умови **самозбудження** створюють позитивний зворотній зв'язок ПЗЗ.

Для роботи у загальмованому режимі ланцюг ПЗЗ модифікують на спровокування від зовнішнього запускаячого імпульса.

Усі генератори мають **два стійких стани рівноваги**, перехід з одного в інший триває стрибкоподібно (виникає регенеративний процес - лавина).

Регенеративні пристрої дозволяють генерувати прямокутні імпульси з високою крутизою фронту та зріза, формувати перепади напруги та струмів.

Усі регенеративні генератори поділяються на дві групи:

- пускові пристрої - тригери Особливість полягає у відсутності реактивних елементів, перехід з одного стійкого стану в інший триває за допомогою керуючої напруги.
- релаксаційні генератори імпульсів Присутні реактивні елементи (ємність), що виконують роль накопичувача енергії. У таких генераторах регенеруючі процеси чергуються з релаксаційними (повільні зміни енергії накопичувача).

Релаксаційні регенеративні генератори імпульсів поділяються на:

- мультивібратори;
- одновібратори;
- блокінг-генератори;
- фантастроні генератори.

Широко розповсюджені генератори на операційних підсилювачах.

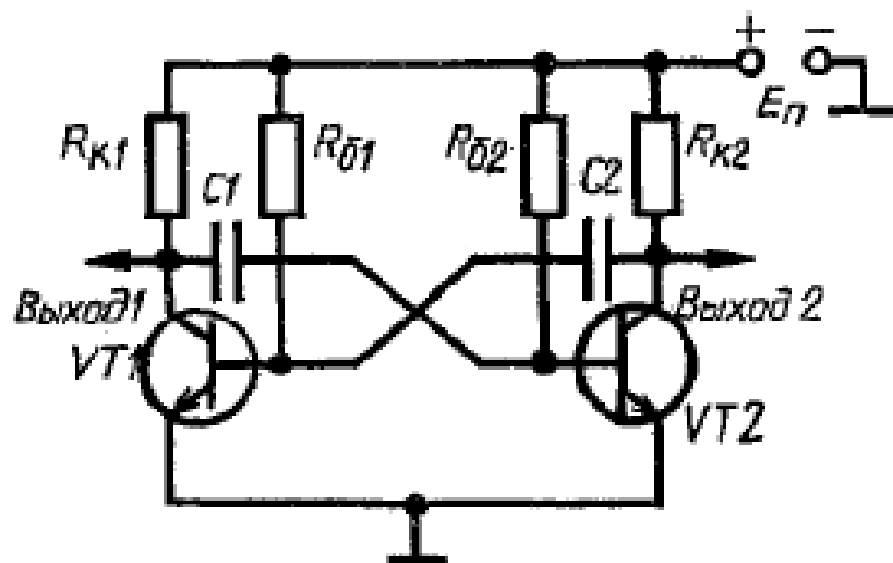


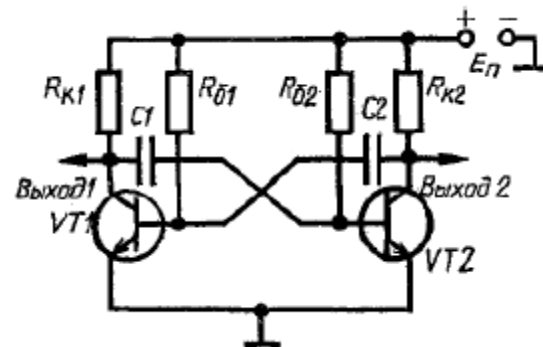
Схема: Двукаскадний підсилювач з позитивним оберненим зі'язком замкненим у ланцюгову схему:

Вихід першого підсилювача з'єднан зі входом другого, а вихід другого з входом першого.

Якщо $R_{K1} = R_{K2}$, $R_{B1} = R_{B2}$, $C_1 = C_2$ мультивібратор є **симетричний**.

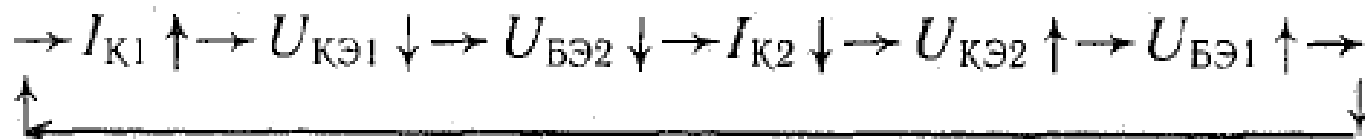
Автоколивальний мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками.

- ❶ При підключенні джерела живлення струми проходять крізь транзистори $VT1$ та $VT2$.
- ❷ Одночасно починається зарядка конденсаторів $C1$ та $C2$. Напруга на конденсаторах U_{C1} та U_{C2} зростає за експоненційним законом.

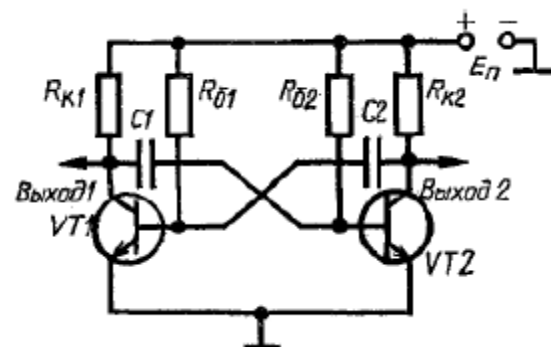


- Зі збільшенням колекторних струмів транзисторів збільшуються і коефіцієнти підсилення пліч мультавibratorа. Доки $\beta K < 1$, (β - коефіцієнт передачі ланцюга ПЗЗ, K - коефіцієнт підсилення) триває збільшення колекторних струмів транзисторів та напруг U_{C1} та U_{C2} . Мультавibrator працює як двукаскадний підсилювач з ПЗЗ.
- Будь яка асиметрія призводить до збільшення колекторного струма одного з транзисторів. При $\beta K > 1$ з'являється регенераційний процес.
- Нехай $I_{K1}(VT1) > I_{K2}(VT2)$, як наслідок колекторна напруга першого транзистора U_{K1} , що передається крізь конденсатор $C1$ на базу транзистора $VT2$ та зменшує колекторний струм I_{K2} цього транзистора.
- Зменшення струма I_{K2} супроводжується збільшенням колекторної напруги транзистору $VT2$, яке крізь конденсатор $C2$ передається на базу $VT1$, та призводить до ще більшого зростання колекторного струма I_{K1} , зменшенню колекторної напруги U_{K1} у $VT1$.

Взагалі алгоритм можна описати таким чином:



Процес триває до переходу транзистора $VT1$ у режим насичення, а $VT2$ - відсічки.



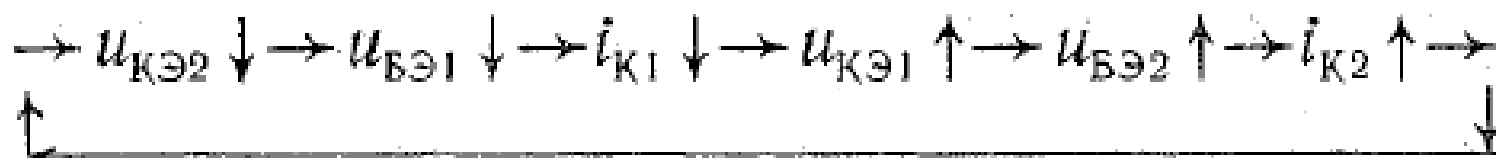
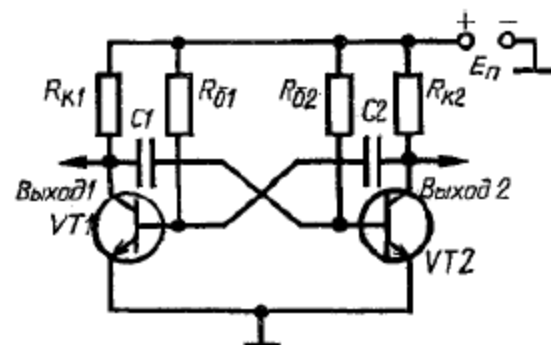
- ➊ При відкритому та насиченому транзисторі $VT1$ конденсатор $C1$ підключен крізь малий опір r_{KE1} між базою та емітером транзистора $VT2$. Від'ємна напруга $U_{BE2} = -U_{C1}$ підтримує транзистор $VT2$ у закритому стані.
- ➋ У стані, що називається квазістійким(квазірівноважним) мультивібратор буде знаходитись протягом часу розрядки $C1$ по ланцюгу:

$$+E_{\Pi} \rightarrow R_{\delta 2} \rightarrow C1 \rightarrow \text{коллектор} - \text{емітер } VT1 \rightarrow -E_{\Pi}.$$

В той ж самий час триває зарядка $C2$ за ланцюгом:

$$+E_{\Pi} \rightarrow R_{\kappa 2} \rightarrow C2 \rightarrow \text{база} - \text{емітер } VT1 \rightarrow -E_{\Pi}.$$

- ➌ Елементи R_K та R_B обирають так, щоб час зарядки конденсатора був більше за час перезарядки.
- ➍ $C2$ встигне зарядитись до колекторної напруги закритого транзистора $VT2 \sim +E_{\Pi}$
- ➎ Закінчивши зарядку конденсатор $C2$, транзистор $VT1$ буде утримуватись у режимі насичення за рахунок протікання струма бази $I_{B1} = I_{Bнас} = \frac{E_{\Pi}}{R_{B1}}$
- ➏ Конденсатор $C1$ заряджається, разом з цим зростає напруга U_{C1} та досягає 0. З цього моменту $VT2$ відкривається, його колекторна напруга U_{KE2} зменшується та в мультивібраторі вмикається ланцюг ПЗЗ, що викликає лавиноподібний процес:



Закінчується закриттям транзистора $VT1$, та переходом у режим насичення транзистора $VT2$.

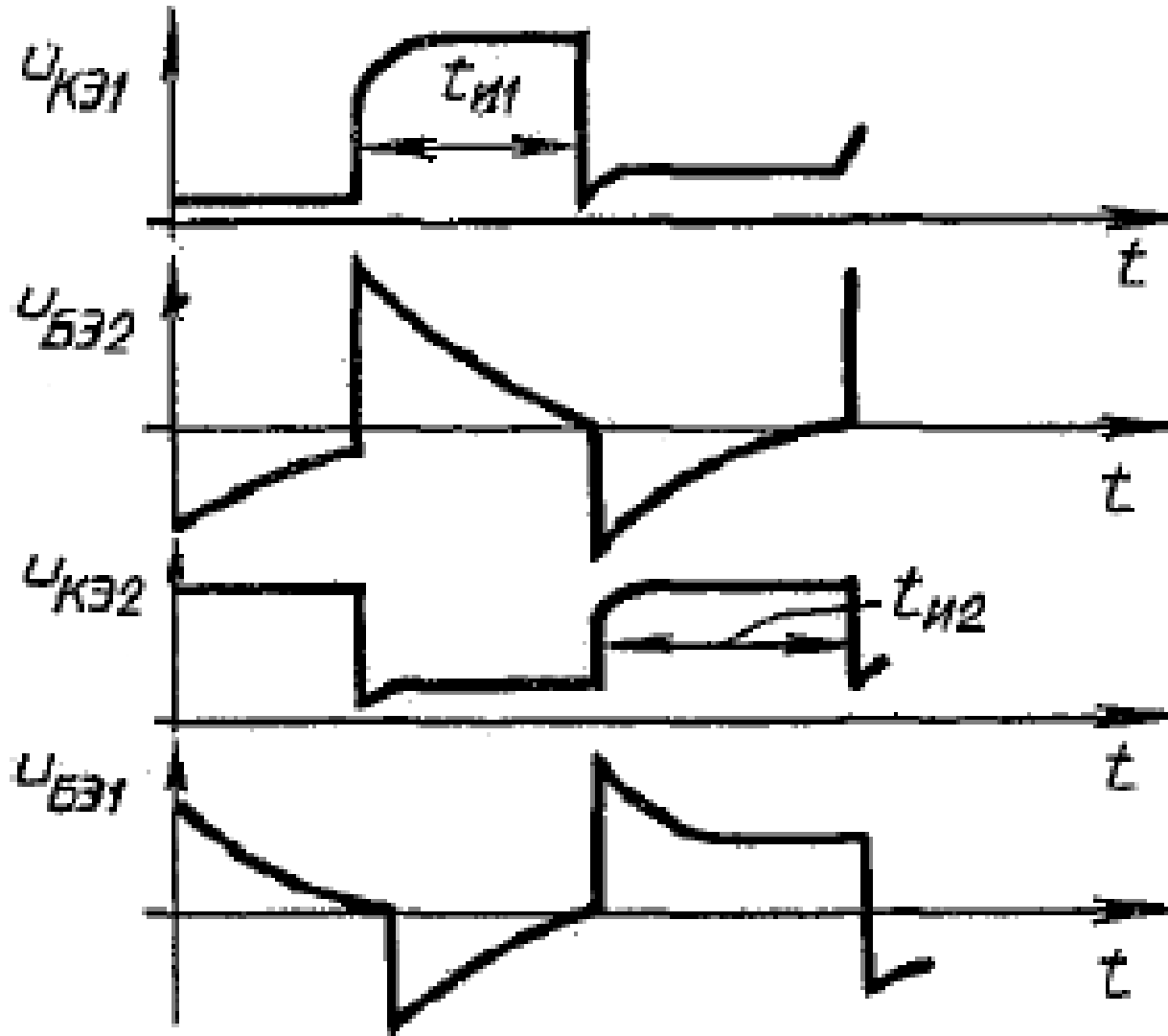
- Мультивібратор перейде у 2 квазістаціонарний стан рівноваги, в якому $C1$ заряджається за ланцюгом:

$$+E_{\pi} \rightarrow R_{K1} \rightarrow C2 \rightarrow \text{база} - \text{емітер } VT2 \rightarrow -E_{\pi}$$

та перезарядить конденсатор $C2$ за ланцюгом:

$$+E_{\pi} \rightarrow R_{\delta1} \rightarrow C2 \rightarrow \text{колектор} - \text{емітер } VT2 \rightarrow -E_{\pi}.$$

- Транзистор $VT1$ підтримується у закритому стані напругою U_{C2} , яка під'єднується крізь малий опір r_{KE2} між його базою та емітером, мінусом до бази. Стан утримується доки U_{C2} не досягне нудевого значення. З цього моменту починається новий лавиноподібний процес.



Час закритого стану транзистору $VT1$ або тривалість додатнього імпульса, знімаємо з виходу 1, визначається перезарядкою конденсатора $C2$ та розраховується за:

$$t_{н1} \approx C2R_{61} \ln 2 \approx 0.7C2R_{61}$$

$$t_{н2} \approx C1R_{62} \ln 2 \approx 0.7C1R_{62}$$

Період повторення:

$$T = t_{н1} + t_{н2} = 0.7(C1R_{62} + C2R_{61})$$

Якщо мультивібратор симетричний:

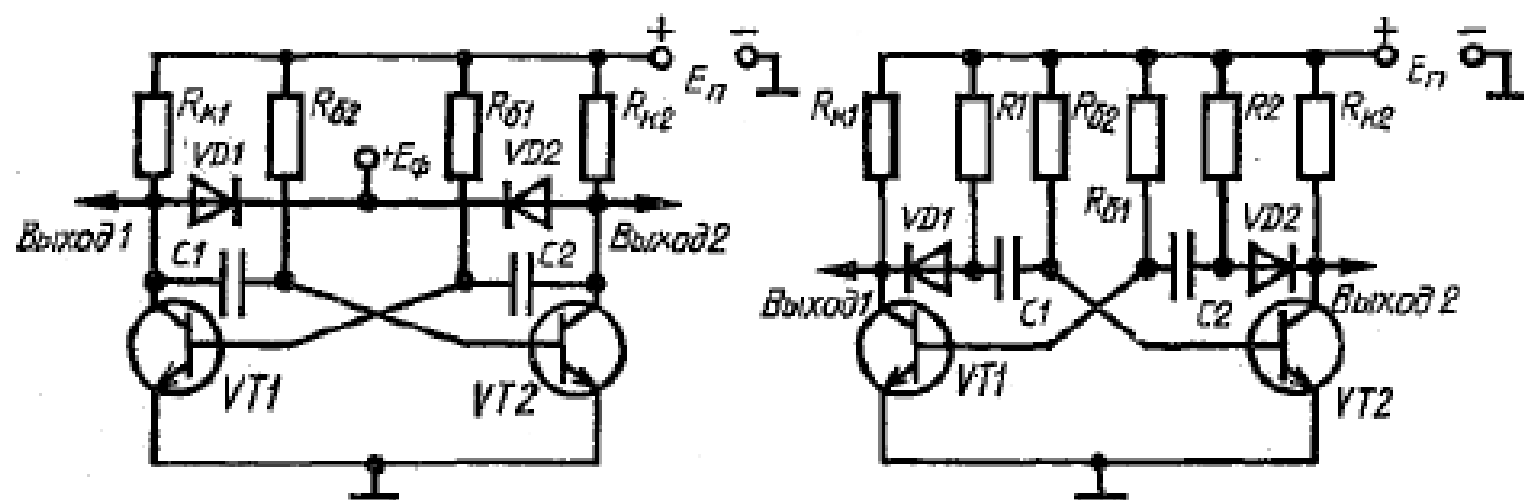
$$C1 = C2 = C$$

$$R_{61} = R_{62} = R_6$$

$$t_{н1} = t_{н2} = 0.7CR_6$$

$$T \approx 1.4CR_6$$

Для покращення форми імпульса в мультівібратори вводять фіксуючі або відсікаючі діоди.



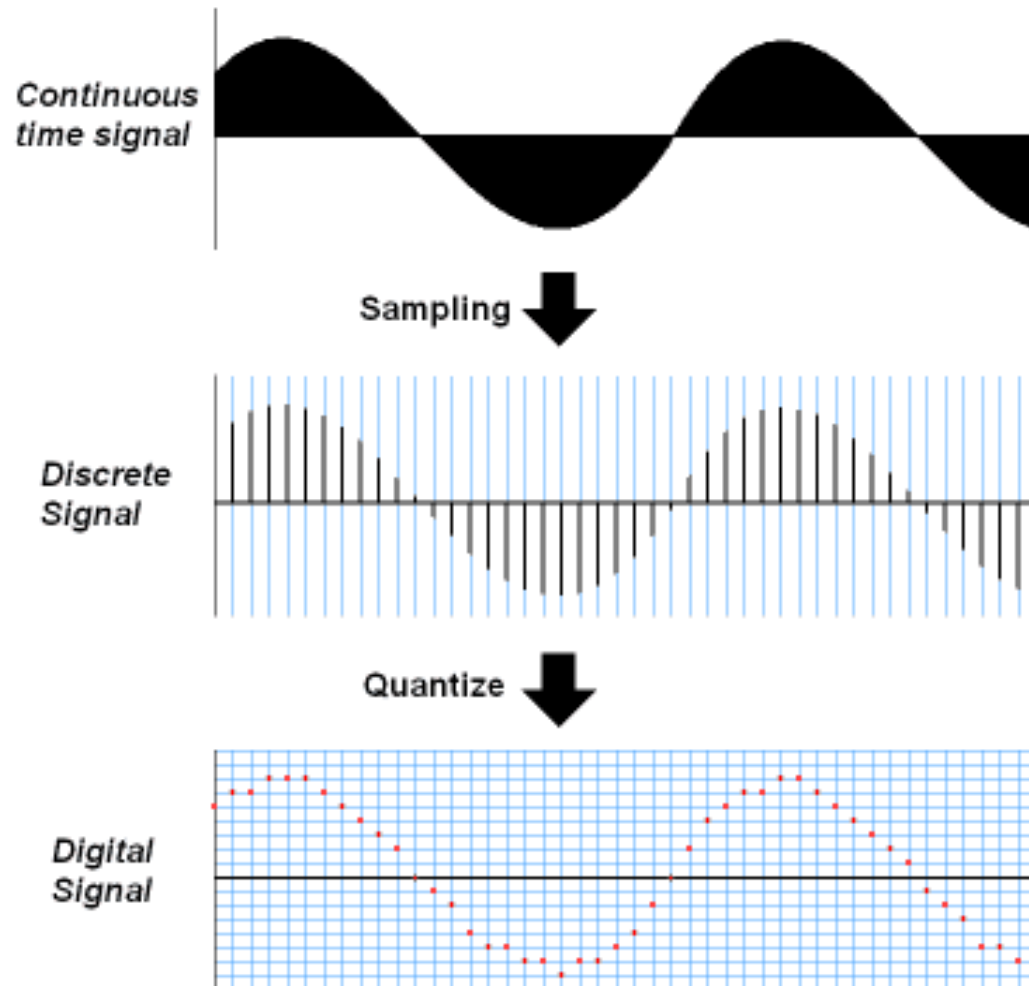
В мультивібраторах з фіксуючими діодами колекторна напруга збільшується не до рівня E_{Π} , а до рівня $E_{\Phi} < E_{\Pi}$.

При $U_{KE} < E_{\Phi}$ відповідний діод відкривається і колекторна напруга фіксується на цьому рівні \rightarrow зменшується тривалість фронту вихідних імпульсів.

Відсікаючи діоди відключають закритий транзистор від ланцюга заряду конденсаторів С1 С2, тому колекторна напруга не залежить від напруги на під'єднаному конденсаторі \rightarrow більш крутий фронт імпульса.

Цифровий функціональний генератор

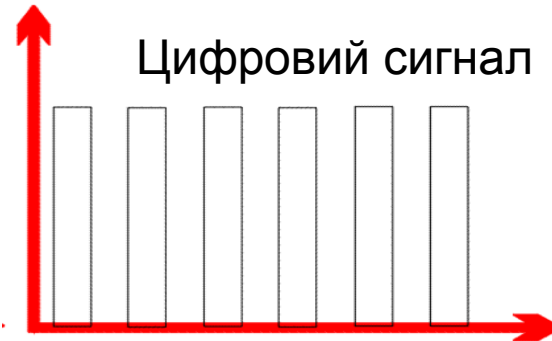
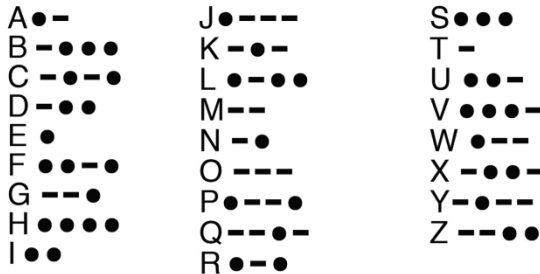
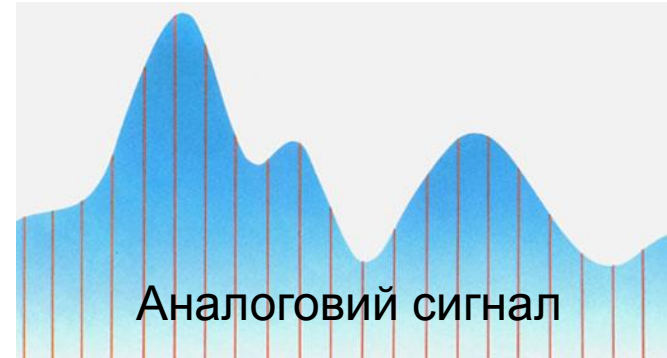
Figure 1. Analog and Digital Signals



Цифрова схемотехніка

Цифрові сигнали

Якщо проводити аналогії між видами азбуки та сигналами, то:



Цифровий сигнал — електричний сигнал, який описується дискретною функцією часу (дискретний сигнал)

Цифровий сигнал має два логічних стани — **0** та **1**. Кожному із цих станів відповідає певний рівень напруги.

Цифрові сигнали



- Все, що над шумовим прогом, читається, як «чистий» сигнал
- Несприятливий до невеликих коливань амплітуди сигналу
- На цифровому сигналі легше будувати логіку
- Цифрова інформація краще зберігається



- Всі сигнали в природі — аналогові. Завжди треба робити перетворення
- Аналоговий сигнал має більше характеристик — його легше розпізнати в умовах високого фону
- Цифрові пристрої повільніші за аналогові

Електронні логічні елементи

Перше, що треба зробити, щоб зробити з набору електронних елементів розрахункові схеми — організувати найпростіші логічні операції.

Логічні елементи — це пристрої, призначені для виконання певних логічних операцій, що працюють в основному з цифровими сигналами.

Логічних задач багато — які логічні елементи охоплять усі цікавлячі нас задачі?

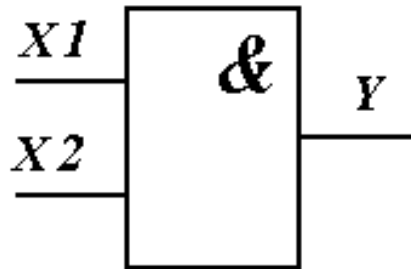
?

Логіку будь-якої складності можна побудувати на трьох логічних елементах:

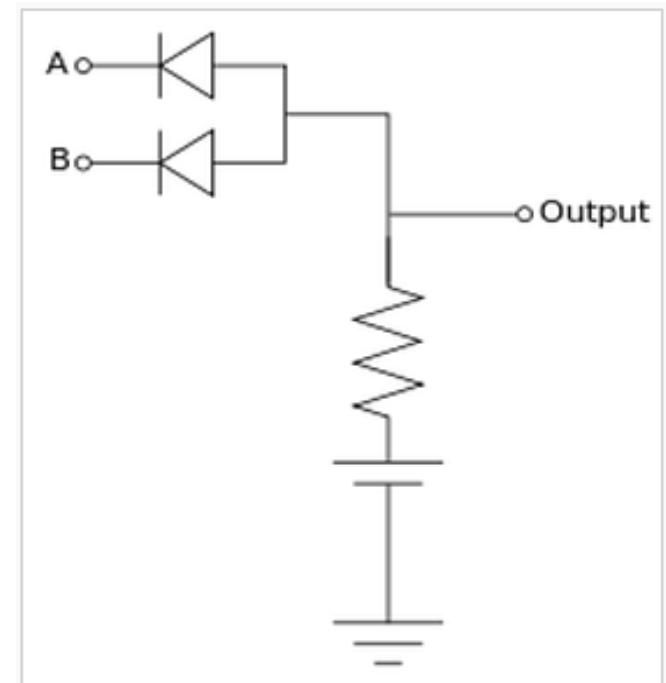
I-НІ-АБО



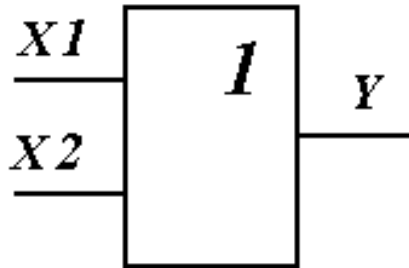
Логічне «І»



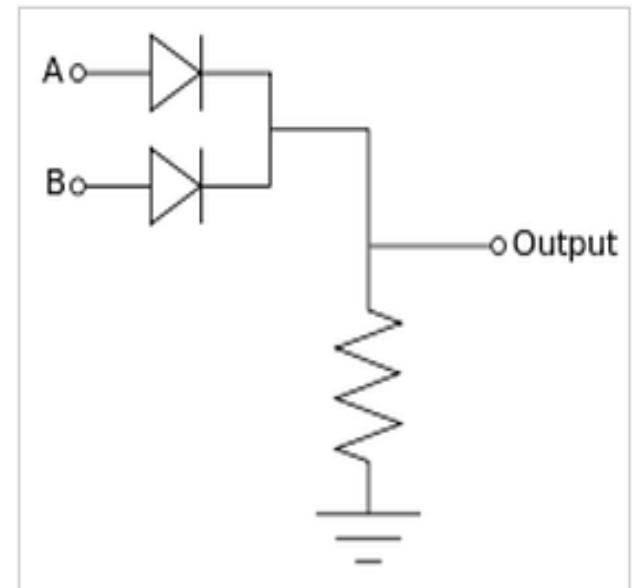
X1	X2	Y
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0



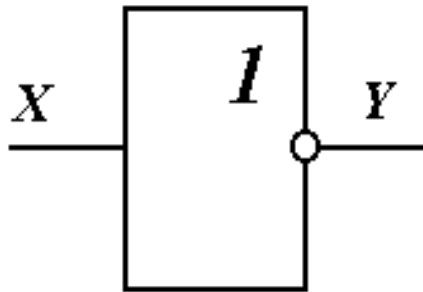
Логічне «АБО»



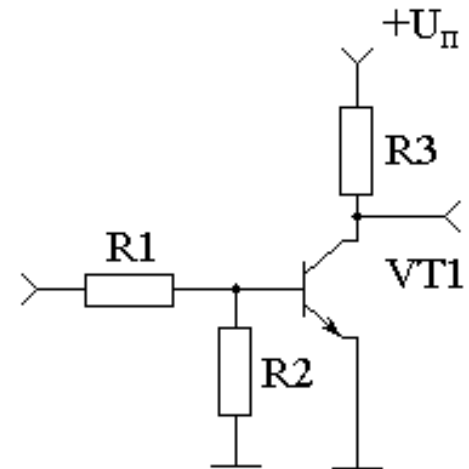
X1	X2	Y
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0



Логічне «НІ»



X	Y
0	1
1	0



Основні правила цифрової логіки

Правила додавання

$$A + 1 = 1$$

$$A + A = A$$

$$A + 0 = A$$

$$A + \bar{A} = 1$$

Правила множення

$$A \cdot 1 = A$$

$$A \cdot A = A$$

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

$$A + AB = A$$

$$A(A + B) = A$$

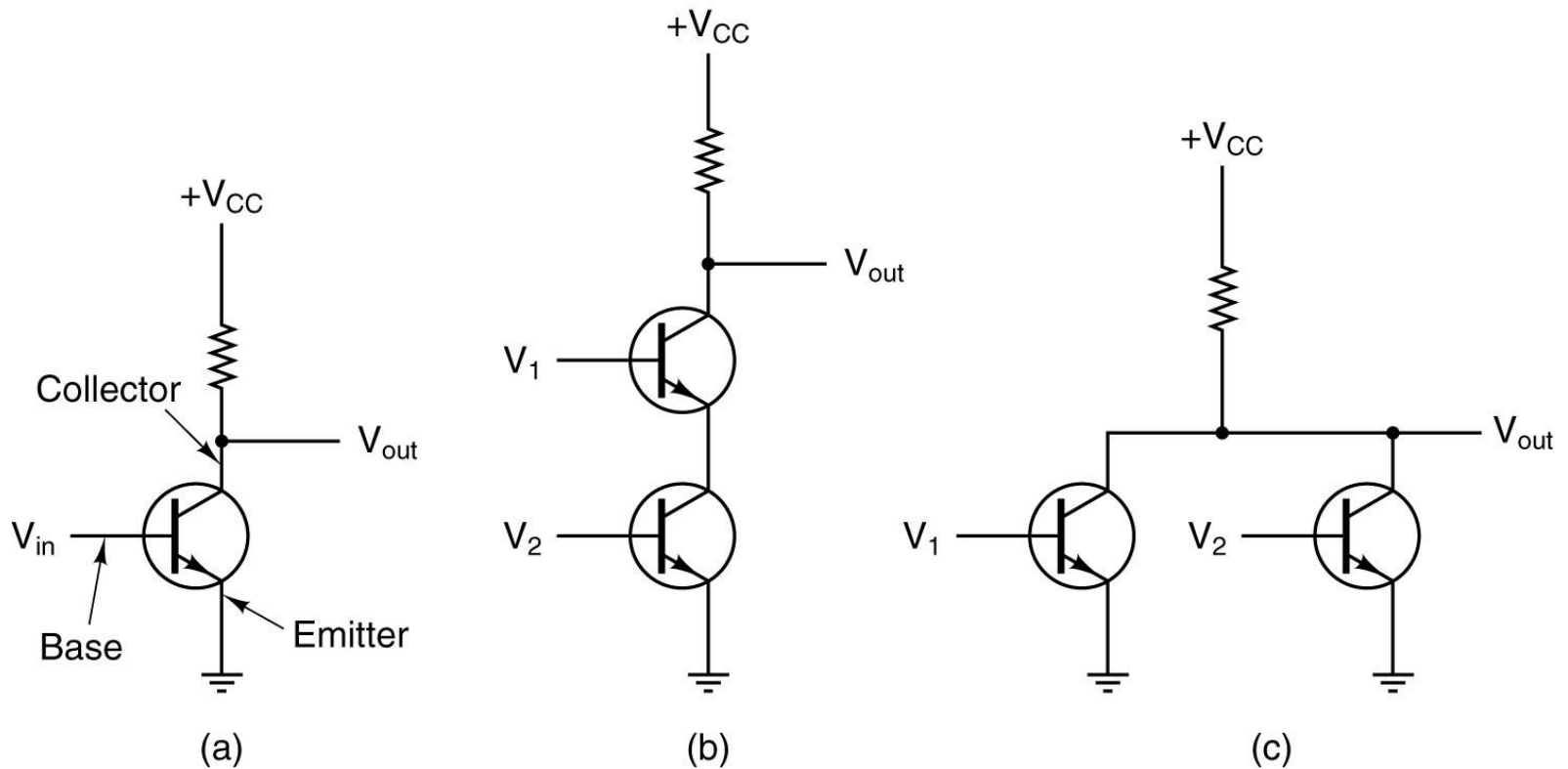
$$(A + B)(A + C) = A + BC$$

Співвідношення де Моргана

$$\overline{A \cdot B \cdot C \dots} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \dots$$

$$\overline{A + B + C + \dots} = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \dots$$

Логічні елементи

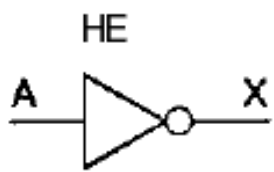


(a) Транзисторний інвертор

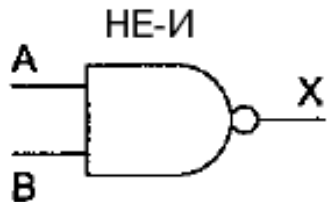
(b) НИ-I

(c) НИ-АБО

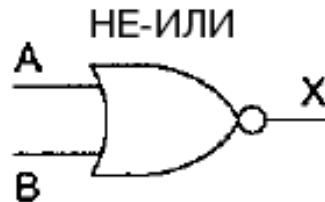
Логічні елементи та булева алгебра



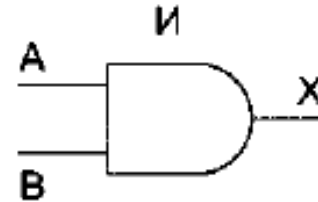
A	X
0	1
1	0



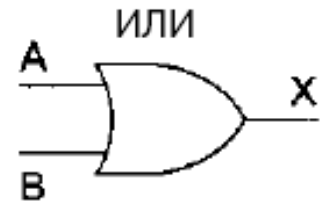
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

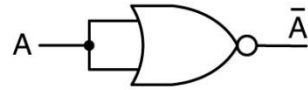
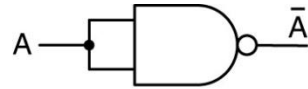


A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

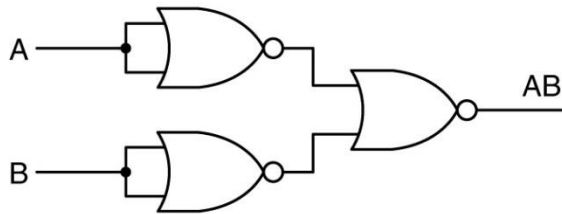
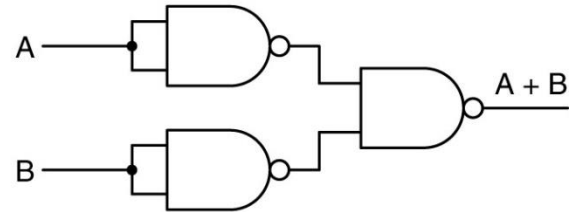
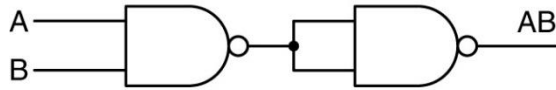


A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

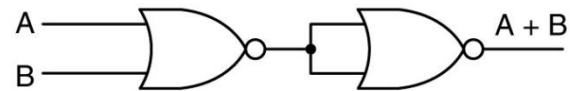
Еквівалентність схем



(a)

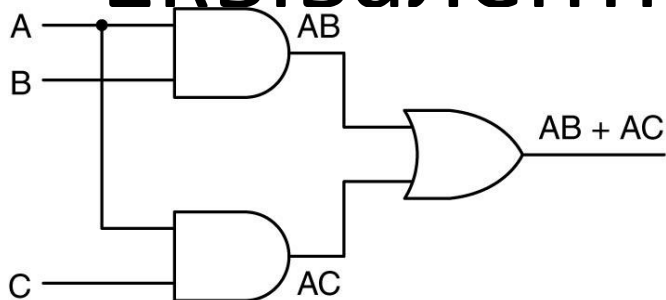


(b)



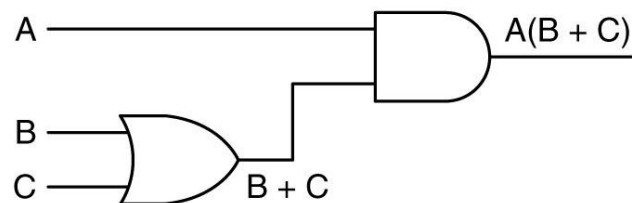
(c)

Еквівалентність схем (2)



A	B	C	AB	AC	AB + AC
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1

(a)



A	B	C	A	B + C	A(B + C)
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1

(b)

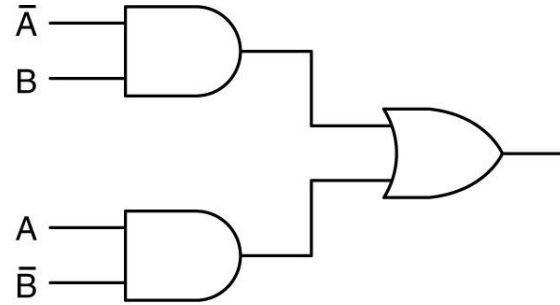
Деякі закони булевої алгебри

Названия законов	И	ИЛИ
Законы тождества	$1A=A$	$0+A=A$
Законы нуля	$0A=0$	$1+A=1$
Законы идемпотентности	$AA=A$	$A+A=A$
Законы инверсии	$A\bar{A}=0$	$A+\bar{A}=1$
Коммутативные законы	$AB=BA$	$A+B=B+A$
Ассоциативные законы	$(AB)C=A(BC)$	$(A+B)+C=A+(B+C)$
Дистрибутивные законы	$A+BC=(A+B)(A+C)$	$A(B+C)=AB+AC$
Законы поглощения	$A(A+B)=A$	$A+AB=A$
Законы ДеМоргана	$\overline{AB}=\bar{A}+\bar{B}$	$\overline{A+B}=\bar{A}\bar{B}$

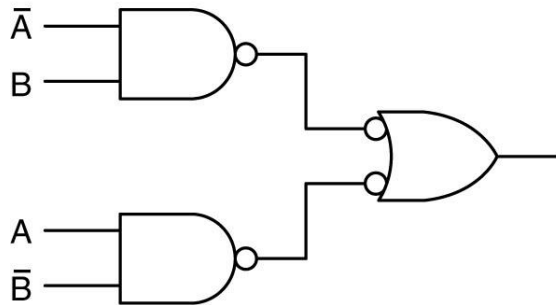
Реалізація XOR

A	B	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

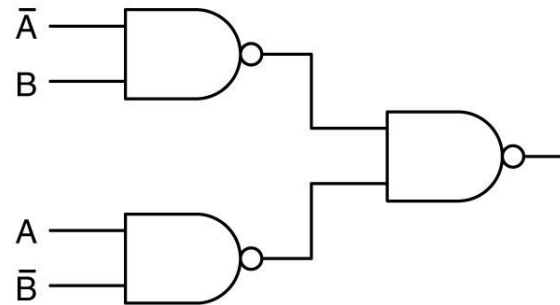
(a)



(b)

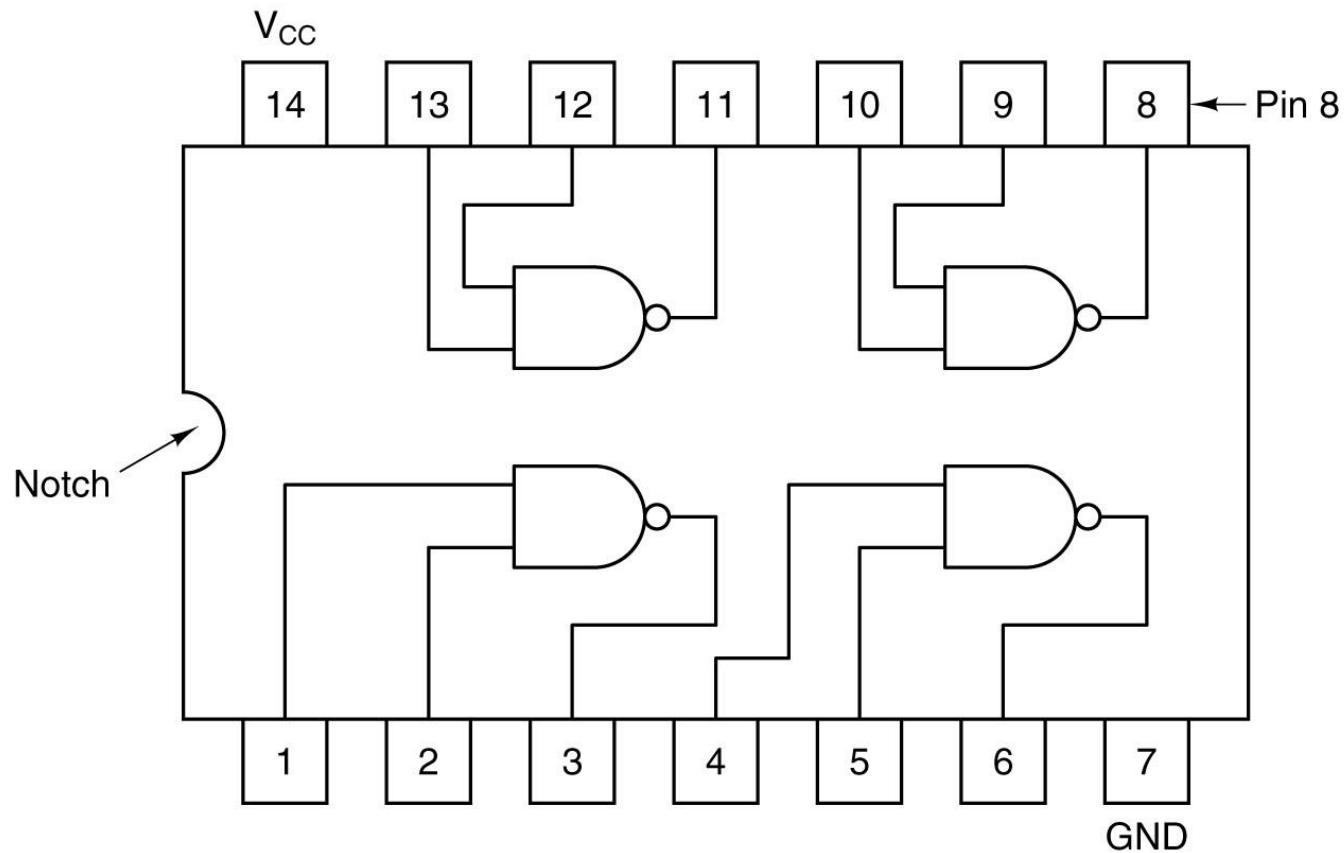


(c)



(d)

Інтегральні схеми



Комбінаторні схеми

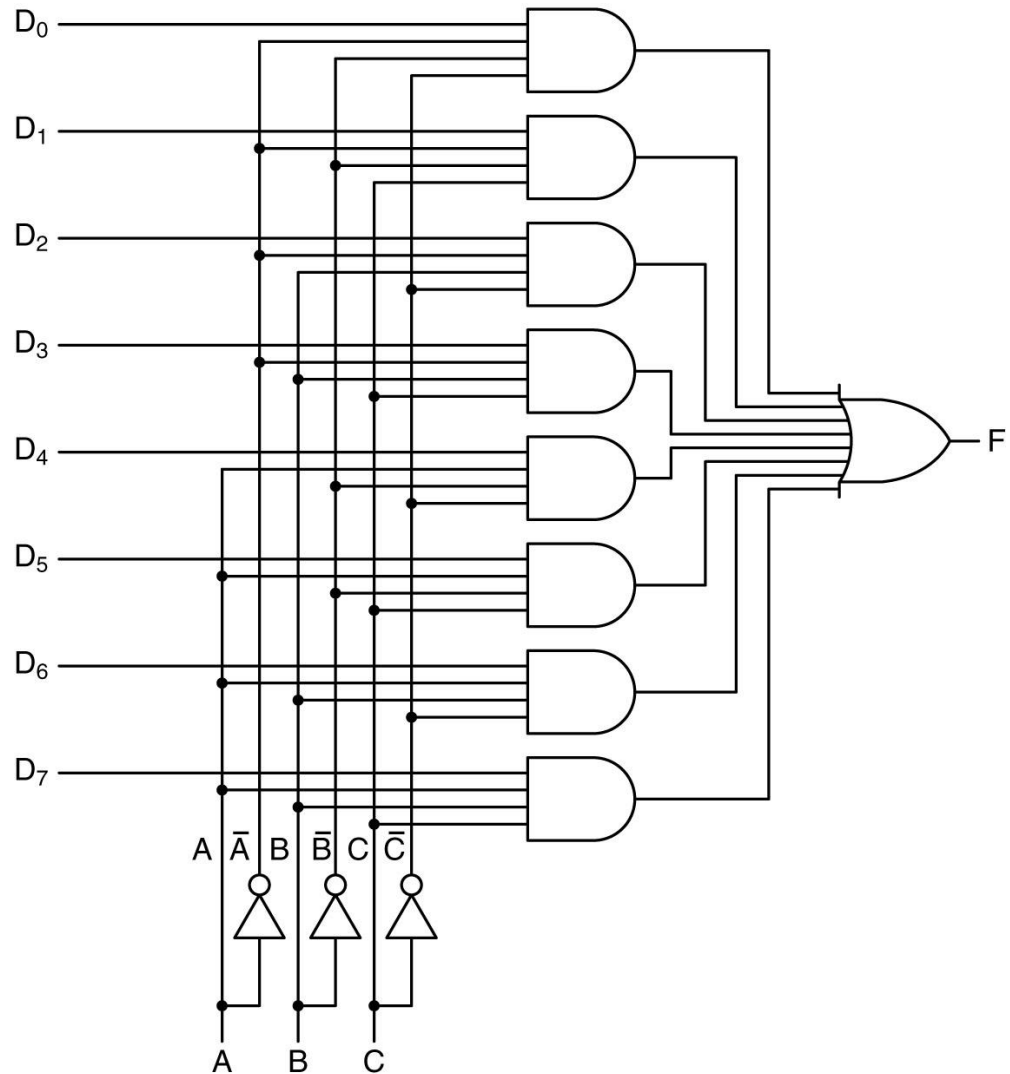
- мультиплексори
- декодери
- компаратори
- Програмовані логічні матриці

Мультиплексор

- Вхід - 2^N
- Вихід - 1
- N - ліній управління
- Обраний вхід з'єднується з виходом

Мультиплексори (2)

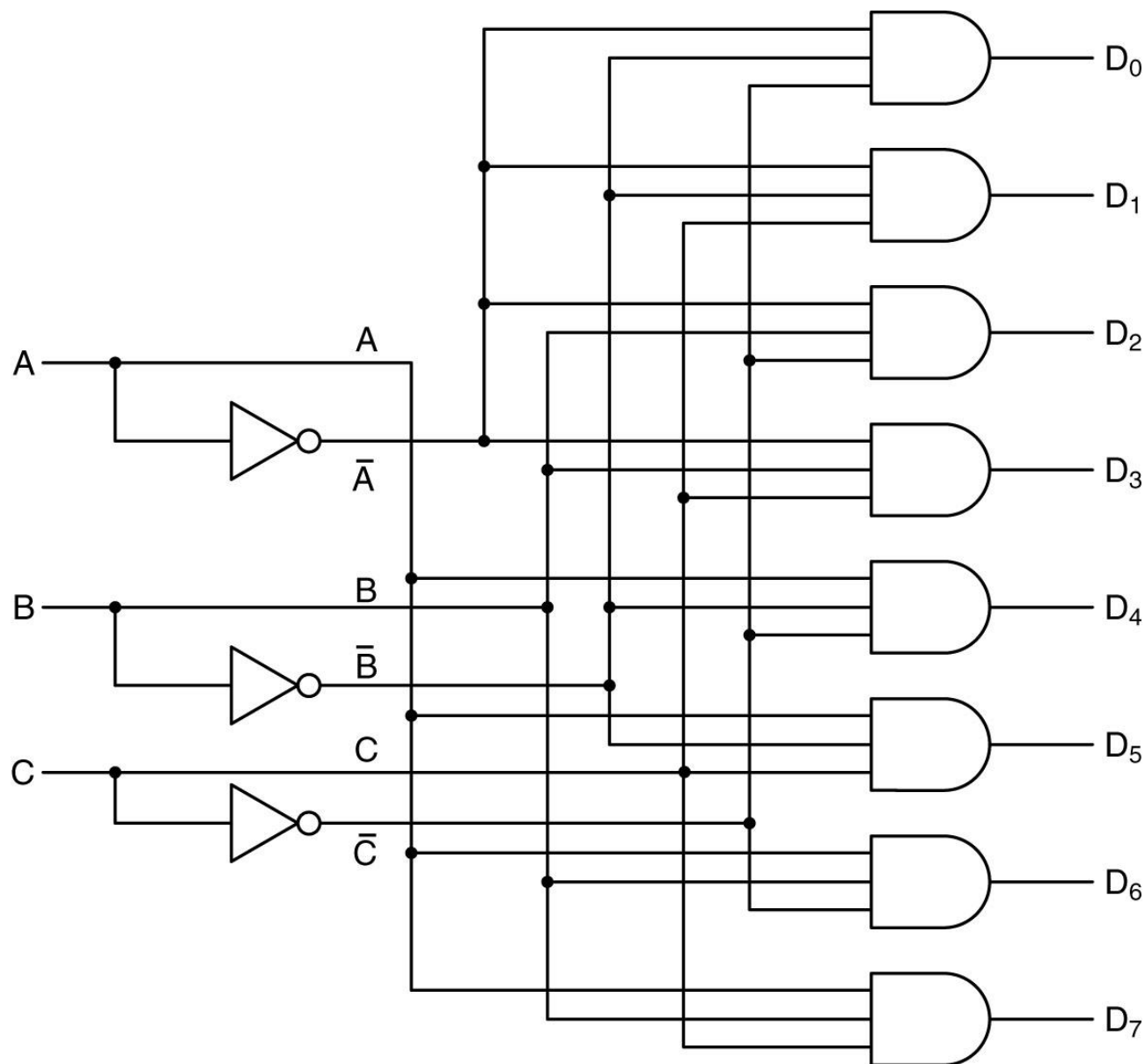
8-ми входовий
мультиплексор



Декодери

- Вхід - n -розрядне число
- Вихід - '1' одна з 2^N вихідних ліній

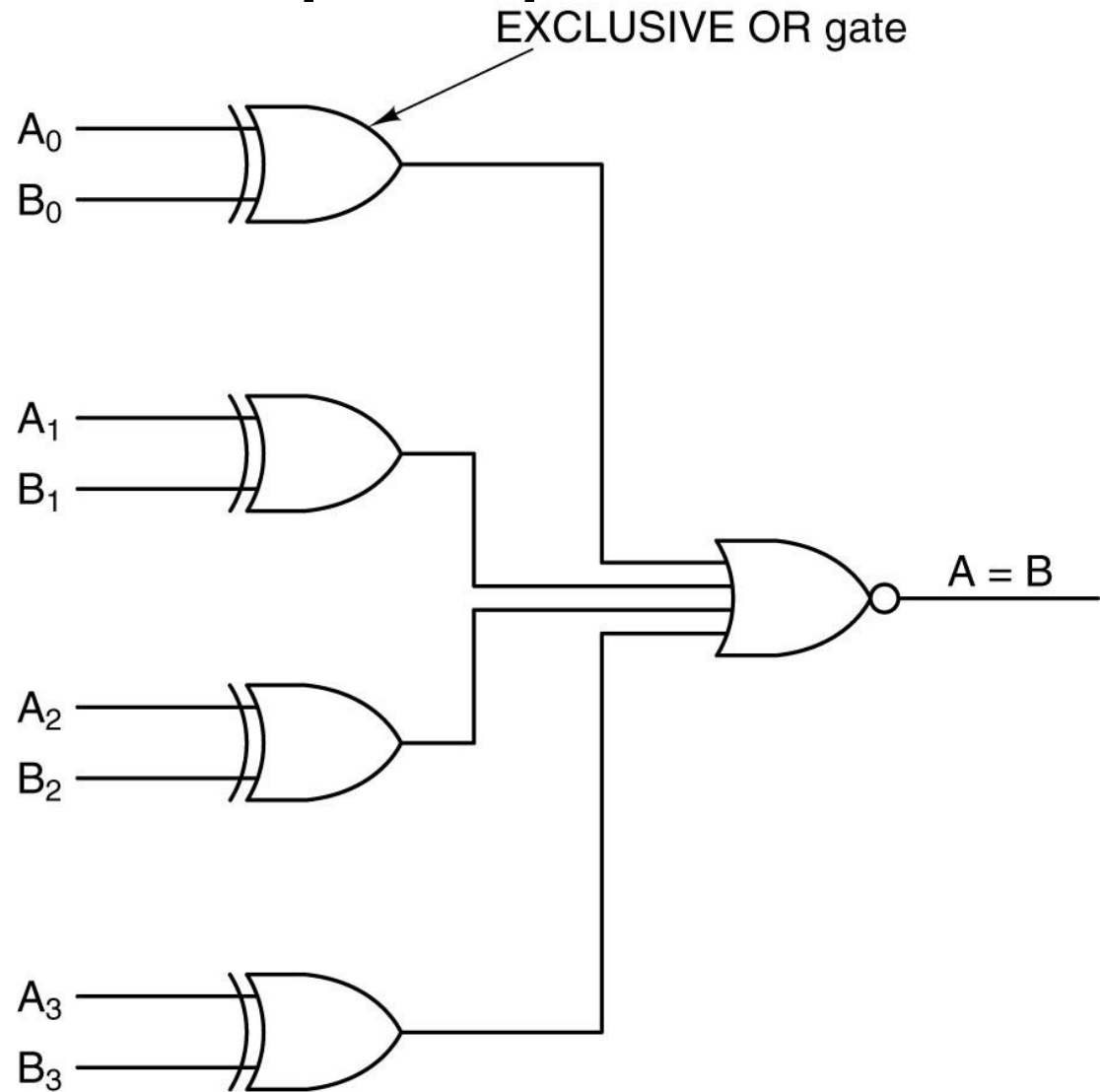
Декодер



A 3-to-8
decoder
circuit

Компаратори

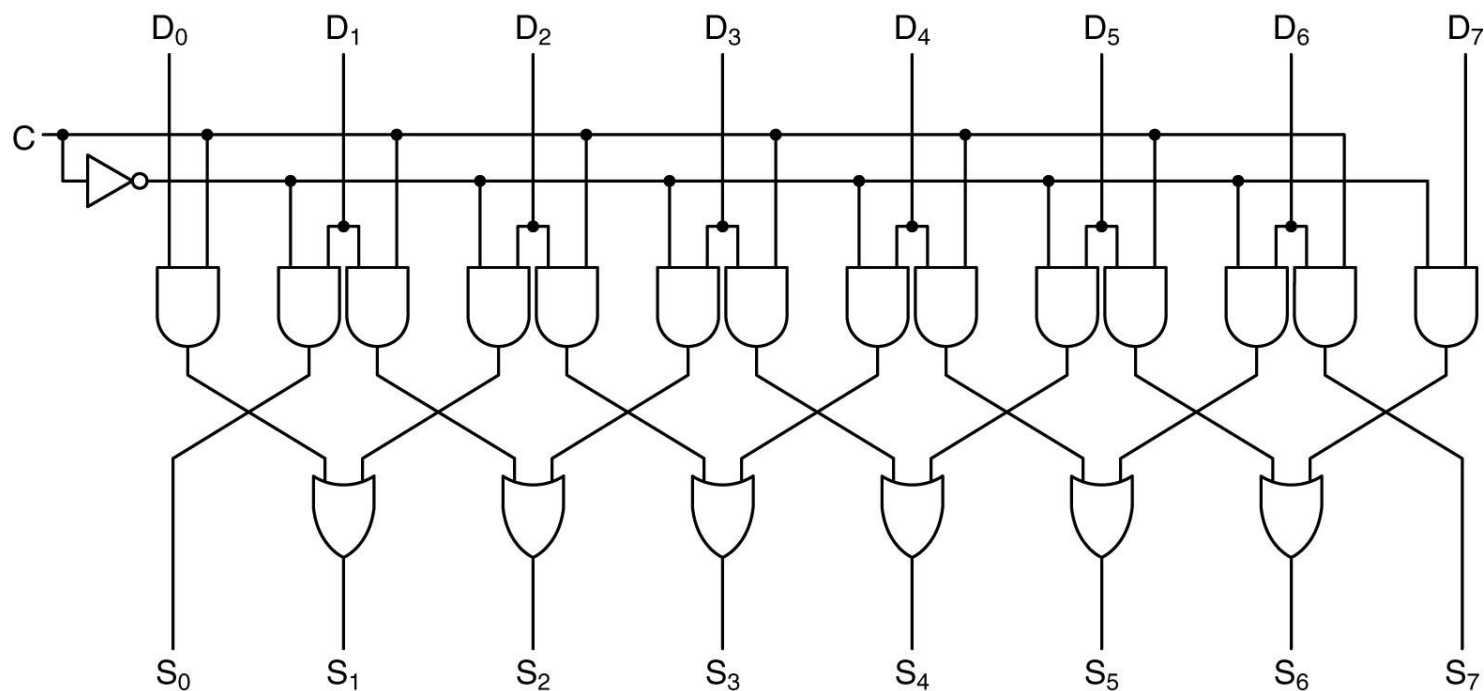
Простий 4-
битний
компаратор



Арифметичні схеми

- схеми зсуву
- суматори
- Арифметико-логічні пристрої

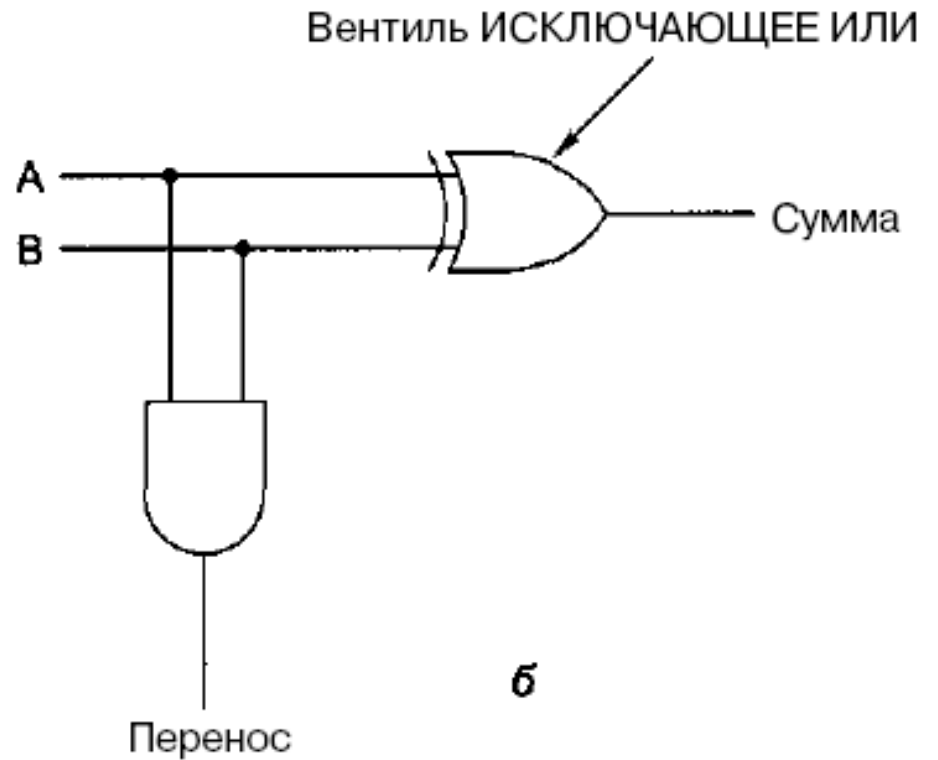
Схеми зсуву



Напівсуматор

A	B	Сумма	Перенос
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

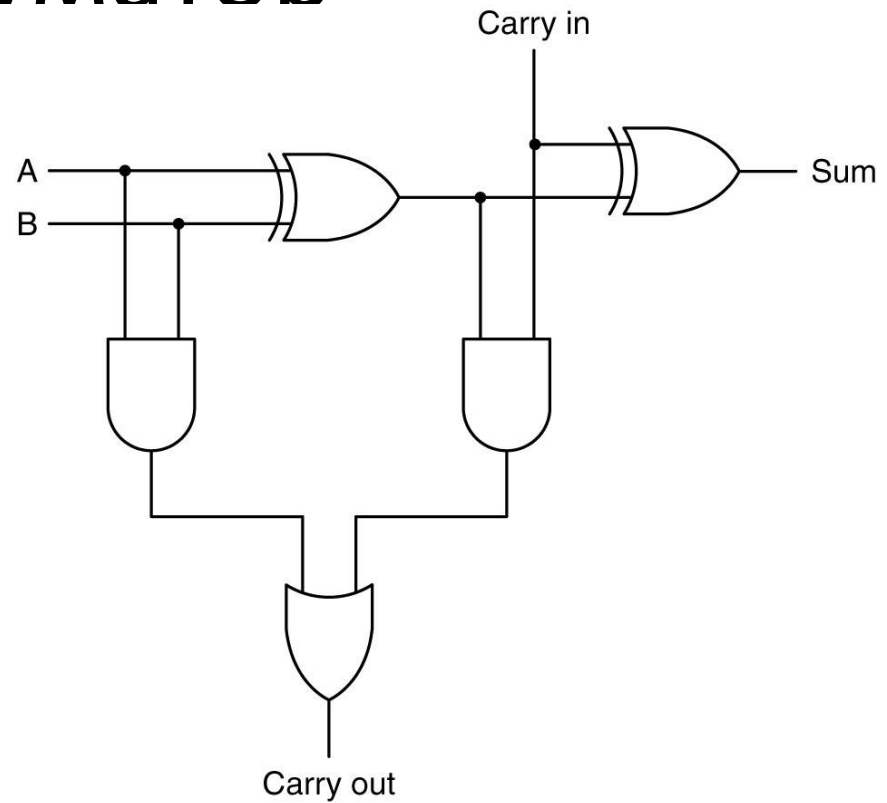
а



Суматор

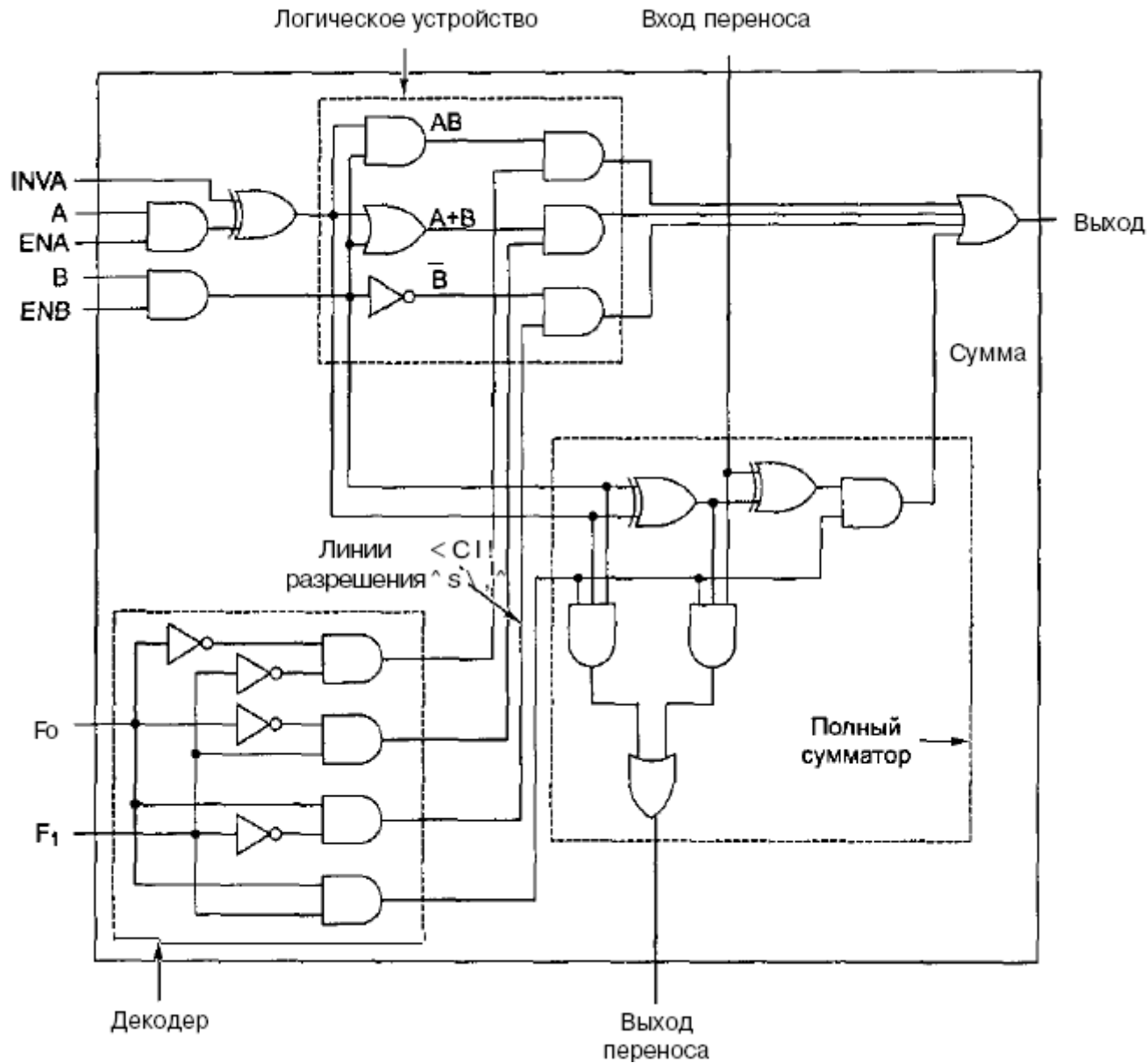
A	B	Carry in	Sum	Carry out
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

(a)



(b)

1-бітний АЛП

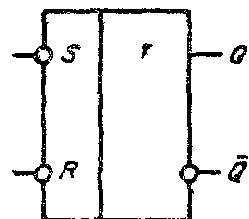
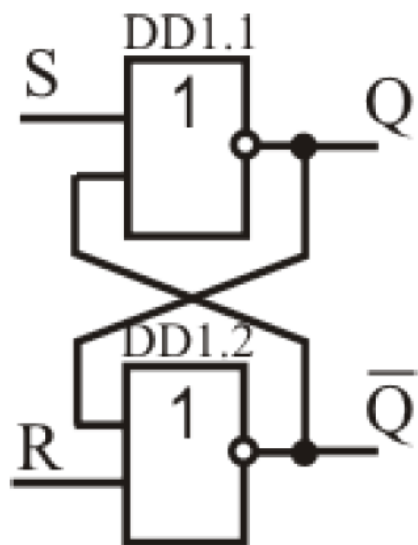


Тригери

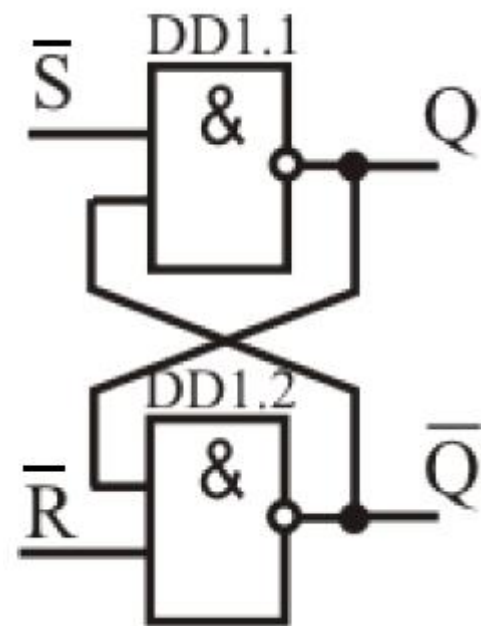
Тригер (триггерная система) - клас електронних пристроїв, що володіють здатністю тривалий час перебувати в одному з двох стійких станів і змінювати їх під впливом зовнішніх сигналів.

Кожен стан тригера легко розпізнається за значенням вихідної напруги. За характером дії тригери відносяться до імпульсних пристроїв - їх активні елементи (транзистори) працюють у ключовому режимі, а зміна станів триває дуже короткий час.

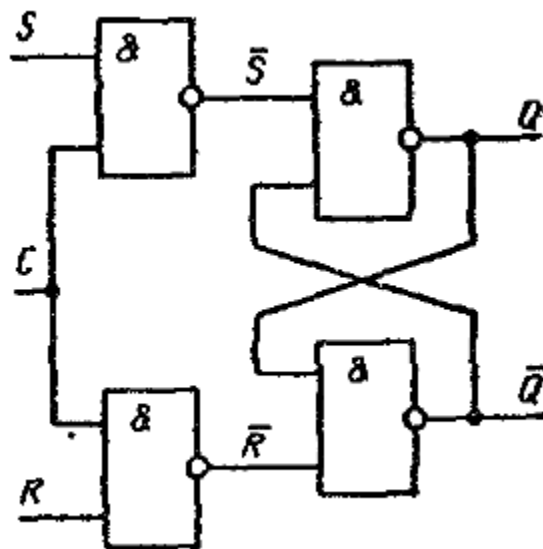
Триггеры



Синхронный RS-триггер

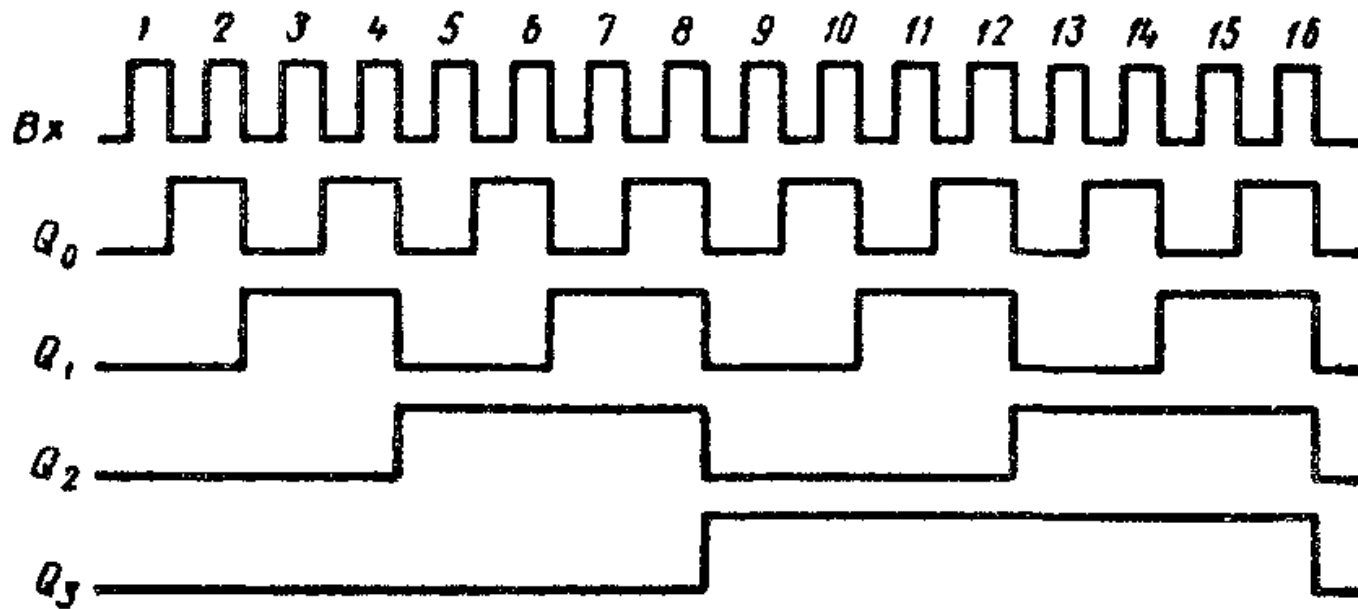
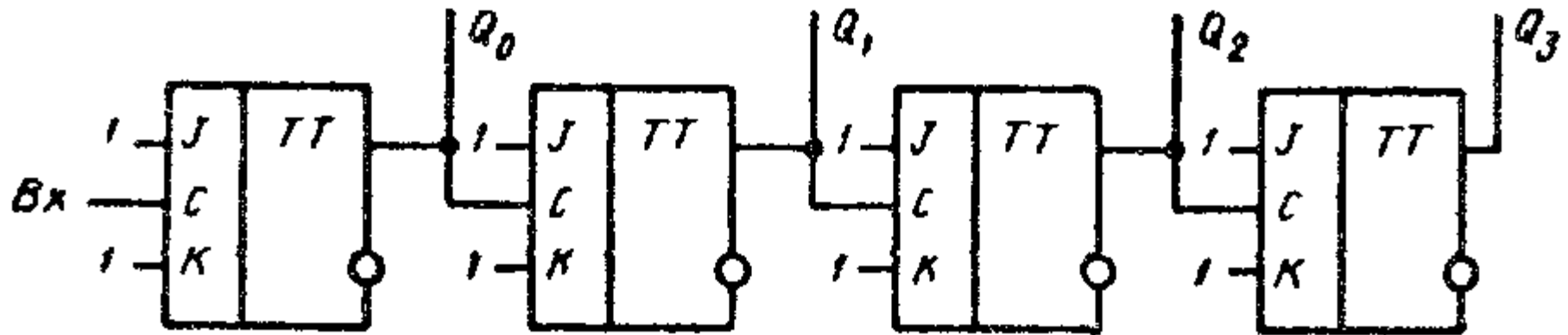


R	S	Q
0	0	Не изменяется
0	1	1
1	0	0
1	1	Не допускается



\bar{R}	\bar{S}	Q
0	0	Не допускается
0	1	0
1	0	1
1	1	Не изменяется

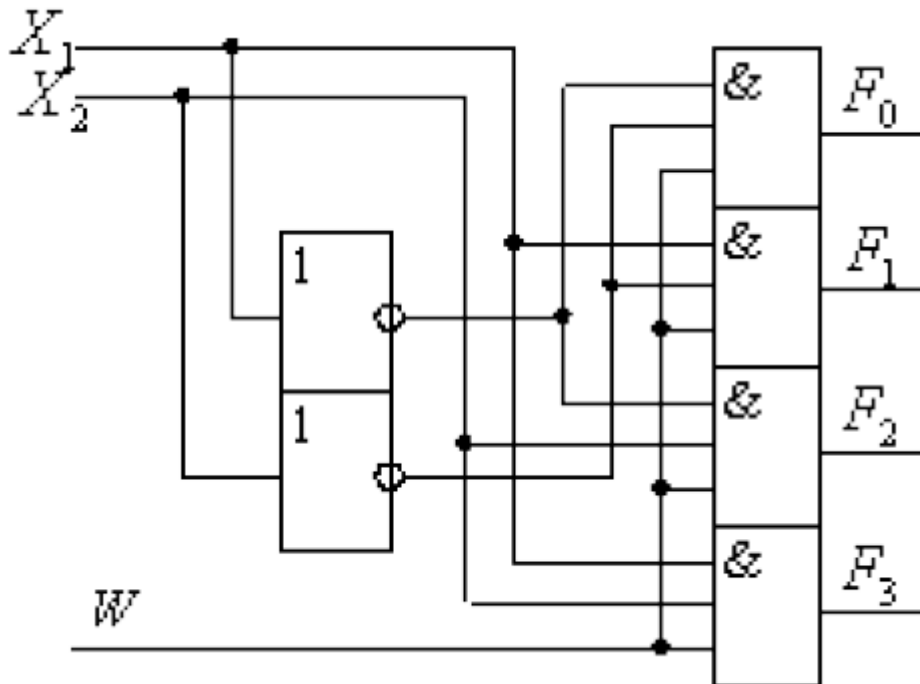
Лічильники



Дешифратори

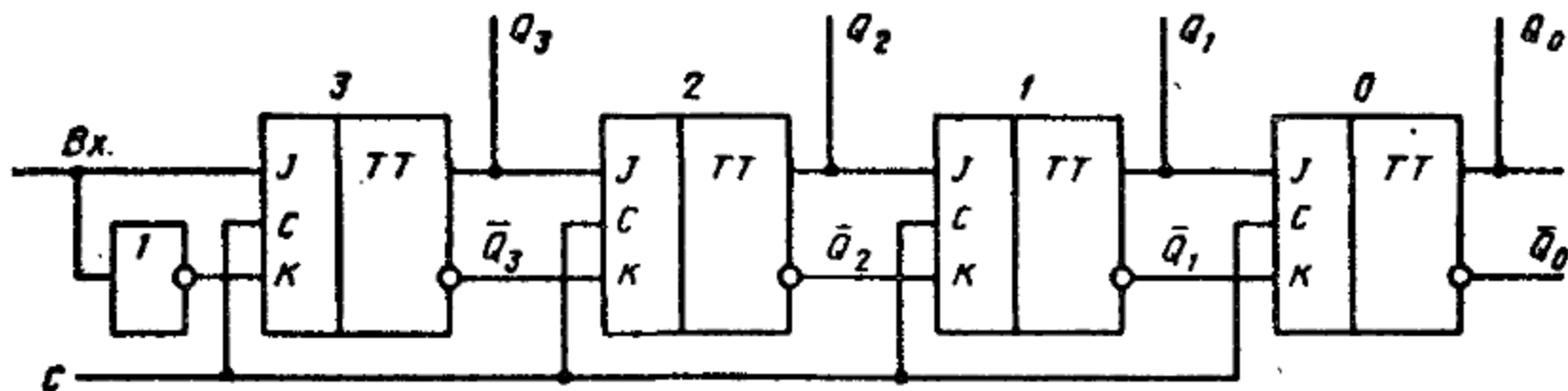
Дешифратор - функціональний логічний вузол, призначений для перетворення кожної комбінації вхідного двійкового коду в керуючий сигнал лише на одному із своїх виходів

X_1	1	DC	0	F_0
X_2	2		1	F_1
			2	F_2
W	W		3	F_3

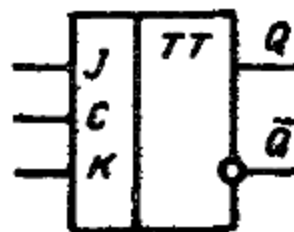


X2	X1	F0	F1	F2	F3
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Регістри



J_n	K_n	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}_n



Змінна логіка

Ми зможемо побудувати будь-яку логічну операцію

А якщо ми захочемо її змінити чи підлаштувати?



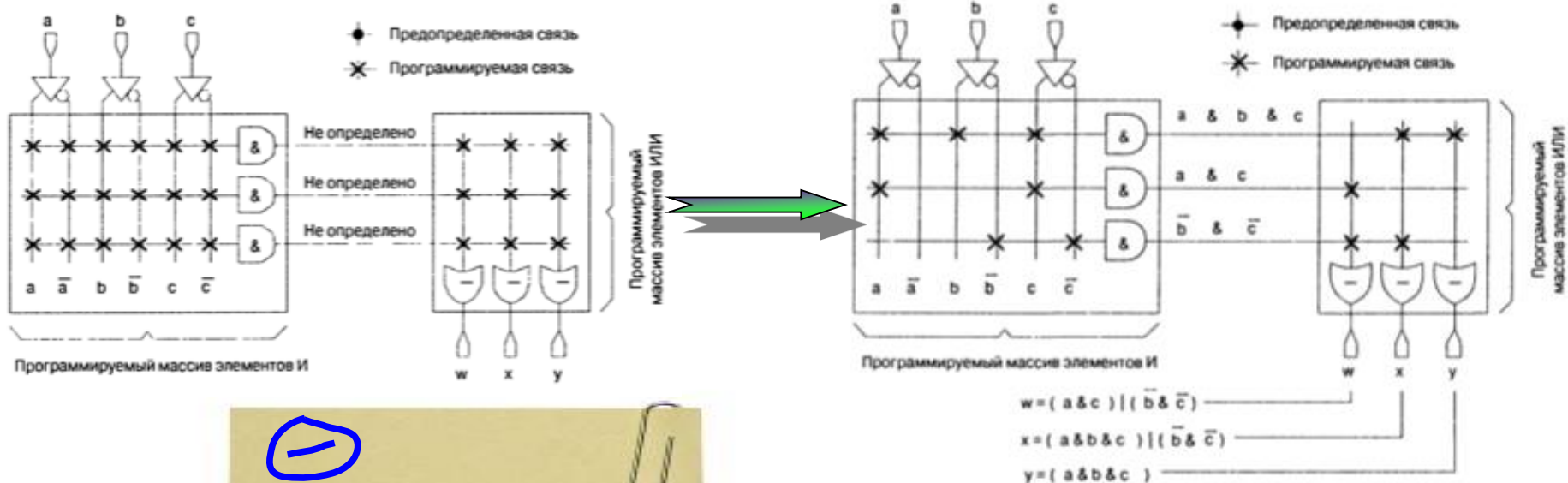
Ми хочемо мати можливість **програмувати логіку**

Але для програмування логіки лише логічних елементів недостатньо.

Необхідна **ПАМ'ЯТЬ**

ПЛМ

Програмовані логічні матриці (ПЛМ) — вид програмованого логічного пристрою, що представляє собою ПЗП із незапрограмованими зарання зв'язками



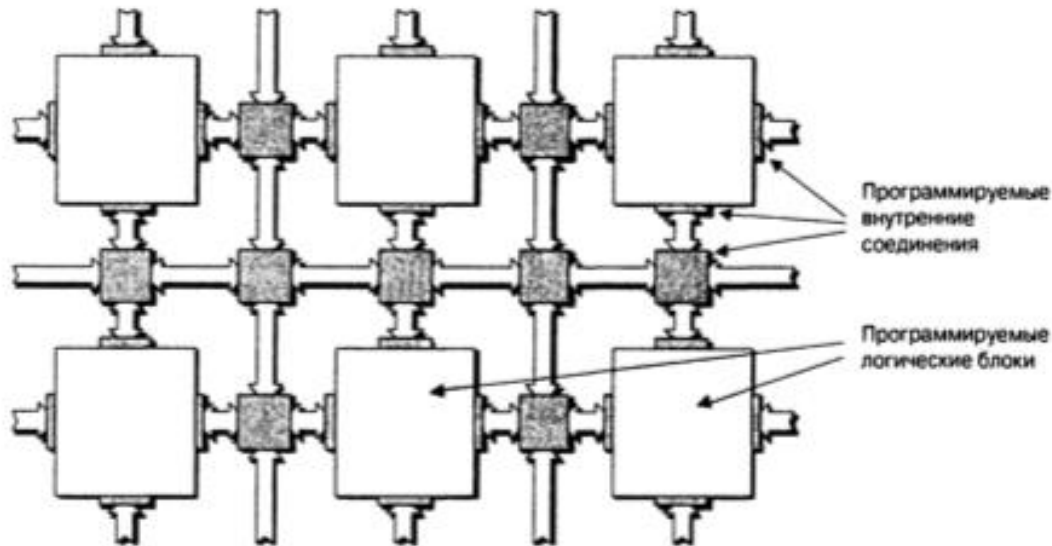
Багато
програмованих
зв'язків — більший час
для проходження
сигналу через них.

ПЛІС (FPGA)

Універсальні, недорогі складні програмовані інтегральні схеми — **FPGA**, вперше розроблені фірмою Xilinx в 1984 р.

Схеми FPGA мають набір *логічних блоків*, що програмуються, та *зв'язки між ними*, що також програмуються.

Спрощена схема FPGA:



АЦП

АЦП, Аналого-цифровий перетворювач — пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал). Зворотне перетворення здійснюється за допомогою ЦАП (цифро-аналогового перетворювача).

При перетворенні напруги в цифровий код використовуються три незалежні операції:

- дискретизація
- квантування
- кодування

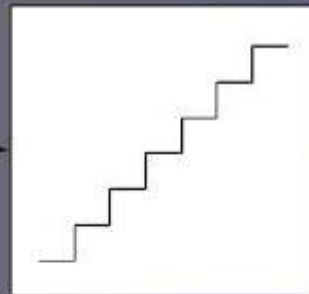
Analog

Digital

Sample
& Hold

f_{sample}

Quantization



Характеристики АЦП

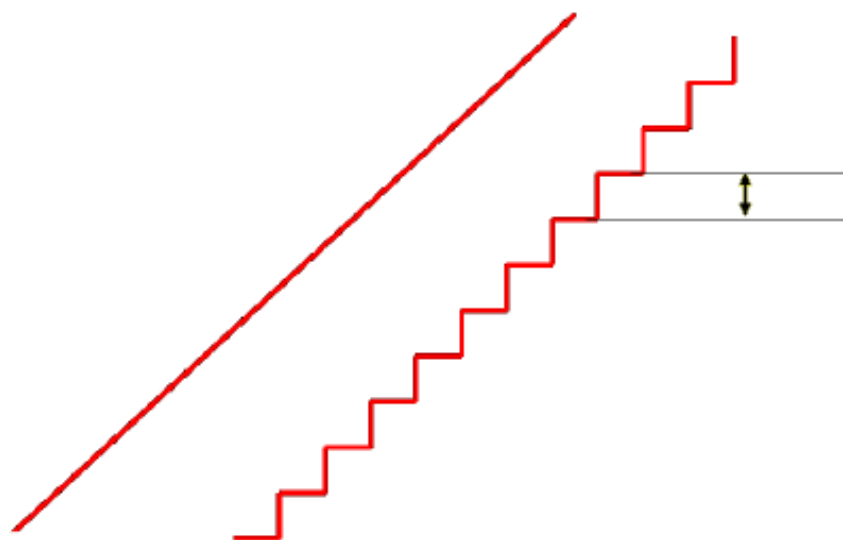
- Розрядність, роздільна здатність
- Частота дискретизації
- Швидкість(час) перетворення
- Лінійність

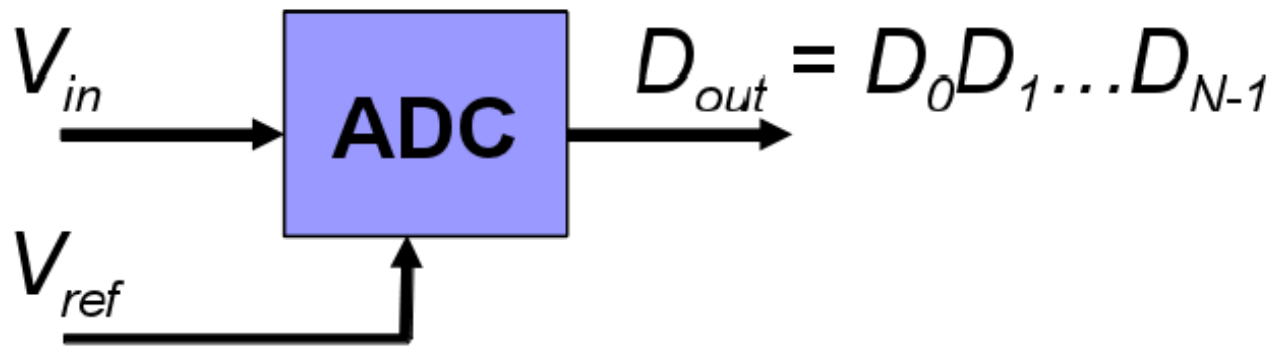
Розрядність N: кількість дискретних значень, які перетворювач може видати на виході. Вимірюється в бітах.

- 8 біт = $2^8 = 256$ дискретних значень
- 10 біт = $2^{10} = 1024$ дискретних значень

Роздільна здатність: Мінімальна вимірювана різниця напруг (ширина одного кванту напруги): $V_{in.max} / (2^n - 1)$

- Приклад ($V_{in.max} = 10$ Вольт, 8 біт)
розд.здат. = $10/255 \approx 40$ мВ





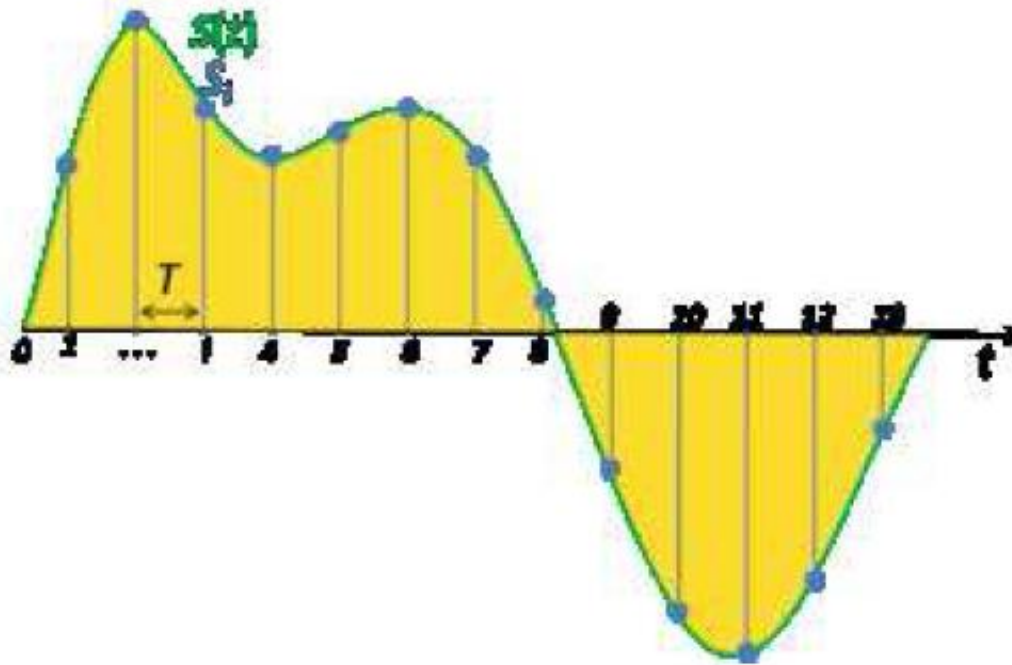
Опорна напруга: Максимальна напруга, яку АЦП може конвертувати в цифровий код.

$$V_{in} = V_{ref} \cdot (D_0 2^{-1} + D_1 2^{-2} + \dots + D_{N-1} 2^{-N})$$

- $N = 3$ біт, $V_{ref} = 1\text{В}$, $D_{out} = '011'$
 $\rightarrow V_{in} = 1\text{В} \cdot (2^{-2} + 2^{-3}) = 1\text{В} \cdot (0.25 + 0.125) = 0.375\text{В}$

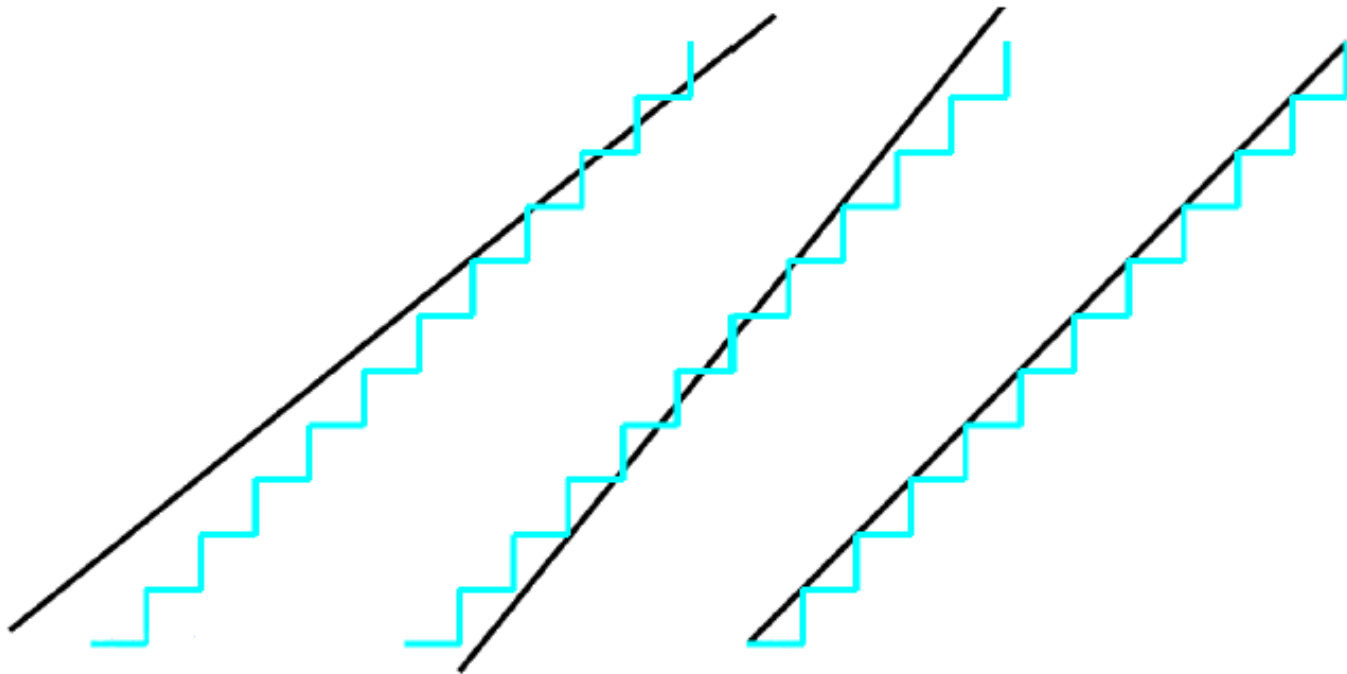
Частота дискретизації: частота вибірки цифрових значень з аналогового сигналу.

Теорема Котельникова: Для того, щоб відновити сигнал на прийомі без втрат, необхідно, щоб частота дискретизації була хоча б у два рази більша за максимальну частоту вхідного сигналу.

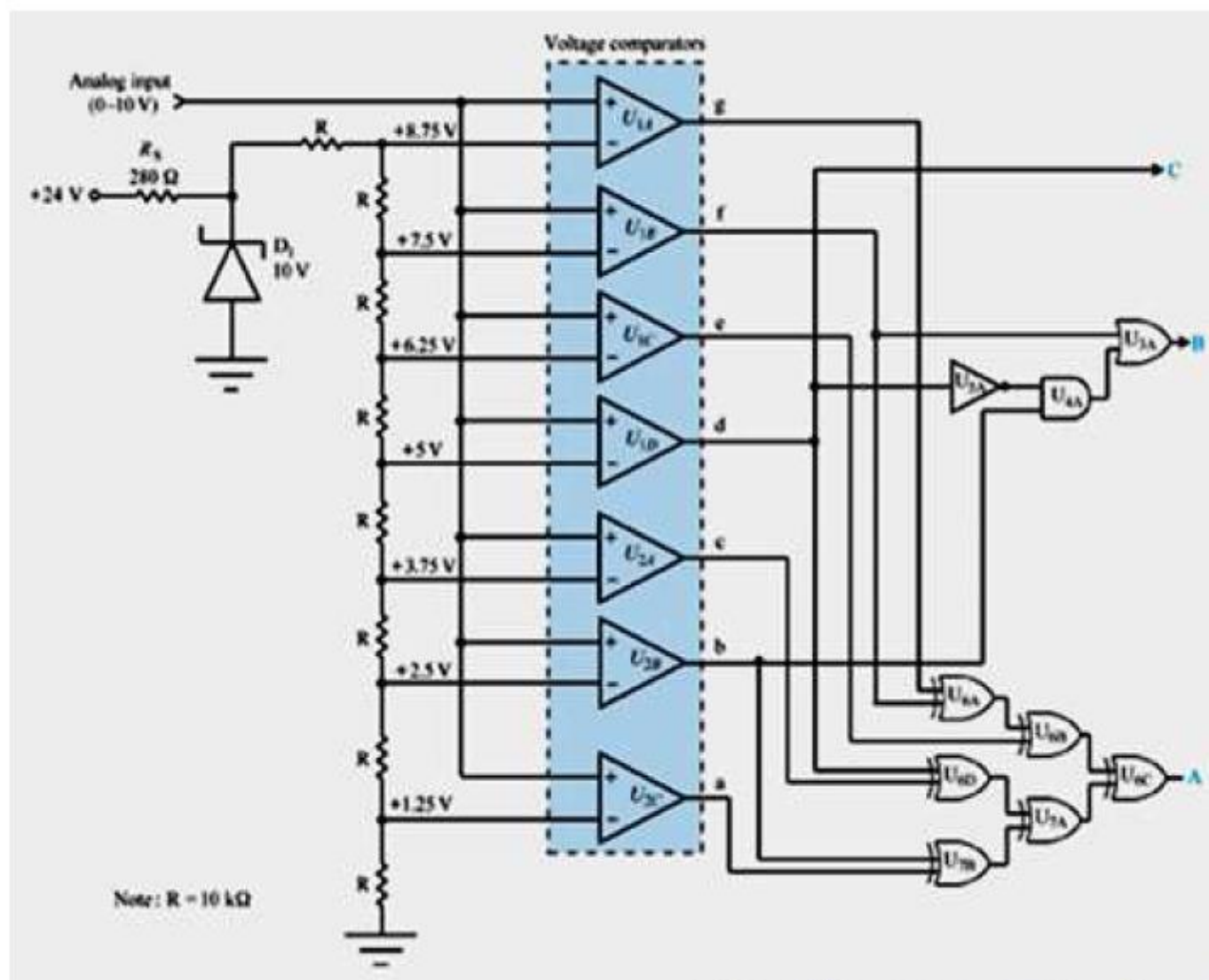


Час перетворення: інтервал часу від початку перетворення до появи на виході АЦП стійкого коду вхідного сигналу.

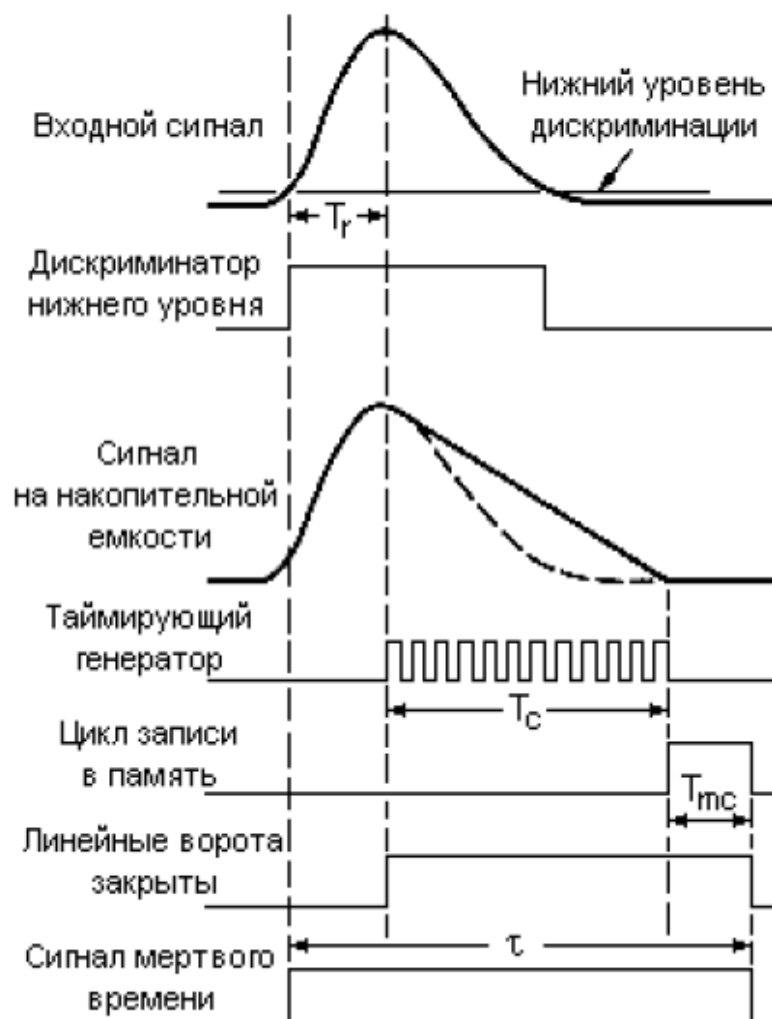
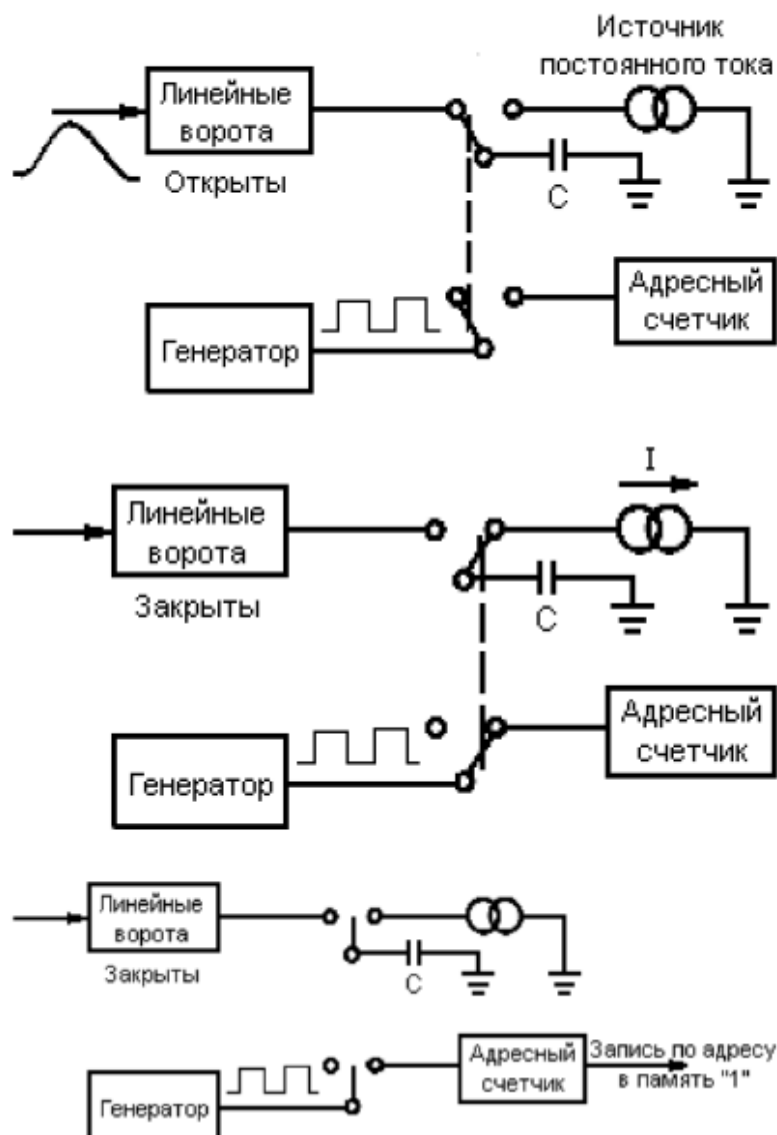
Лінійність: Точність перетворення сигналу на всьому діапазоні. Характеризується значеннями диференційної (DNL) та інтегральної нелінійності (INL)



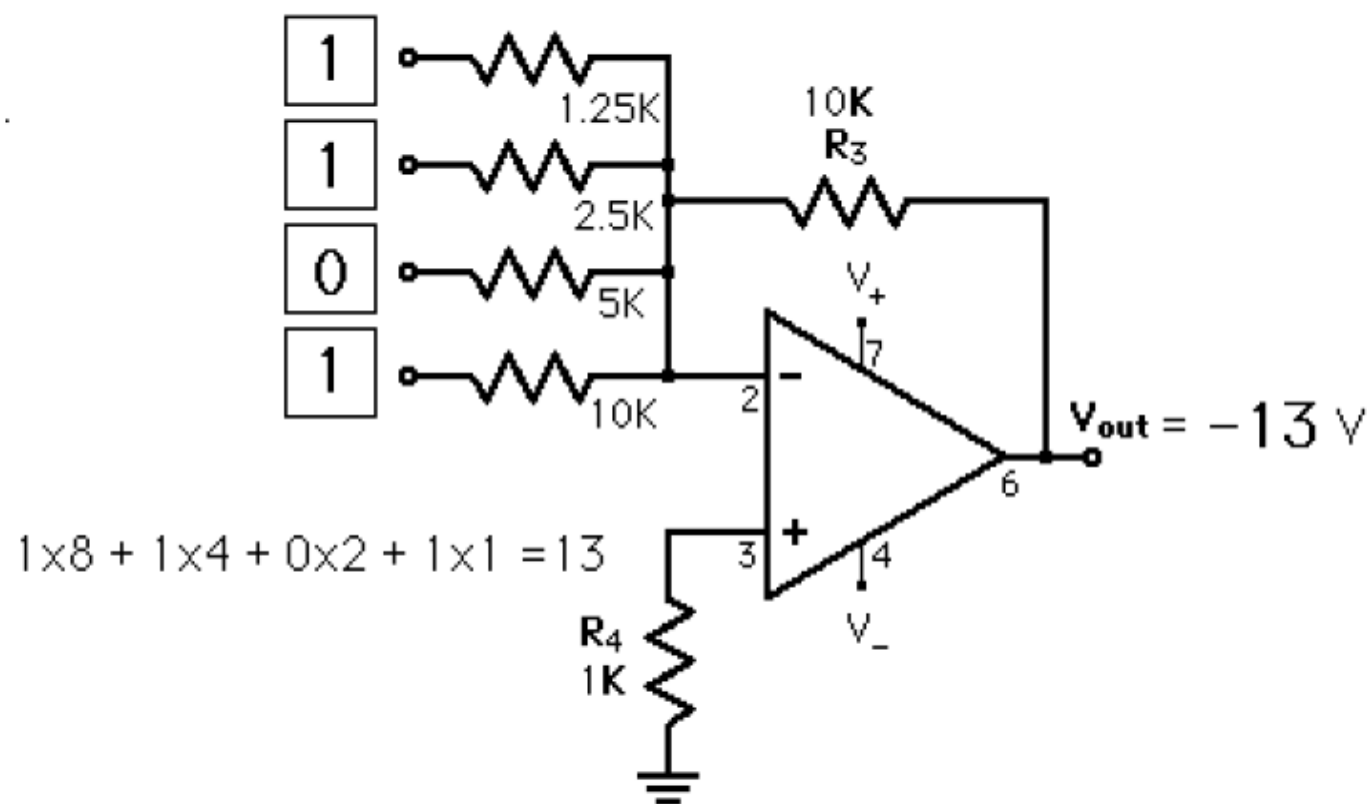
- велика швидкість
- мала розрядність (до 8 біт)
- Велике енергоспоживання
- Велика кількість елементів



АЦП Вилкинсона



ЦАП на основі додавання струмів



Велика швидкість перетворення

Для 12 бітного ЦАП необхідно:

$$R_{\text{max}} = 8024 \cdot R_{\text{min}}$$

Мала точність (до 8 біт)