

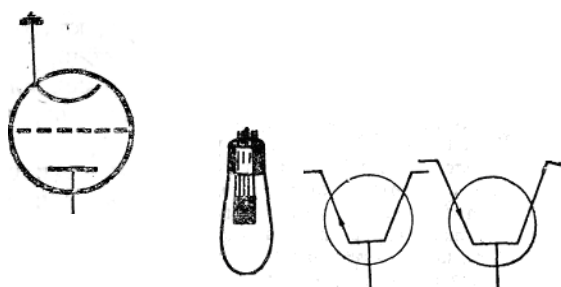
Електронни устройства за броене и записване на числата в двоична бройна система

Механичните устройства за смятане в десетична система, за които вече говорихме, съществено използват позиционността на системата, разлагането на числата в сума от единици от различен ред и кратности от 0 до 9 включително, като тези възможни кратности изразяваме с 10-те състояния на зъбните колела - положенията на колелата при завъртането им по на 36° . И точно по същия начин можем да построим механични устройства, които да работят в бройна система с основа 2. В позиционната двоична бройна система единиците от различен ред имат кратности 0 или 1 — или има единица от даден ред, или няма. Следователно колелата трябва да имат само две състояния — да се завъртат по на 180° . Те трябва да имат по 2 зъба и един допълнителен, който да завърта съседното двузъбно колело на 180° . Това технически е трудно за изпълнение, обаче вместо зъбни колела могат да се използват всякакви други елементарни устройства, които имат две състояния. Основно изискване е тези състояния да бъдат добре различни и добре да се контролира преминаването от едно състояние в друго. Пример за такова елементарно устройство с две състояния е бутонът за включване и изключване в съвременната ни битова и друга апаратура, включително обикновеният ключ на електрическото осветление. Характерното за всички тези бутони е, че имат ясно изразени две състояния (включено — изключено), но са също така механични устройства, както и зъбните колела, и ще имат същите недостатъци, ако ги прилагаме в сметачно устройство. А всички механични устройства имат като главен недостатък това, че развиват малка скорост при работа и имат прекалено голям обем, който силно нараства, ако искаме да построим машина с автоматично действие и извършване на сложни изчисления. Не е без значение и големият разход на енергия.

Обаче през 1918 - 1919 г. бе изобретено устройство с голямо бъдеще, известно под името електронно реле или **тригер**. Тригерът или тригерната схема е устройство (най-често електронно), което има две стабилни състояния и може да се намира неограничено дълго време във всяко от тях. При подаване на външен сигнал тригерът за много кратко време преминава от едното състояние в другото. Съществуват тригери и с повече състояния, но с най-добри качества са тези с две състояния. Двете състояния се различават по изходното електрическо напрежение, което бива два вида: високо, означавано с цифрата 1, и ниско — с цифрата 0. Така с цифрите 0 и 1 ние ще записваме двете състояния на тригера или по-скоро тригерът

ще записва една от тези две цифри.

Първоначално тригерите бяха построявани с помощта на електронни лампи, обаче лампите са неикономични и с голям обем, поради което се наложи след време те да бъдат заменени с по-съвършени средства. Това стана възможно благодарение на едно важно техническо откритие. През 1948 г. американските физици Джон Бардийн, Уолтър Бардийн и Уилям Шокли създадоха нов уред, наречен **транзистор**, който слагаше началото на ново направление в техниката – миниатюризация, създаване на устройства с неподозирани малки размери и нищожно малък разход на енергия.



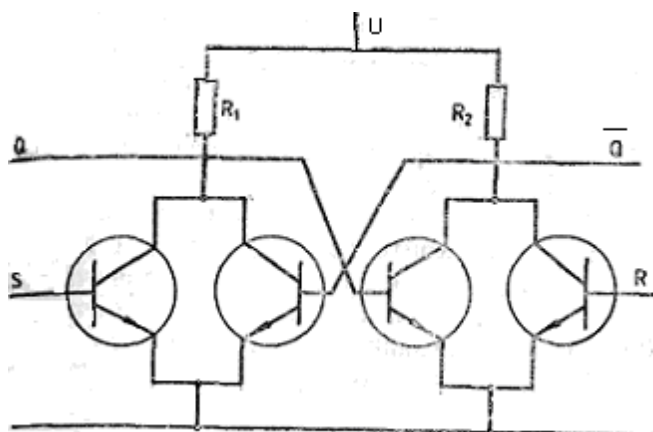
Фиг. 2. Схеми на два вида транзистори

Фиг. 1. Радиолампа тригер

(външен изглед, схема)

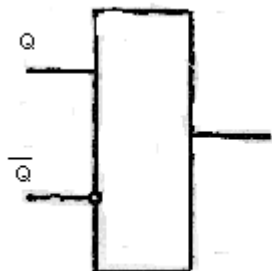
Създателите на транзистора получиха през 1956 г. Нобелова награда.

Най-важната материална съставка на транзистора е полупроводников кристал от германий, силиций и др. с площ до няколко квадратни милиметра. Принципната схема на транзистора като елемент на тригер е изобразена на фиг. 2. Схемата на тригер, построен с транзистори, в една от разновидностите му се вижда на фиг. 3.



Фиг. 3. Принципна схема на тригер

Тригерът може да има различна конструкция, с различен брой входове и изходи и в една от тях той е известен под името Т-тригер (Т - от английската дума toggle, която може да се преведе като „шип" или „коляно" на ос, но за нас по-разбираемо ще е да я преведем като единичен зъбец за превъртане, т. е. за преминаване от едно състояние в друго). Опростената и условна схема на такъв тригер е дадена на фиг. 4.



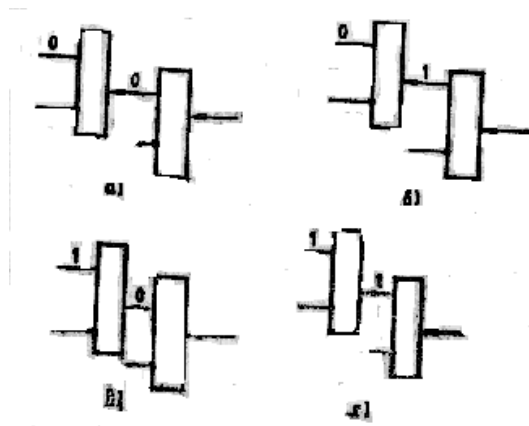
Фиг. 4. Опростена схема на Т-тригер

Всеки Т-тригер има един вход и два симетрични изхода - Q и $\bar{Q}$. Състоянията на тригера се определят еднозначно от кой да е от изходите и затова можем да се абстрахираме от изхода Q . Ако на изхода Q има високо напрежение - тригерът е в състояние 1, ако е ниско - в състояние 0. Можем да пишем съответно $Q=1$ или $Q=0$. Състоянието $Q = 0$ ще наричаме нулево, а състоянието $Q = 1$ - единично.

Т-тригерът е устроен така, че ако е в единично състояние и подадем на входа един сигнал, той преминава в нулево състояние и същевременно предава на изхода един импулс. При подаване на втори сигнал, той преминава от нулево в единично състояние, без да предава импулс.

Ясно е, че с Т-тригер може да се брой един сигнал или да се установи дали броят на сигналите е четен или нечетен, като се записват цифрите 0 или 1. Очевидно възможностите на един изолиран тригер са твърде скромни, но силата на тригера е във възможността му да се свързва в система с други тригери.

Да свържем два тригера последователно така, че изходът Q на първия тригер T_1 да се свърже с входа на втория тригер T_2 , и нека двата тригера са в нулево състояние 00, като вторият тригер е вляво от първия (фиг. 5).

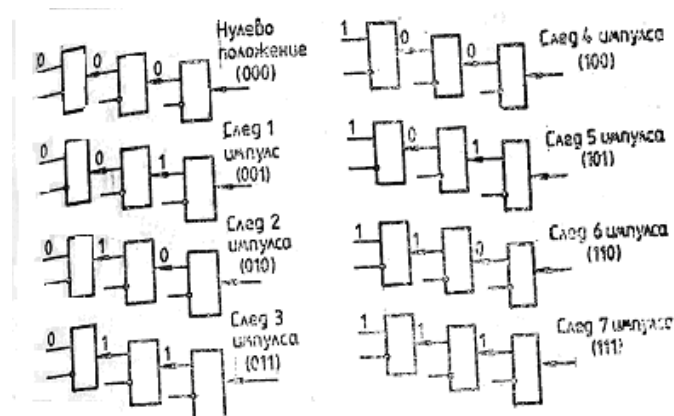


Фиг. 5 Състоянията на схема от 2 тригера

Да подадем на T_1 един сигнал. Той преминава в единично състояние, а вторият тригер не изменя състоянието си - системата отбелязва числото 01. При подаване на втори сигнал T_1 преминава в нулево състояние и същевременно изпраща с дадения импулс сигнал на T_2 , който го извежда в състояние $Q=1$ - системата отбелязва числото 10. Третият сигнал довежда системата в състояние 11, а четвъртият я връща в изходното нулево състояние (00).

И така системата от два последователно свързани Т-тригера брои и записва числата до $3 = 2^2 - 1$ в двоична система. Система от три тригера брои до $7 = 2^3 - 1$ включително

(фиг. 6), като записва числата във вида



фиг. 6. Състоянията на система от 3 тригера

c_2	c_1	c_0
-------	-------	-------

което е двоичното представяне

$$c_2 c_1 c_0 = c_2 \cdot 2^2 + c_1 \cdot 2^1 + c_0$$

Тук $c_i = 0$ или 1 ($i=0, 1, 2$). И изобщо система от n Т-тригера брои до $2^n - 1$ и

записва числата n двоични цифри във вида

c_{n-1}	c_{n-2}	$\dots$	c_1	c_0
-----------	-----------	---------	-------	-------

и това е двоичният запис $c_{n-1}c_{n-2}\dots c_1c_0 = c_{n-1} \cdot 2^{n-1} + c_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + c_1 \cdot 2^1 + c_0$ като $c_i = 0$ или 1 ($i=0, 1, \dots, n-1$).

Всяка такава система се нарича електронен брояч. Електронният брояч е един от основните елементи на всяка съвременна електронноизчислителна машина. Т-тригерите могат да се изработват и по такъв начин, че входен импулс да може да се подава на изхода и при преминаване от нулево в единично състояние да се изпуска един импулс от входа. Такива тригери се наричат реверсивни. Те осъществяват броене в обратен ред - от по-голямо число към по-малко, и по този начин осъществяват действието изваждане.

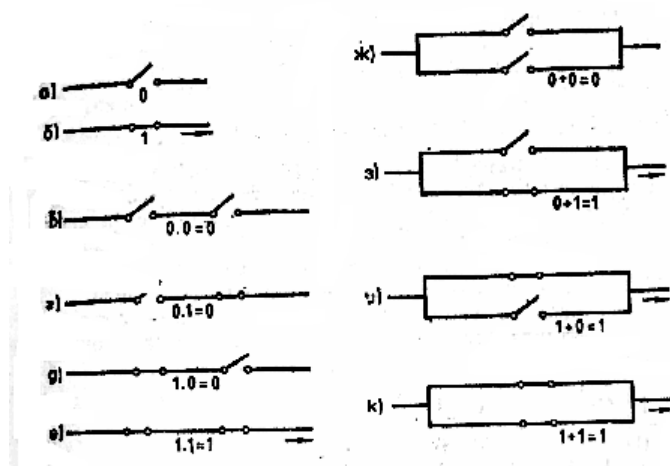
Електронният брояч с реверсивни Т-тригери е пълен аналог на сметачната машина на Паскал, както и на механичните броячи на обороти, като различието в основите на бройните системи е несъществено.

Контактни схеми и смятането в двоична система

Електронният брояч, съставен от тригери, може да функционира, тъй като отделните му елементи са свързани по такъв начин, че импулс от един тригер преминава в друг тригер само при определено състояние. Резултатът би бил същият, ако между тригерите имаше ключ, който да включва или изключва веригата.

Изобщо ще разглеждаме елементи, които са така свързани, че връзката между тях може да се включва и изключва. За конкретност ще разгледаме верига от източник на електричен ток и консуматор, свързани с проводник, върху който има контактни ключове - накратко контакти. Когато контактът е отворен (изключен), това значи, че на това място по проводника няма електричен ток, а при затворен (включен) контакт ток протича. Различните контактни свързвания наричаме контактни схеми. За простота ще разгледаме случаите на последователно и успоредно свързване на два контакта. Нека на затворен контакт съпоставим цифрата 1, а на отворен - 0

Промяната на състоянието на контакта означава промяна на една от цифрите 0 и 1 в другата.



Фиг. 7 Контактни схеми

Да разгледаме последователното включване на двата контакта (фиг. 7 в, г, д, е).

Ако и двата контакта са изключени, имаме съответно 0 и 0 и в резултат на това по веригата не протича ток - това съответствува на 0. Ако единият контакт е отворен, а другият - затворен, т. е. ако имаме 0 и 1 или 1 и 0, пак няма да има ток и отговорът е 0. Остава възможността и двата контакта да са затворени, т. е. 1 и 1, при което имаме протичане на ток, т. е. цифрата 1. Тези състояния могат да се изразят като равенства: $0.0 = 0$, $0.1 = 1.0 = 0$ и $1.1 = 1$, което ни дава таблицата за умножение в двоична бройна система.

А сега да разгледаме успоредното включване на двата контакта (фиг. 7 ж), з), и), к)). При два отворени контакта: 0 и 0, ток не протича – съответствува 0, обаче при един отворен и един затворен: 0 и 1 или 1 и 0, а също при два затворени контакта имаме 1. Тези съответствия се изразяват посредством следните четири равенства:

$$0+0 = 0, 0 + 1 = 1, 1+0=1 \text{ и } 1 + 1 = 1.$$

От тях първите три съвпадат с тези, които ни дава таблицата за събиране в двоична система; четвъртото е условно — като равенство за събиране на числа в двоична система би следвало да бъде $1 + 1 = 10_2$, а то показва, че на числата 1 и 1 се съпоставя отново 1, и в това се състои условността на събирането.

И така на успоредно и последователно свързани два контакта отговарят следните таблици за събиране и умножаване в известен условен смисъл:

+	0	1
0	0	1
1	1	1

--	--	--

x	0	1
0	0	0
1	0	1

Това са таблици за смятане с числата 0 и 1, много приличащи на таблицата за смятането в двоична бройна система - единствено изключение е равенството $1 + 1 = 1$, което внася своеобразието на това смятане с числата 0 и 1 и показва, че тук имаме нов вид смятане, което разбираемо се тълкува на езика на контактните схеми. И само за да не усложняваме терминологията, продължаваме и тук да говорим за събиране и умножаване на числата 0 и 1, като ги тълкуваме като успоредно и последователно свързване на контакти и използваме условно същите знаци + и X (или). Но тук имаме и още едно действие, за което вече споменахме - промяната на състоянието на контакта, която наричаме допълнение или отрицание и бележим с черта над означеното състояние на контакта. Така от 0, което значи изключен контакт, получаваме $\bar{0} = 1 = 1$ — включен контакт и имаме още $\overline{\bar{0}} = \bar{1} = 0$, а също и $\overline{\bar{1}} = \bar{0} = 1$, което показва, че операцията „ — ”, т. е. допълнение, приложена двукратно върху един от елементите 0 или 1, съответно върху едно от състоянията на контакта, запазва това състояние.

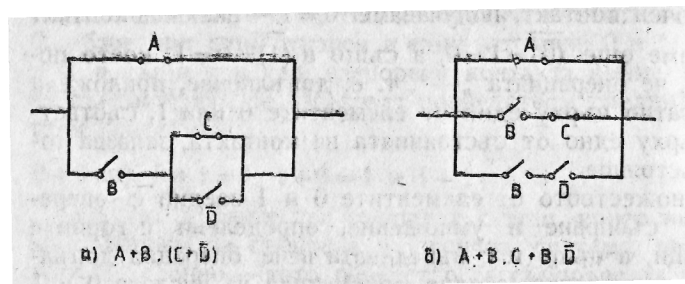
Множеството от елементите 0 и 1 заедно с операциите събиране и умножение, определени с горните таблици, а също и с въведената вече операция допълнение (отрицание) е една аритметика на числата 0 и 1 и е модел или пример на т. нар. алгебра на Бул или булева алгебра по името на английския математик-самоук Джордж Бул (1815 - 1864). Бул с право се счита за основател на математическата логика.

Булева алгебра образуват и току-що описаните схеми от два контакта. Ние обаче можем да разглеждаме схеми от повече контакти, които да означаваме с A, B, C, ..., n да свързваме успоредно или последователно. Тогава, ако имаме израз от вида $A + B.(C + \bar{D})$, това ще означава, че контактът A е свързан успоредно със системата B. $(C + \bar{D})$, която от своя страна е последователно свързване на контакта B с успоредно свързаните контакти C и $\bar{D}$. При това $\bar{D}$ се е получил с промяна на състоянието на предварително даден контакт D. Същият израз може да се преобразува тъждествено по правилото за разкриване на скоби и ще имаме равенството

$$A + B.(C + \bar{D}) = A + B.C + B.\bar{D}$$

което можем да проверим или изтълкуваме по чертежа на фиг. 8 отново посредством успоредното или последователното свързване на контактите. Освен това ние можем да пресмятаме стойността на разгледания израз $A + B.(C + \bar{D})$

посредством въведените таблици за събиране и умножение при дадени стойности на променливите (такива стойности могат да бъдат само 0 и 1).



Фиг. 8

Така, ако $A=C=D=0$ и $B=1$, ще имаме $=1$ и $A+B.(C + \overline{D}) = 0 + 1 .(0 + 1) = 0+1 . 1 = 0+1 = 1$, което показва, че във веригата протича ток. Ако $A=B=1$, $C=D=0$, ще имаме

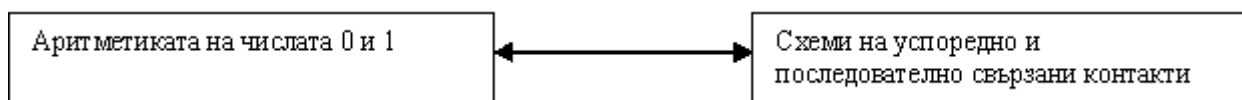
$$A+B.(C + \overline{D}) = 1 + 1 .(0 + 1) = 1+1 . 1 = 1+1 = 1$$

и отново ще протича ток.

В съвременните електронноизчислителни машини контактите са извънредно много и конфигурациите са толкова сложни, че просто не е мислимо другояче да се проверява ходът на импулсите, които протичат по създаваните вериги, освен да се изчисляват по формули въз основа на аритметиката на числата 0 и 1. Оттук

Аритметиката на числата 0 и 1

Схеми на успоредно и последователно свързани контакти



[към тема 1](#)