

**Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity**  
**Katedra technické a informační výchovy**



## **Základy číslicové techniky**

**PaedDr. Ing. Josef Pecina, CSc.**

**Mgr. Pavel Pecina, Ph.D.**

# Obsah textu

1. Úvod
2. Úvod do problematiky
3. Číselné soustavy
  - 3.1 Desítková (dekadická) číselná soustava
  - 3.2 Dvojková číselná soustava
  - 3.3 Osmičková a šestnáctková soustava
  - 3.4 Převod desítkových čísel na dvojková
  - 3.5 Počty s dvojkovými čísly
4. Základní logické členy
  - 4.1 Logický člen AND (logický součin)
  - 4.2 Logický člen OR (logický součet)
  - 4.3 Logický člen N(NOT), invertor
  - 4.4 Logický člen NOR (negovaný logický součet)
  - 4.5 Logický člen NAND (negovaný logický součin)
5. Kombinační logické obvody

## Cíl kapitol



### Student:

Objasní pojmy: analogové veličiny, číslicové veličiny, číslicová technika, informace, binární soustavy.

Vysvětlí pojem dvoustavová logika.

Objasní a nakreslí analogové zobrazení signálu a číslicové zobrazení signálu.

Popíše desítkovou a dvojkovou číselnou soustavu.

Uvede členění logických členů.

Nakreslí nejpoužívanější schematické značky logických členů OR, AND, NOR, NAND, NOT.

Vysvětlí funkce výše zmíněných členů a uvede konkrétní příklad jejich využití v obvodech.

# 1. Úvod

Předložený učební text je určen pro *studenty technické a informační výchovy pro druhý stupeň základních škol*. Je věnován základům číslicové techniky. Tato problematika je *nedílnou součástí moderní elektroniky*. Budoucí učitelé praktických činností musí být v této oblasti orientováni, protože práce konstruktéra elektronika (laicky řečeno **bastlíře**) se bez znalostí v této oblasti neobejde.

V elektronických schématech se často vyskytují logické členy a logické obvody. Proto je třeba jim rozumět a znát podstatu jejich funkce. Učitelé praktických činností musí být zejména praktiky v oblasti elektroniky, protože jedině experimentální a konstruktérskou činností ve výuce mohou žáky získat pro tuto ušlechtilou činnost. Z vlastní zkušenosti z výchovně- vzdělávací praxe víme, že žáci základní školy velmi rádi experimentují, pracují v laboratoři, zapojují obvody a měří. Pokud je jejich snažení odměněno ve formě materiálního produktu, je jejich spokojenost velká. Demonstrovaný konkrétní výrobek z elektroniky (např. blikač, jednoduchý alarm apod.) se také může stát prostředkem motivace žáků.

Při koncipování textu autoři vzali na zřetel, že ke studiu učitelství jsou přijímáni studenti bez vzdělání v dané oblasti. Proto bylo věnována patřičná pozornost výběru nejdůležitějších prakticky použitelných poznatků z této oblasti. Je však nutné si uvědomit, že *výklad se vždy neobejde bez důkladnějšího teoretického objasnění příslušného jevu*, které mnohdy zasahuje do fyzikální oblasti. Snahou moderní výuky je mimo jiné překonávání bariér mezi vědními disciplínami. V tomto případě se jedná o fyziku jako přírodní vědu a elektroniku jako aplikovanou technickou vědní disciplínu. *Fyzika jako nauka o fyzikálních jevech nám objasňuje procesy, které elektronika využívá*. Student musí být s těmito procesy seznámen aby pochopil podstatu funkce elektronických prvků a systémů. Pokud bychom však nahlíželi na přípravu učitelů elektroniky striktně technicky (tedy jak to udělat a jak to funguje a ne proč to tak funguje), učili bychom teorie černých skříněk. Je tedy třeba na tuto oblast nahlížet interdisciplinárně (mezioborově). Proto se v některých částech opíráme o fyzikální poznatky. Studium textu předpokládá znalosti v rozsahu učebního textu Elektronika (technická praktika z elektroniky).

## 2. Úvod do problematiky

Úvodem je třeba provést srovnání analogové a číslicové techniky. Pokud si budeme vybírat mezi analogovým (ručkovým) měřicím přístrojem a digitálním měřicím přístrojem, *vybereme si digitální*, protože má nesporné výhody. Pokud budeme měřit např. el. proud, bude ručka analogového ampérmetru úměrná měřenému napětí.



Pokud chceme údaj odečíst, musíme porovnat polohu ručky se stupnicí. Ale stupnice je rozdělena na dílky, které odpovídají určité části rozsahu přístroje. Jeden dílek odpovídá určité hodnotě (např. 1 dílek = 100mA). Proto zjišťujeme skutečnou hodnotu měření veličiny spíše odhadem. Pokud bude stejný údaj odečítat někdo jiný, může zjistit o zlomek dílku jiný údaj.

Nebo naopak ke dvěma různým polohám ukazatele může být přiřazena stejná hodnota proudu. Pokud však změříme el. proud číslicovým **ampérmetrem**, údaj o hodnotě proudu je dán skupinou číslic na displeji digitálního přístroje. Zobrazení je tedy jednoznačné a ať naměřený údaj přečte kdokoli, údaj bude stále stejný. Další výhodou číslicových měřicích přístrojů bývá automatické nastavení nejvýhodnějšího pracovního rozsahu a správné zobrazení znaménka měřené veličiny.

Lze konstatovat, že číslicové zobrazení měřené veličiny je přesnější. Analogový údaj proti tomu mnohdy rychleji vnímáme a posuzujeme. Např. údaj o čase na ručičkových hodinkách vyhodnocujeme často snadněji než na hodinkách s číslicovým displejem.

Dále je třeba si objasnit pojmy **analogové** a **číslcové** veličiny.



Analogové veličiny jsou spojitou funkcí času (např. el. napětí). Spojitá funkce času znamená, že veličina svou hodnotu mění s časem nebo zůstává konstantní. Hlavní je, že se hodnota nemění skokem a má v každém okamžiku konečnou hodnotu. Analogové veličiny se měří a zpracovávají pomocí analogových obvodů. Analogové veličiny (el. napětí, el. proud). lze měřit číslicovými přístroji. Analogový signál se musí uvnitř přístroje převést na číslicový signál a ten dále zpracovat.

Číslicový signál je označován jako **dvojkový** (binární). Ke pracování dvojkového signálu v číslicovém přístroji se používají obvody, které mají jen dva stavy. Tyto obvody v jednom stavu vedou el. proud a v druhém nevedou el. proud. Tak je možné každým stavem takového spínacího prvku reprezentovat jednotkové množství informace- jeden **bit** (viz. dále).

Číslicová technika je součástí *technické informatiky*. Informatika je věda o sběru, úpravě, ukládání a dalším zpracování a předávání informací. Technická informatika vytváří matematické a logické modely problémů a řeší technickou realizaci těchto modelů (hardware).



**Informace** je kvantitativní ohodnocení nehomogenity v rozložení hmoty, polí a energie v prostoru a v čase (Jansen a kol.2004).

Pokud by byl vesmír zcela homogenní, nebyly by informace.

Číslicová technika se zabývá číslicově kódovanými informacemi.

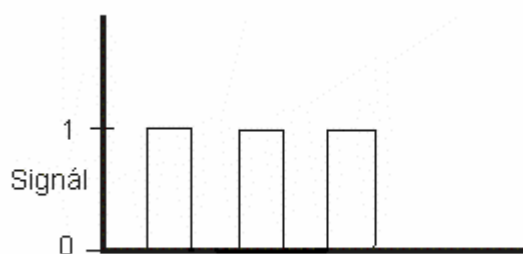
Pojem číslicový je často zaměňován pojmem digitální.

**Digitus** znamená latinsky prst a souvisí s počítáním na prstech.

Číselnými údaji jsou popisovány analogové veličiny (např. čas).

Pozice analogového pohybu ručiček je popisována čísly. Původní **dekadická** (desítková) číselná soustava používá deset symbolů (číslíce nebo cifry). Každé číslo ale lze vyjádřit pomocí dvou různých symbolů, tj. **binárně** nebo **dvojkově**. Binární soustavy používají pro dva různé stavy v různých oblastech různých dvojic symbolů. Matematika používá číslic 0 a 1.

Logika používá výrazů *pravdivý* (true) a *nepravdivý* (false), elektrotechnika používá stavů sepnuto a rozepnuto nebo dvou různých hodnot napětí (obr.1)



**Obr. 1 Průběh binárního signálu**



**Booleova algebra** definuje funkce logických proměnných a odvozuje vztahy mezi těmito funkcemi.

Jednotkou informace je jeden bit (z angl. Binary digit).

Informace o tom, zda něco existuje nebo neexistuje má hodnotu jeden bit.

Logické hodnoty jsou reprezentovány ve výrokovém počtu (v učebnicích logiky) i v Booleově algebře (v učebnicích kybernetiky) symboly 0 a 1.

Při realizaci v elektrotechnice jsou elektricky reprezentovány různými napětími (proti společné zemi) např. číslice 0 napětím 0V a číslice 1 napětím 5V. Pokud je stav 1 reprezentován vyšším kladným napětím (H- high level = vysoká úroveň) a stav 0 je reprezentován nižším kladným napětím (L\_low level = nízká úroveň), mluvíme o pozitivní logice (viz. Tabulka 1). V opačném případě mluvíme o negativní logice nebo také inverzní logice.

Logická hodnota	Úroveň napětí
0	L(low, např. 0V)
1	H(high, např. 5V)

**Tabulka 1.**



Pravdivostní tabulky jsou tabulky, které obsahují vstupní a výstupní hodnoty logických funkcí nebo logických obvodů, reprezentované logickými hodnotami **0** a **1**.

Při reprezentaci logickými hodnotami L a H se tabulky také nazývají pracovní tabulky logických obvodů.

Jedním bitem můžeme rozlišit jen jeden jev definovaný dvěma stavy. Např. vede el. proud nebo nevede el. proud, prší nebo neprší, teplota je vyšší než 10 °C a termostat sepne nebo je nižší a termostat rozezne, světlo svítí nebo nesvítí. Této jednoduché logice se říká dvoustavová logika kvůli zmiňovaným dvěma stavům. I přes svou jednoduchost tvoří základ, na němž je postaveno i tak složité zařízení, jakým je počítač. Ve složitých případech tedy jde o to rozložit situaci na řadu jednoduchých rozhodování. Avšak i v běžném životě se setkáváme se situacemi, které vyžadují jednoduché rozhodování, tedy volbu mezi dvěma stavy. Např. žárovka má svítit nebo nesvítit, spínač má sepnout nebo rozepnout, vozidlo má jet nebo stát.

Na základě zjištěné informace rozhodujeme o další činnosti. V číslicové technice tak jako v životě někdy potřebujeme změnit dosavadní stav na stav opačný. Říkáme tomu **negace**.

Pokud chceme rozlišit více stavů nebo jevů, potřebujeme více bitů. Např. chceme rozlišit barvy červená, zelená, modrá a hnědá. Potřebujeme kombinaci dvou bitů. Zvolíme bity  $B_1$  a  $B_2$ . Získáme s jejich pomocí čtyři možné kombinace, kterým přiřadíme barvy.

$B_1$   $B_2$ :

**0** - červená

**1** – zelená

**0** – modrá

**1** – hnědá

Pokud by to nebylo dostačující a potřebovali zvýšit počet kategorií, mohli bychom přidat ještě jeden bit. Pomocí tří bitů bychom získali osm možných rozlišení. Tak získáme číslicový (binární) signál.

Fyzikální veličiny, které se vyskytují v našem okolí jsou **analogové** (teplota, tlak, el. napětí, el. proud). Proto je přirozené, že analogové veličiny zpracovávali **analogové obvody**. Rychlý rozvoj technologií zapříčinil rozvoj součástkové základny v číslicové oblasti, protože spínací a číslicové obvody jsou jednodušší než analogové a snadněji se vyrábí v podobě integrovaných obvodů. *Tak byli vyvinuty různé integrované obvody, od logických hradel až po mikroprocesory.* Vznikla tak nová **oblast elektroniky-číslicová technika**.

### Analogové a číslicové zobrazení signálu



Měřené veličiny jsou téměř vždy analogové.

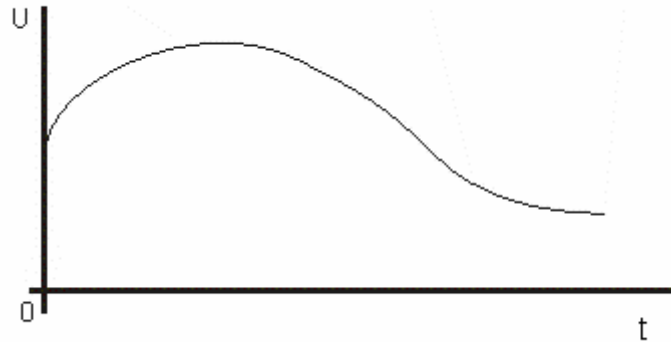
Jejich vyjádření pomocí číslicového signálu získáme převodem pomocí tzv. **analogově-číslicového (A/D) převodníku**.

Důležité rozlišovací kritérium analogové a číslicové techniky se skrývá v pojmu signál.

Signál je fyzikální interpretací zprávy a tím je i nositelem informace, kterou máme zpracovávat.

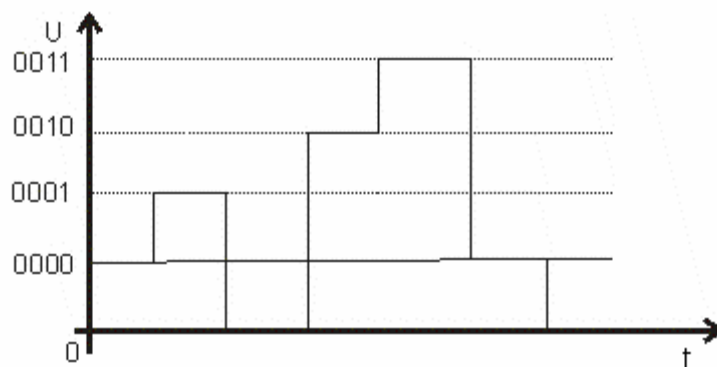
Obvody, které zpracovávají signály, dělíme na dvě základní skupiny:

**1. Analogové obvody.** Zpracovávají signály, které jsou funkcemi času a v čase jsou spojité, tzn. Že se mění plynule. Jsou to např. zvukové vlny, světelná záření, teplota okolí. Dříve jsme již zmiňovali i napěťový signál jako funkce času, který je také analogový (obr. 2).



**Obr. 2 Spojitý analogový signál**

**2. Číslicové obvody.** Zpracovávají nejčastěji signály dvouhodnotové. Tyto signály nazýváme dvojkové, binární nebo logické. Dvojkový signál je dán kombinací takového počtu bitů, aby bylo možné s dostatečnou přesností analogový signál reprezentovat signálem číslicovým. Na obrázku je znázorněn příklad dvojkového signálu pomocí čtyř bitů (obr. 3). Vidíme, že existuje konečný počet úrovní, reprezentovaný skupinou nul a jedniček k zobrazení hodnot napětí.



**Obr. 3 Příklad číslicového úrovnňového signálu**



### 3. Číselné soustavy

Lidé jsou zvyklí používat k vyjádření čísel desítkovou číselnou soustavou. Ve výpočetní a číslicové technice je výhodné používat **dvojkovou** (binární) **číselnou soustavu** a soustavy založené na mocninách čísla 2. K výpočtům v uvedených soustavách a k převodům kódů z jedné soustavy do druhé se používají číslicové obvody založené na logických obvodech. Abychom pochopili funkci číslicových obvodů, musíme pochopit principy výpočtů v jednotlivých číselných soustavách.

#### 3.1. Desítková (dekadická) číselná soustava



Základem desítkové soustavy je číslo 10.

Tato soustava používá deset znaků: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Váhový význam číslice v čísle je určen pozicí (obr.4).

Číslice celého desítkového čísla jsou zprava doleva na pozicích jednotek, desítek, stovek ( $10^2=100$ ), tisícovek ( $10^3=1000$ ) atd.

poziční váha		$356 = 3 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0$
↓		
stovky ( $10^2$ )		$= 3 \cdot 100 + 5 \cdot 10 + 6 \cdot 1$
desítky ( $10^1$ )		$= 300 + 50 + 6$
jednotky ( $10^0$ )		

Obr. 4 Struktura zápisu desítkového čísla

Desítkovou soustavu využíváme v běžném životě a při aritmetických operacích dostáváme vždy jednoznačný výsledek. Pro počítače a číslicové systémy tato soustava však není vhodná, protože číslicové zařízení by muselo rozlišovat deset různých stupňů (např. napětíových stupňů). To by kladlo vysoké nároky na jeho přesnost a kvalitu. Proto ve v těchto oborech využívají soustavy o jiných základech. Nejčastěji používaným základem v číslicových systémech je základ 2 (číslíce 0 a 1).

## 3.2. Dvojková číselná soustava



Základem číslicové (digitální) techniky je dvojková (binární) číselná soustava.

Základem dvojkové soustavy je číslo dvě.

Soustava používá dvou znaků nebo stavů při zápisu do paměti a lineárně uspořádaný poziční váhový kód s váhami odpovídajícími mocninám základu 2.

Používané znaky 0,1 jsou dvojkové číslice.

Váhový význam číslice v čísle je určen pozicí (obr.5).

Číslice celého dvojkového čísla jsou zprava doleva na pozicích jednotek ( $2^0$ ), dvojek ( $2^1$ ), čtyřek ( $2^2$ ), osmiček ( $2^3$ ) atd.

Hodnotu dvojkového čísla a tím i jeho převod na desítkový zápis je možno získat jako součet součinů jednotlivých číslic s příslušnými pozičními váhami (obr. 5).

$$\begin{array}{l} \text{poziční váha} \\ \downarrow \\ \text{osm } (2^3) \\ \text{čtyři } (2^2) \\ \text{dvě } (2^1) \\ \text{jedna } (2^0) \end{array} \quad \begin{array}{l} 1001 \\ \hline \hline \hline \hline \end{array} = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \\ = 1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \\ = 8 + 0 + 0 + 1 \\ 1001_2 = 9_{10}$$

**Obr. 5** Struktura a převod dvojkového čísla na desítkovou

Při počítání s čísly v různých číselných soustavách označujeme čísla indexy, které mají hodnotu základu číselné soustavy čísla. Pro tyto indexy se používají desítková čísla.

**Příklad:**  $3_{10} = 11_2$  (čteme: tři desítkově je jedna jedna dvojkově).

K binárnímu vyjádření libovolné z deseti desítkových číslic je třeba čtyřmístné binární číslo, což je patrné z tabulky č.2.

Dekadický zápis	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

**Tabulka 2. Dvojkový zápis čísel 0-15**

Pomocí čtyřbitového kódu, resp. čtyřmístného binárního čísla lze zakódovat 16 různých znaků, resp. 16 dekadických čísel od 0 do 15. Dekadickou číslicí lze tedy zakódovat pomocí čtveřice (tetrády) binárních znaků (dvojkových číslic).

Příklad:  $1_{10} = 0001_2$ ,  $9_{10} = 1001_2$

### 3.3. Osmičková a šestnáctková číselná soustava



Osmičková a šestnáctková číselná soustava jsou v informatice často používány ke stručnějšímu a přehlednějšímu zápisu binárního kódu.

Pokud sdružíme binární znaky binárního zápisu zprava do trojic, můžeme každou trojici nahradit znakem 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 a získáme zápis čísla v osmičkové nebo také oktávové číselné soustavě.

Jedna číslice oktávového zápisu čísla nahrazuje tři číslice binárního zápisu.

Zápis  $9_{10} = 11_8$  pak čteme: devět desítkově = jedna jedna osmičkově.

Sdružíme-li dvojkové číslice binárního zápisu zprava do čtveřic, můžeme každou čtveřici nahradit jedním z šestnácti znaků (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F) a získáme tak zápis čísla v šestnáctkové soustavě (nebo také hexadecimální) číselné soustavě. V tabulce (Tabulka 3) jsou uvedena čísla 0 až 15 ve čtyřech číselných soustavách.

Desítkový Zápis $10^1$ $10^0$	Dvojkový zápis $2^3$ $2^2$ $2^1$ $2^0$	Oktálový zápis $8^1$ $8^0$	Hexadecimální Zápis $16^1$ $16^0$
0	0 0 0 0	0	0
1	0 0 0 1	1	1
2	0 0 1 0	2	2
3	0 0 1 1	3	3
4	0 1 0 0	4	4
5	0 1 0 1	5	5
6	0 1 1 0	6	6
7	0 1 1 1	7	7
8	1 0 0 0	10	8
9	1 0 0 1	11	9
10	1 0 1 0	12	A
11	1 0 1 1	13	B
12	1 1 0 0	14	C
13	1 1 0 1	15	D
14	1 1 1 0	16	E
15	1 1 1 1	17	F

**Tabulka 3. Zápisy čísel 0- 15 v různých číselných soustavách**

Dosáhne-li číslice na určitém místě (při zvětšování čísla postupně po 1) maximální hodnoty (v desítkové soustavě 9, v hexadecimální soustavě F), dojde k přenosu (přičtení 1) do vyššího řádu. Příklad nám ukazuje zápis čísla dvanáct ( $12_{10}$ ) v různých číselných soustavách. Ze zápisu je zřejmé, že v různých číselných soustavách mohou vypadat zápisy téhož čísla (téže hodnoty) velmi odlišně.

**Příklad:**  $12_{10} = 1100_2 = 14_8 = C_{16}$

## 4. Základní logické členy



Logický člen je základní logický obvod, který má alespoň jeden vstup a jeden výstup a který transformuje vstupní dvouhodnotový logický signál podle určité elementární logické funkce.

Logické členy lze dělit podle různých hledisek (Antošová, Davídek, 2004.s. 85)

Podle realizované logické funkce

**Kombinační.**

**Sekvenční.**

Podle schopnosti zesilovat signál

**Pasivní.**

**Aktivní.**

Podle druhu signálu, který je nositelem logické informace

**Elektromechanické** - Signál je napětí nebo proud a následná síla- relé

**Elektrické** - Signálem je napětí nebo proud

**Optoelektrické** - Signálem je světelný tok a následně elektrické napětí nebo proud

**Pneumatické** - Signálem je mechanický tlak

Podle použité součástkové základny

**Elektromechanické** - Logická funkce je realizována pomocí relé a jejich kontaktů. Dnes se používá velmi málo. Pochází z doby před vznikem polovodičů.

**Diodové** - Logická funkce je realizována pomocí spínacích diod a omezovacích rezistorů. Je to *diodová logika DL*.

**Tranzistorové** - Logická funkce je realizována pomocí tranzistorů a dalších obvodových prvků (diody, rezistory). Je to *diodově tranzistorová logika DTL*.

**Integrované** - Logická funkce je realizována pomocí integrovaných obvodů. Tyto obvody jsou v současnosti používají nejvíce. Existují integrované obvody realizované s různou hustotou integrace. Např. SSI (Small Scale Integration) zahrnuje obvody s nízkou hustotou integrace jako hradla NAND, NOR, XOR a další. Střední hustota integrace MSI (Medium Scale Integration) zahrnuje obvody jako čítače, posuvné registry, dekodéry atd. Z předchozího je patrné, že základní logické funkce se realizují pomocí **hradel**. Hradla realizují základní

logické funkce. Logická hradla realizují výrobci různými technologiemi. Ty přiřazují logickým stavům určitou úroveň napětí. Logické úrovně jsou vždy spojeny s určitými konkrétními realizačními obvody. Pokud je oblast napěťových úrovní odpovídající logické jedničce větší, než oblast hodnot napětí pro logickou nulu, jedná se o tzv. **pozitivní logiku** (např: logické jedna odpovídá hodnota napětí 2 - 5V, logické nule odpovídá hodnota napětí 0-0,8V). Pokud jsou napěťové úrovně pro logickou nulu větší než pro logickou jedničku, jedná se o tzv. **negativní logiku** (např: logické jedna odpovídá hodnota napětí 0-0,8V, logické nule odpovídá hodnota napětí 2 - 5V). Dále budeme popisovat pouze obvody s pozitivní logikou. Základní logické členy lze v rámci jednotlivých technologií rozdělit podle toho, z jakých prvků jsou vyrobeny:

**DL- diodová logika.** Jako spínací prvky jsou používány diody a omezovací odpory.

**DTL – diodově tranzistorová logika.** Tento typ logiky používá jako aktivní prvek tranzistor.

**RTL – rezistorově tranzistorová logika.**

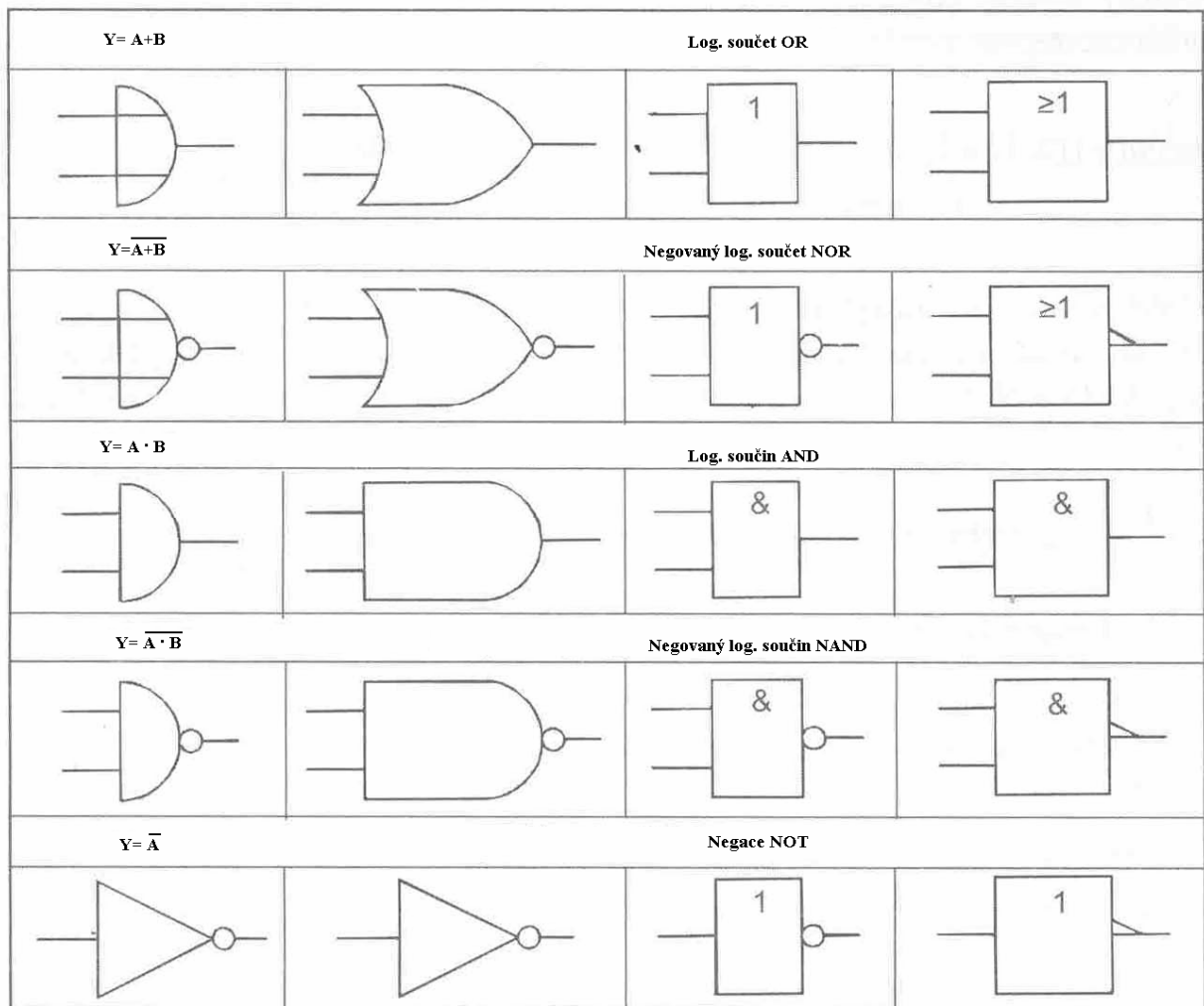
**TTL – tranzistorově tranzistorová logika.** Tento typ logiky je velmi rozšířený. Zmíníme se o něm později.

**CMOS** – komplementární MOS technologie. Tato logika využívá unipolární tranzistory, tj. tranzistory řízené elektrickým polem.

Je také velmi rozšířená. Vyrábí se i obvody, které jsou kompatibilní s TTL. I o této logice bude pojednáno později.

**ECL – editorově vázaná logika.** Tento typ logiky se používá pro velmi rychlé číslicové obvody, velmi rychlé paměti.

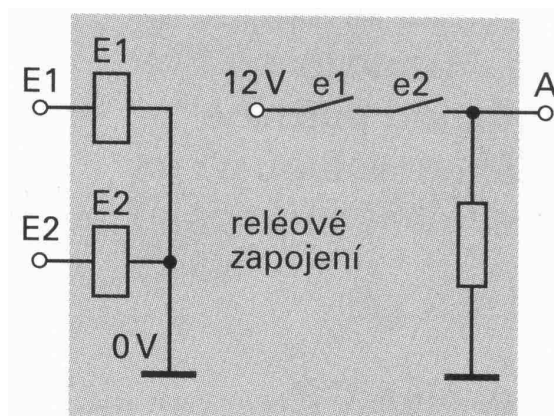
*Logické funkce realizujeme prostřednictvím základních logických členů. Jejich spojováním získáváme logické obvody. Pro kreslení schémat logických obvodů se používají schematické značky těchto členů. Máme je zobrazeny na obrázku (obr. 6). V tabulce jsou uvedeny nejčastěji používané značky u nás i v zahraničí. V prvním sloupci je německé značení podle normy DIN. Toto značení je však dnes již zastaralé a ve větší míře se nepoužívá. V druhém sloupci je americké značení, se kterým se setkáme ve většině zahraničních katalogů číslicových prvků. Ve třetím sloupci je uvedeno u nás v minulosti velmi používané značení podle ČSN. Toto značení se u nás velmi rozšířené a používané mnoha odborníky, kteří jsou na něj zvyklí. Čtvrtý sloupec představuje značení, které je doporučené Mezinárodní elektrotechnickou komisí IEC jako perspektivní náhradu ostatních značení.*



Obr. 6 Schematické značky logických členů

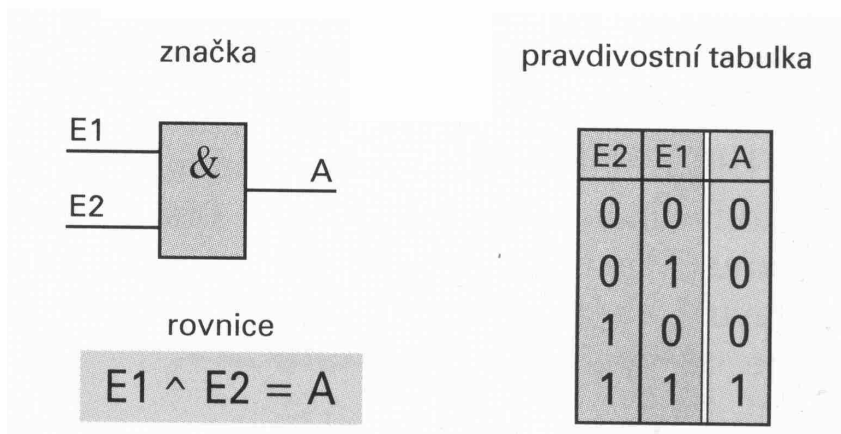
#### 4.1. Logický člen AND (logický součin)

Logický součin dvou proměnných je roven 1 tehdy a jen tehdy, když jsou obě logické proměnné rovny 1. Výstup A obvodu logického součinu se vstupy E1 a E2 je tehdy ve stavu 1, je-li E1 = 1 a současně E2 = 1. Můžeme tedy psát  $E1 \text{ AND } E2 = A$ , přičemž  $1 \text{ AND } 1 = 1$ . Na obrázku (obr.7) je reléová realizace logického součinu. Pokud má reléový obvod na vstupech E1 a E2 stav 1 (v tomto případě napětí  $U = 12V$ ), jsou sepnuty kontakty e1 a e2 a na výstupu A bude stav logické 1.



**Obr. 7 Reléová realizace logického součinu**

Značka logického součinu ve schématech číslicových obvodů je na obrázku (obr. 8).

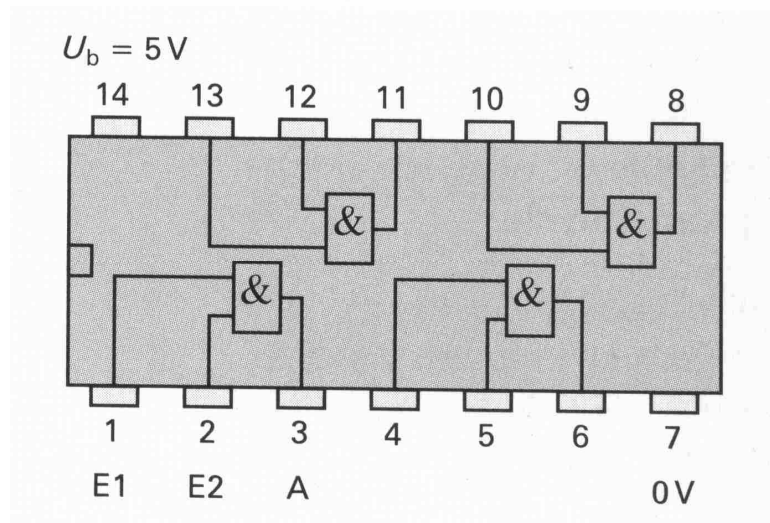


**Obr. 8 Logický člen AND se dvěma vstupy**

Označení vstupů a výstupů jsou nad čarami označujícími **datové vodiče**. V logických rovnicích bývá operátor logického součinu AND nahrazován znaménkem logické konjunkce ( $\wedge$ ). Pravdivostní tabulka popisuje všechny stavy logické funkce AND, tj. hodnoty při všech možných stavech na dvojici vstupů, tj. při všech variacích (s opakováním) hodnot dvojice vstupních logických proměnných. Při dvou vstupech je počet všech možností  $2^2 = 4$ . Logický součin lze zobecnit pro  $n$  vstupních proměnných a pravdivostní tabulka má  $2^n$  řádků). Logický součin (výstup členů AND) více logických proměnných (s více logickými vstupy) je roven 1 tehdy a jen tehdy, jsou-li všechny proměnné (hodnoty na všech vstupech) rovny 1. Dvouvstupové logické členy AND jsou vyráběny jako číslicové integrované obvody se čtrnácti vývody, které mají čtyři tyto obvody, nazývané též hradla AND. Tento obvod se vyrábí pod označením 7408 (obr) ve všech technologiích. Např. obvod 74 LS 08 je pomalejší



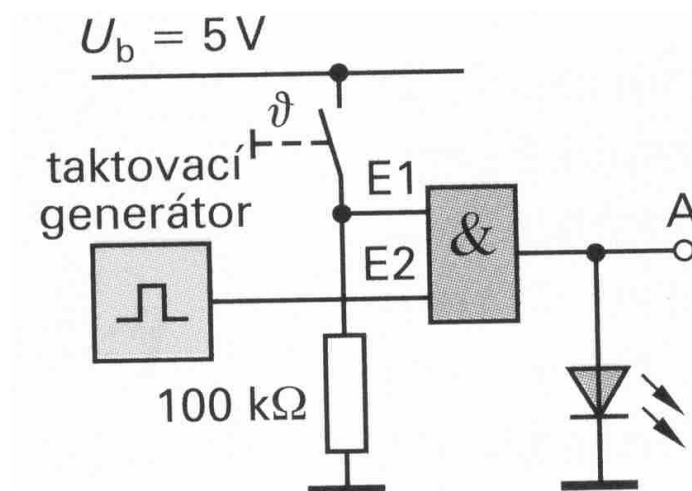
obvod typu TTL. V přehledu obvodů TTL 7400 (BEN, 1997) je obvod uváděn v části HRADLA jako 4x dvouvstupové hradlo AND rovněž ve čtrnáctivývodovém pouzdře DIL (obr. 9). Obdobný obvod 4081 je vyroben technologií CMOS.



**Obr 9. Integrovaný obvod se 4 dvouvstupovými logickými členy AND**

Příklad použití: *blikající indikátor zvýšené teploty*

Indikátor by měl pomocí blikající LED diody signalizovat zvýšení teploty snímané teplotním čidlem, které sepne vlastní kontakt. Přerušovaný signál pro blikání je přiveden z výstupu taktovacího (pulzního) generátoru. Sepnutí kontaktu umožní přivedení pulzního signálu z generátoru na diodu LED. Zapojení je realizováno s využitím logického členu AND. Sepnutý kontakt umožní při 1 na vstupu E1 průchod pulzního logického signálu ze vstupu E2 na výstup A v nezměněné podobě a LED bliká (obr .10).

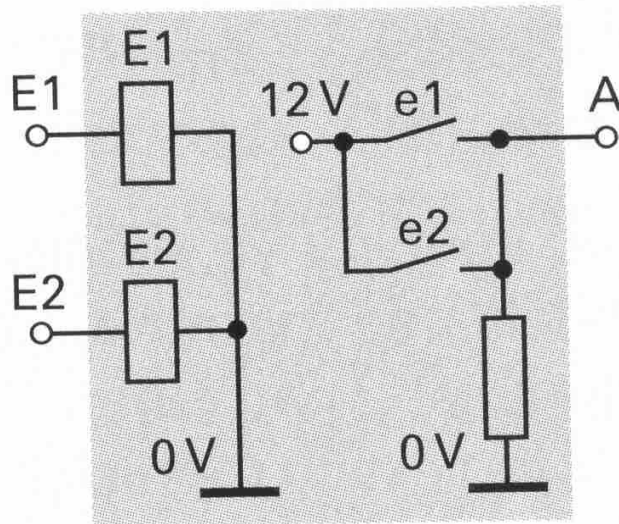


**Obr. 10 Blikající ukazatel a průběhy signálů**

## 4.2. Logický člen OR (logický součet)

Logický součet dvou logických proměnných je roven 1 tehdy, pokud je alespoň jedna z nich rovna 1. Výstup A členu OR je ve stavu 1, je-li ve stavu 1 jeden jeho vstup nebo druhý jeho vstup nebo oba vstupy současně.

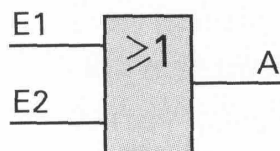
Zjednodušená realizace logického členu OR je na obrázku (obr. 11). Pokud je ve stavu 1 alespoň jeden vstup, pak je na výstupním rezistoru 12V, tj. stav 1.



Obr. 11 Realizace logického členu OR

Na obrázku (obr. 12) máme značku logického členu OR se dvěma vstupy. V logických rovnicích bývá operátor logického součtu OR nahrazován znaménkem logické disjunkce ( $\vee$ ).

schematická značka



rovnice

$$E1 \vee E2 = A$$

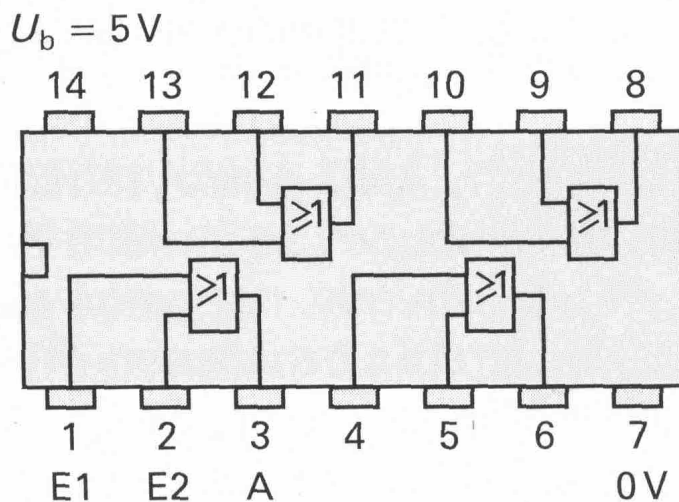
pravdivostní tabulka

E2	E1	A
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(čti: logický součet E1 a E2 je roven A)

Obr. 12 Logický člen OR se dvěma vstupy

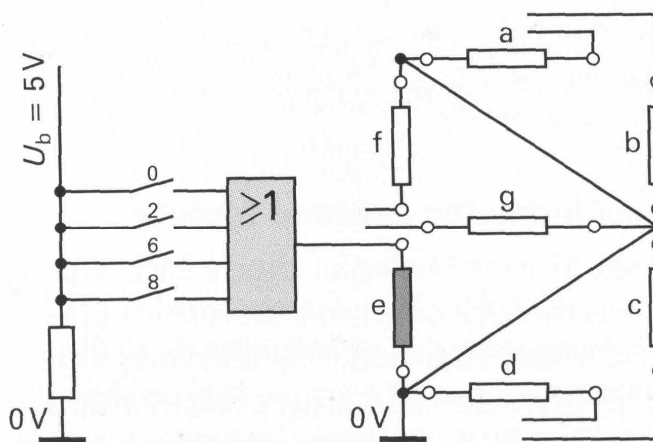
Logický součet lze zobecnit pro více vstupních proměnných. Logický součet více logických proměnných je roven logické 1 tehdy, je-li alespoň jedna z nich rovna logické 1. Obvod realizující logický součet se nazývá hradlo OR. Integrovaný obvod 7432 typu TTL obsahuje čtyři dvouvstupová hradla OR (obr. 13). Obdobný obvod vyrobený technologií CMOS má označení 4071.



**Obr. 13** Integrovaný obvod se 4 dvouvstupovými logickými členy OR (typ 7432)

Příklad použití: *segmentový displej*

Pomocí deseti kláves klávesnice má být ovládán sedmsegmentový displej pro zobrazení 10 různých číslic. Segment e má svítit při stisku jedné z kláves 0, 2, 6 nebo 8. Na obrázku (obr. 14) máme řešení pomocí čtyřvstupového logického členu OR.

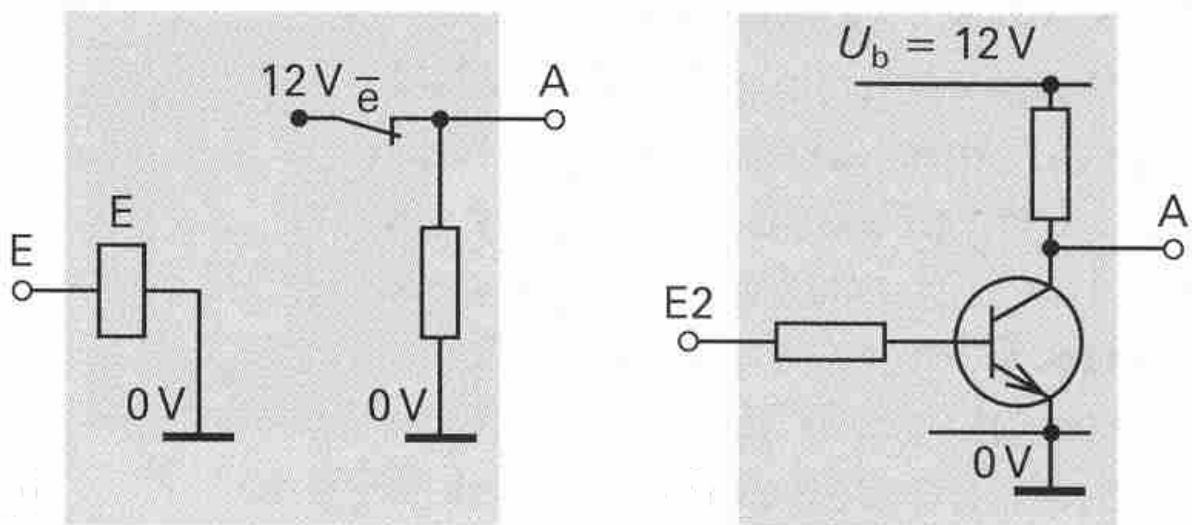


**Obr. 14** Použití čtyřvstupového logického členu OR při ovládání sedmsegmentového displeje

### 4.3. Logický člen N(NOT), investor

Investor má jeden vstup a jeden výstup a mění 1 na 0 nebo naopak 0 na 1. Říkáme, že invertor invertuje nebo neguje vstupní proměnnou. Operace inverze se také nazývá negace.

Invertory na obrázku (obr. 15) převádějí stav 0, zde 0V na vstupu na stav 1, zde 12V na výstupu a opačně. Funkce rozpínacího kontaktu relé E je označena písmenem e s pruhem. Pruh nad písmenem e označuje funkci opačnou k funkci standardního spínacího kontaktu. Na obrázku vidíme realizaci investoru pomocí relé (obr. 15 vlevo) a pomocí tranzistoru (obr. 15 vpravo).



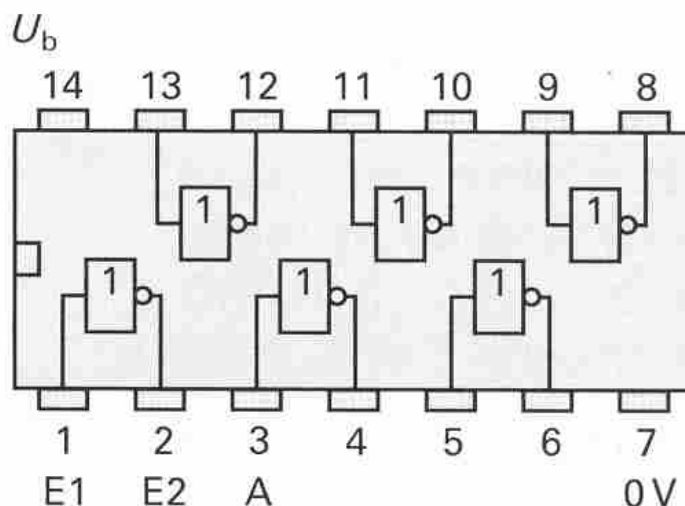
Obr. 15 Realizace negace (investoru) pomocí relé (vlevo) a tranzistoru (vpravo)

Značka investoru se skládá ze čtverce s označením 1 a kroužku na vnějším obvodu. Čtverec s 1 znamená ekvivalenci a kroužek negaci. Kroužek vyjadřující negaci může být přidán na vstup nebo výstup kterékoliv obdelníkové značky logického členu. V logických rovnicích bývá operátor negace NOT nahrazován pruhem nad proměnnou nebo nad celým výrazem na který se vztahuje. Pravdivostní tabulka má jen dva řádky. Je to unární operátor. Unární operace se vztahuje na jednu proměnnou, binární operace na dvě proměnné, n-nární operace na n proměnných (operandů). Na obrázku (obr. 16) máme schematickou značku negace, rovnici a pravdivostní tabulku.



**Obr. 16 Logická negace**

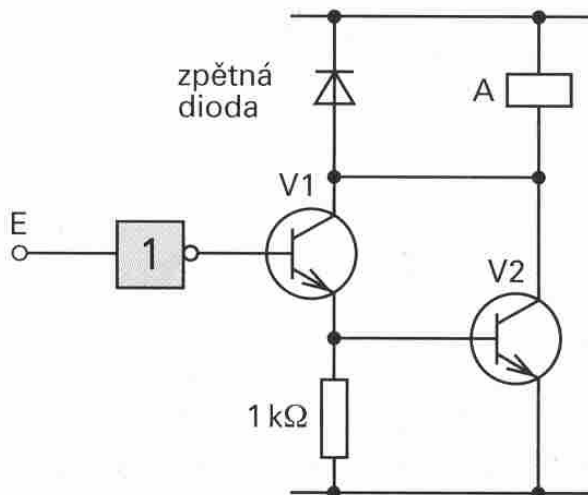
Integrovaný obvod, který má šest nezávislých investorů (16 vývodů) se vyrábí jako obvod TTL pod označením 7404 a jako obvod CMOS s označením 4069 (obr. 17).



**Obr. 17 Integrovaný obvod se šesti investory**

Příklad použití: *ovládání relé*

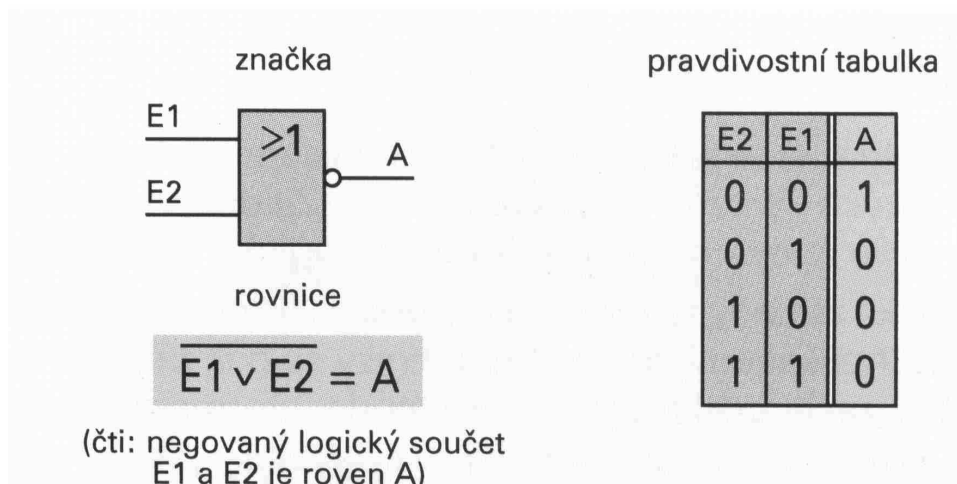
Pomocí obvodu na obrázku (obr. 18) je dosaženo zesílení logického signálu z malé proudové úrovně výstupních signálů integrovaných číslicových obvodů na úroveň proudu spínaného pomocí relé. Stav 1 na vstupu E invertovaný na stav 0 zavře tranzistor V1. Tím také V2 a obvodem (cívkou relé) neprochází proud. Stav 0 na vstupu E otevře postupně oba tranzistory a vybudí relé A, které přitáhne kotvu. Pokud by mělo být relé vybudeno opačně stavem 1 na vstupu E, musel by být zapojen ještě další investor.



Obr. 18 Ovládání relé

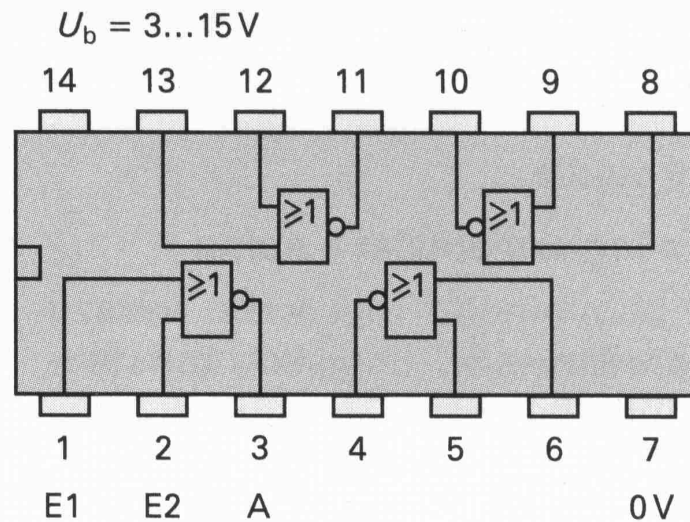
#### 4.4. Logický člen NOR (negovaný logický součet)

Negovaný logický součet NOR (NOT-OR) se pro dvě proměnné se nazývá Peirceova funkce. Pomocí NOR lze také vytvořit všech 16 možných booleovských funkcí dvou proměnných. Proto říkáme, že NOR tvoří úplný logický systém (jednofunkční úplný logický systém lze vytvořit pouze z funkce NOR nebo NAND). Schematická značka NOR se liší od značky OR kroužkem negace na výstupu. Funkce členu je zřejmá z pravdivostní tabulky. Na výstupu logického členu je NOR je 0 tehdy je-li alespoň na jednom vstupu 1. Schematickou značku, rovnici a pravdivostní tabulku máme na obrázku (obr. 19).



Obr. 19 Negovaný logický součet NOR

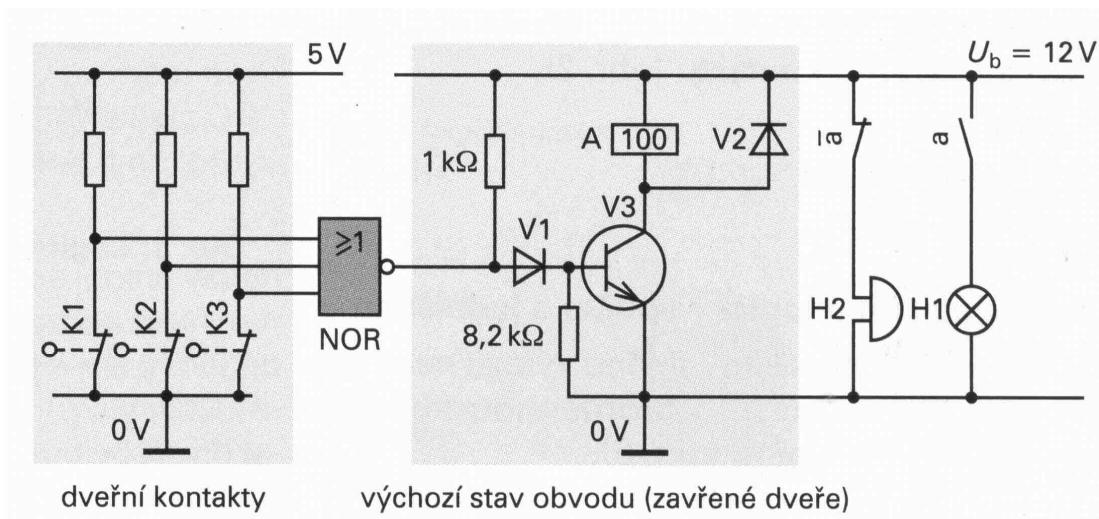
Logické obvody NOR jsou nabízeny v integrovaných obvodech jako čtyři nezávislá dvouvstupová hradla NOR v pouzdech se 14 vývody (obr. 20). V provedení CMOS je to integrovaný obvod 4001 a v provedení TTL je to obvod pod označením 7402, např. 74LS02.



**Obr. 20 Integrovaný obvod typu 4001, 4x dvouvstupový NOR**

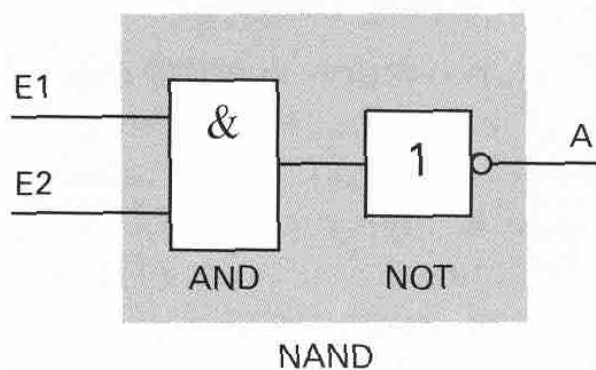
Příklad použití: *hlídací obvod*

Zabezpečovací obvod má hlídat uzavřenost 3 dveří opatřených kontakty, které jsou sepnuté při zavřených dveřích a rozpojené při otevřených (nebo polootevřených) dveřích. Uzavření všech dveří současně má být indikováno svítící žárovkou a otevření některých (nebo více současně) dveří má být indikováno zvoněním zvonku. Logickou funkci v tomto zapojení zajišťuje třívstupové hradlo NOR, které má na výstupu jedničku jen při nulách na všech vstupech, tedy při sepnutých dveřních rozpínacích kontaktech (K1, K2, K3). Při stavu 1 na výstupu členu NOR je V3 otevřený, relé A vybuzené, kontakt a s čárkou sepnutý a kontakt a bez čárky rozpojený a žárovka H1 svítí. Dioda V1 zvyšuje spínací úroveň napětí pro tranzistor, zatímco zpětná dioda V2 chrání tranzistor před napěťovou špičkou při vypnutí proudu procházejícího cívkou relé. Při rozpojení některého dveřního kontaktu se uzavře tranzistor, relé odpadne, relé odpadne, žárovka zhasne a zvonek začne zvonit. Na toto zapojení je možné použít integrovaný obvod 74HCT 24, 3x třívstupový NOR).



#### 4.5. 3.5 Logický člen NAND (negovaný logický součin)

Negovaný logický součin NAND (zkratka anglického NOT- AND, obr. 21) se pro dvě proměnné nazývá **Shefferova funkce**.

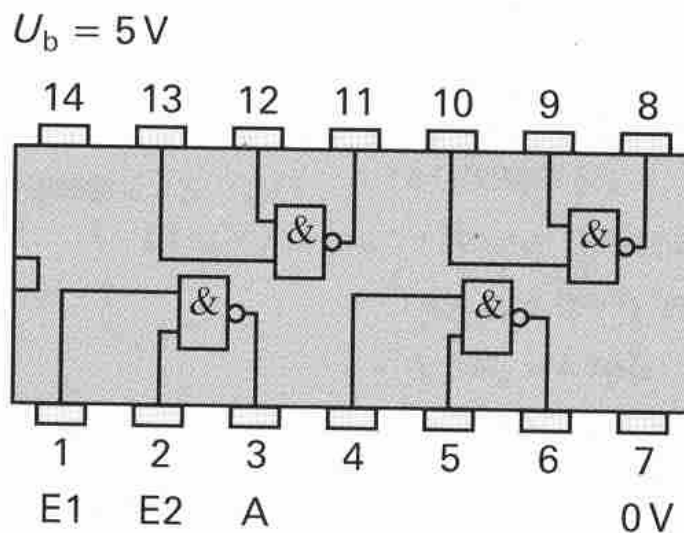
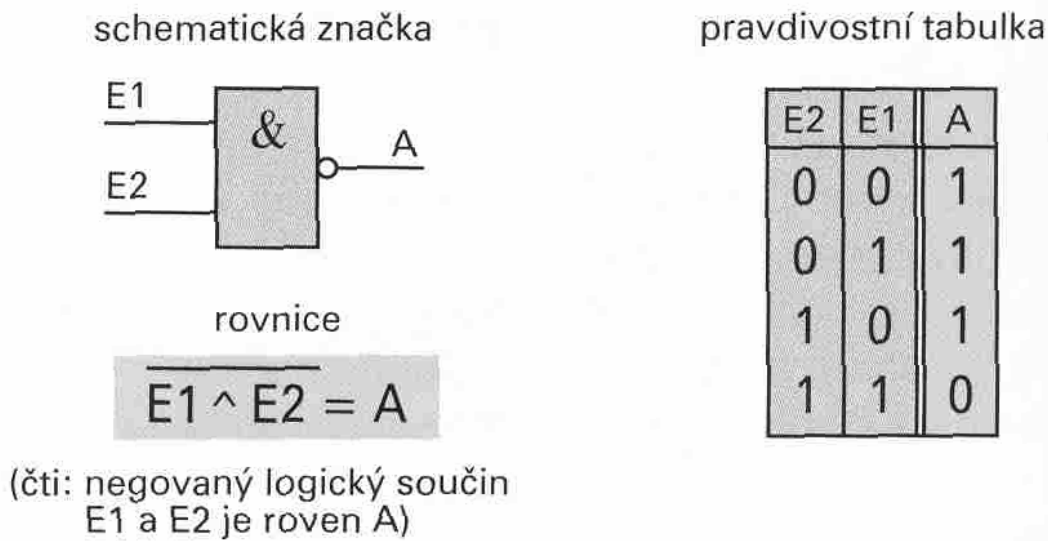


**Obr. 21 NAND tvořený členy AND a NOT**

Pomocí funkce NAND lze realizovat všech 16 možných binárních booleovských funkcí dvou (vstupních) proměnných. Existuje  $2^4 = 16$  možností pravdivostní tabulky pro  $2^2 = 4$  posloupností 0 a 1 na výstupu dvou vstupového logického členu pro čtyři možné vstupy 00, 01, 10, 11, tj. šestnácti různých pravých sloupců čtyřřádkové pravdivostní tabulky. Říkáme že logická funkce NAND tvoří úplný logický systém. Značka členu NAND se liší od značky členu AND kroužkem negace na výstupu. Funkce je patrná z pravdivostní tabulky. Na výstupu logického členu NAND je 0 tehdy a jen tehdy, je-li na všech vstupech 1. Na obrázku



máme schematickou značku, rovnici a pravdivostní tabulku (obr. 22). Na dalším obrázku (obr. 23) máme zapojení vývodů obvodů 74LS00, 74HC00 (TTL), respektive 4012 (CMOS).

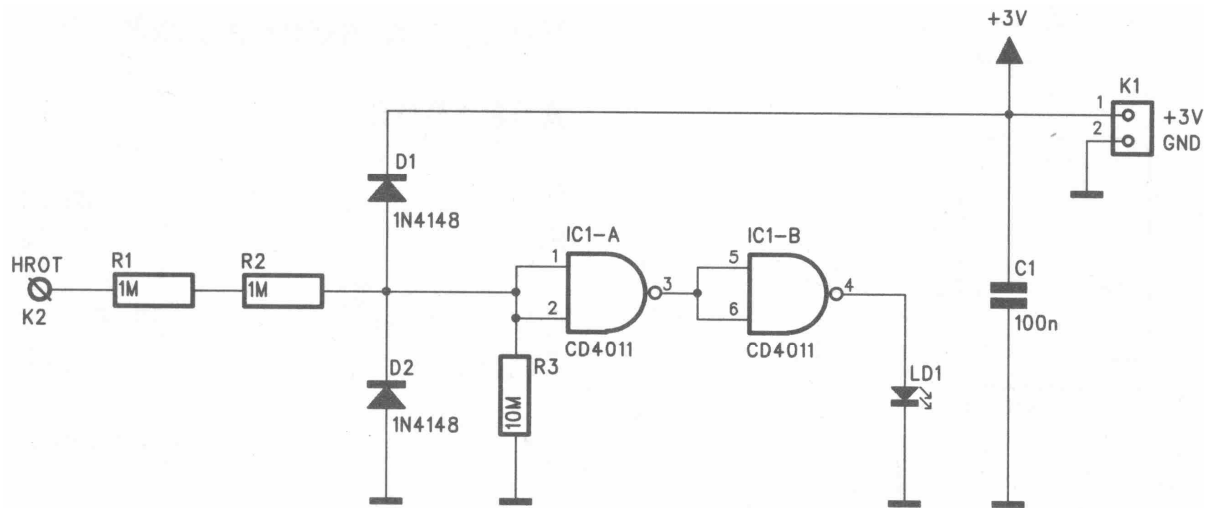


**Obr. 23 Integrovaný obvod typu 7400(TTL), 4x 2vstupový NAND**

Příklad použití: *jednoduchá zkoušečka*

Na obrázku (obr. 24) máme zapojení jednoduché zkoušečky. Obsahuje dvě hradla NAND obvodu MOS 4011. Vstupy prvního hradla jsou přes odpor R3 (10M $\Omega$ ) uzemněny a proto je výstup hradla na nízké úrovni a led LD1 nesvítí. Vstup zkoušečky (hrot) je připojen ke vstupu IC1A přes dva odpory (R1, R2). Pokud při držení zkoušečky přitiskneme jeden prst na zem a druhou ruku máme na zemi potenciálu zkoušeného zařízení, funguje lidské tělo jako vodič s vnitřním odporem 1M $\Omega$ . Každé kladné napětí na hrotu sondy vyšší než přibližně 1,6V

překlopí obě hradla a LED se rozsvítí. Sonda tak indikuje přítomnost kladného napětí. Pro test vodivosti držíme jednu ruku na sledovaném vodiči a prst na sondě přitiskneme ke kontaktu napájení. Pokud je mezi testovanými místy vodivé spojení, přes tělo se opět na vstup prvního hradla dostane kladné napětí z napájení. To obě hradla překlopí a led začne svítit.



**Obr. 24** schéma zapojení jednoduché zkušičky

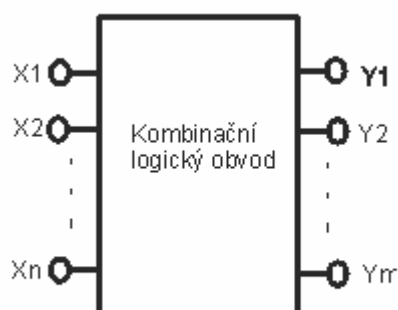
## 5. Kombinační logické obvody

### Základní pojmy

Logické obvody se dělí na: kombinační logické obvody a sekvenční logické obvody. Kombinační logické obvody neobsahují paměti a stav jejich výstupů závisí pouze na stavu jejich vstupů. Kombinační obvody můžeme popsat logickými rovnicemi:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \dots \quad y_m = f_m(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

V rovnicích značí  $y_1, y_2, \dots, y_m$  výstupní proměnné logického obvodu a  $x_1, x_2, \dots, x_n$  vstupní proměnné. Na obrázku (obr. 6) máme znázorněno blokové schéma kombinačního obvodu.



Obr. 6 Blokové schéma kombinačního logického obvodu

Kombinační obvody považujeme za funkční celky, které se realizují spojením základních logických členů nebo integrovaných obvodů se střední hustotou integrace. Typické kombinační obvody jsou:

- **Dekodéry.**
- **Multiplexery a demultiplexery.**
- **Komparátory.**
- **Obvody pro aritmetické operace** (sčítačky, generátory přenosu apod.).

Sekvenční logické obvody obsahují paměti a stav jejich výstupů závisí na vstupech a na předchozím vnitřním stavu. Závisí tedy na posloupnosti, nebo též sekvenci předchozích stavů, tj. sekvenci vstupů. Patří k nim automaty, paměti a procesory. Sekvenčními logickými obvody se budeme zabývat v kapitole 6.

## Otázky a úkoly



- Objasněte pojmy: analogové veličiny, číslicové veličiny, číslicová technika, informace, binární soustavy.
- Vysvětlete pojem dvoustavová logika.
- Objasněte a nakreslete analogové zobrazení signálu a číslicové zobrazení signálu.
- Popište desítkovou číselnou soustavu.
- Popište dvojkovou číselnou soustavu.
- Uvede členění logických členů.
- Nakreslí nejpoužívanější schematické značky logických členů OR, AND, NOR, NAND, NOT.
- Vysvětlete funkce výše zmíněných členů a uveďte konkrétní příklad jejich využití v obvodech.

## Literatura k tématu

ANTOŠOVÁ, M., DAVÍDEK, V. *Číslicová technika*. České Budějovice: KOPP, 2004.

ISBN 80-7232-206-0.

JANSEN, H., ROTTER, A. A KOL. *Informační a telekomunikační technika*. Praha: EUROPA- SOBOTÁLES cz., 2004. ISBN 80-86706-08-7.