



Měření základních vlastností číslicových obvodů

Měřili: Miksch Marek, Přikryl Matěj

Datum měření: 11. 2. 2025

Úvod

Číslicové obvody tvoří základ digitální elektroniky. Cílem tohoto měření bylo seznámit se s jejich základními vlastnostmi, ověřit správnost jejich chování a porovnat naměřené hodnoty s teoretickými předpoklady. V rámci měření jsme se zaměřili na klíčové parametry číslicových obvodů, jako jsou napěťové úrovně logické 0 a 1, přechodové charakteristiky invertoru 7404, chování hradla NAND 7410, vlastnosti hodinového signálu a funkce kruhových oscilátorů. Měření proběhlo pomocí stavebnice Domino, která umožňuje modulární sestavení číslicových obvodů.

Praktická část

Napěťové úrovně logické 0 a 1

Popis měření: Cílem bylo stanovit napěťové úrovně logické 0 a logické 1 pomocí modulu Domino Selector a multimetru. Pro napájení jsme použili vestavěný zdroj 5 V. Na výstup Selectoru jsme připojili multimetr a ověřili funkčnost přístrojů. Pomocí multimetru jsme změřili napětí odpovídající logické 0 a napětí odpovídající logické 1.

Seznam měřících zařízení a pomůcek:

- Domino Selector
- Multimetr Agilent U1251B

Naměřené hodnoty:

	Logická 0	Logická 1
Napětí [V]	0,1056	3,9661

Pravdivostní tabulka invertoru 7404 a hradla NAND 7410

Popis měření: Cílem této úlohy bylo ověřit funkci logického invertoru 7404 a hradla NAND 7410 a sestavit jejich pravdivostní tabulky. Jako první jsme k Domino Selector a Domino Probe připojili modul invertoru 7404. Na vstup invertoru jsme nastavili nejprve logickou 0 a poté logickou 1 a zaznamenali jsme výstupní hodnoty. Poté jsme nahradili invertor modulem NAND 7410, na vstup jsme nastavovali všechny kombinace logických stavů a u každé kombinace zaznamenali výstupní hodnotu.

Schéma obvodu:



Seznam měřících zařízení a pomůcek

- Domino Selector
- Domino Invertor
- Domino Probe

Naměřené hodnoty:

- Pravdivostní tabulka invertoru 7404

A	Y
0	1
1	0

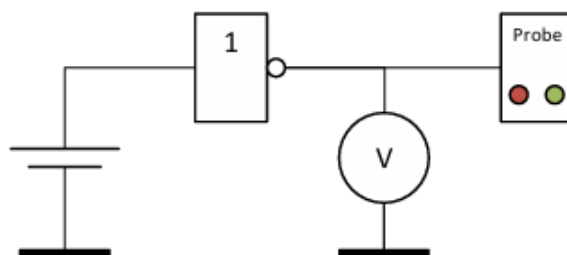
- Pravdivostní tabulka hradla NAND 7410

C	B	A	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Přechodová charakteristika invertoru 7404

Popis měření: Naším úkolem bylo stanovit přechodovou charakteristiku invertoru 7404, tedy jak se mění výstupní napětí v závislosti na vstupním napětí a určit hraniční hodnoty přepnutí mezi logickou 0 a logickou 1. Sestavili jsme obvod dle zadaného schématu. Po malých krocích jsme na Laboratorním zdroji měnili napětí od 0 V do 5 V. Pro přesnější výsledné hodnoty jsme se řídili dle hodnot na multimetru. Postupně jsme si zaznamenávali hodnoty a také našli oblast, ve které modul Probe neindikuje žádnou hodnotu. Tuto oblast jsme proměřili důkladněji.

Schéma obvodu:



Seznam měřicích zařízení a pomůcek:

- Laboratorní zdroj
- Domino Invertor
- Domino Probe
- Multimetr Agilent U1251B

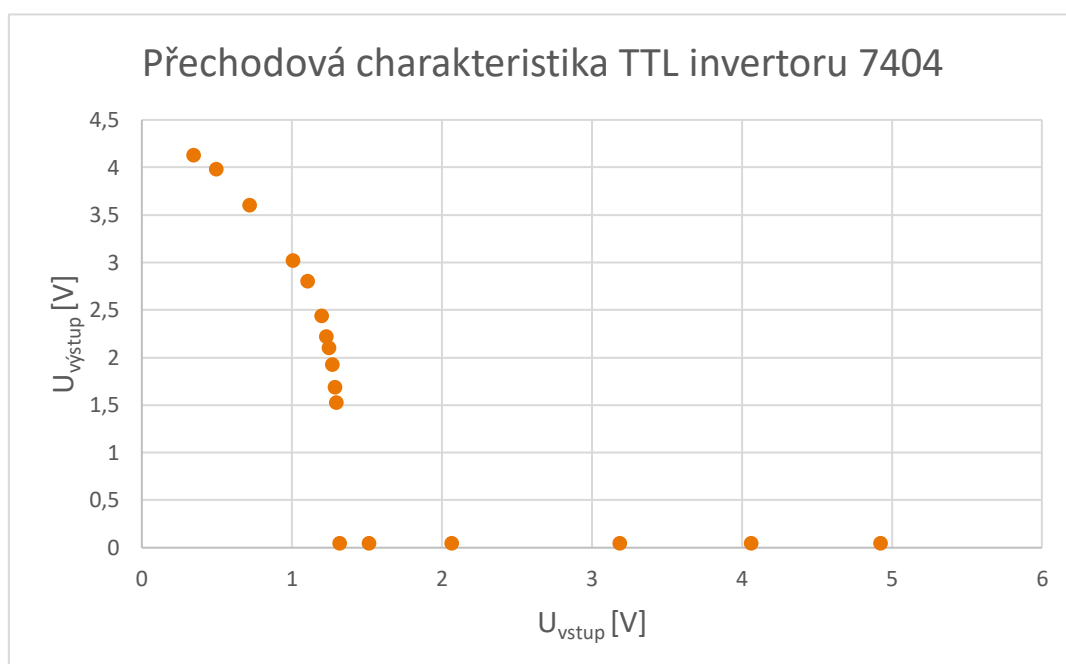
Naměřené hodnoty:

Vstup [V]	0,347	0,501	0,722	1,011	1,108	1,203	1,235	1,252	1,272
Výstup [V]	4,123	3,982	3,602	3,015	2,798	2,435	2,216	2,098	1,922

Vstup [V]	1,292	1,301	1,321	1,519	2,071	3,190	4,064	4,927
Výstup [V]	1,686	1,525	0,047	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046

Neurčitá oblast (Probe neindikuje žádnou hodnotu) se vyskytuje v pásmu mezi 1,2 V a 1,3 V vstupního napětí.

Graf:



Charakteristika hodinového signálu

Popis měření: Cílem tohoto měření bylo analyzovat průběh hodinového signálu, změřit jeho napětí, periodu a zkoumat tvar náběžné hrany pomocí osciloskopu. Zapnuli jsme osciloskop a připojili sondu dle pokynů. Osciloskop jsme nastavili podle potřeb. Změnili jsme časovou základnu na nejnižší rozlišení, abychom mohli zkoumat náběžnou hranu hodinového pulzu. Zaznamenali jsme si naměřené hodnoty napětí hodinového signálu a jeho periodu.

Seznam měřících zařízení a pomůcek:

- Osciloskop GWINSTEK GDS-2072A
- Měřicí sonda

Naměřené hodnoty:

Napětí hodinového signálu [mV]	500
Perioda hodinového signálu [ms]	1

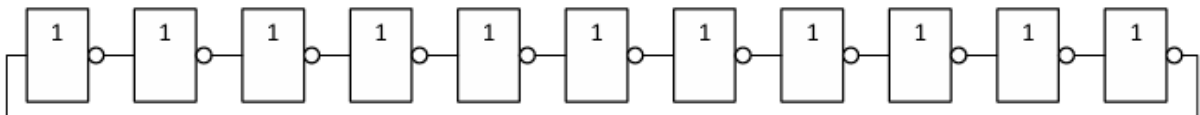
Graf:



Kruhové oscilátory

Popis měření: Úkolem bylo sestavit kruhový oscilátor složený z 11 invertorů 7404, sledovat jeho výstupní signál na osciloskopu a změřit jeho periodu. Zapojili jsme dva Domino invertory jako jedenáct invertorů do kruhové smyčky podle schématu. Připojili jsme osciloskop se sondou. Na osciloskopu jsme nastavili vhodné časové měřítko, aby bylo možné pozorovat průběh signálu. Pomocí osciloskopu jsme změřili periodu výstupního signálu.

Schéma obvodu:



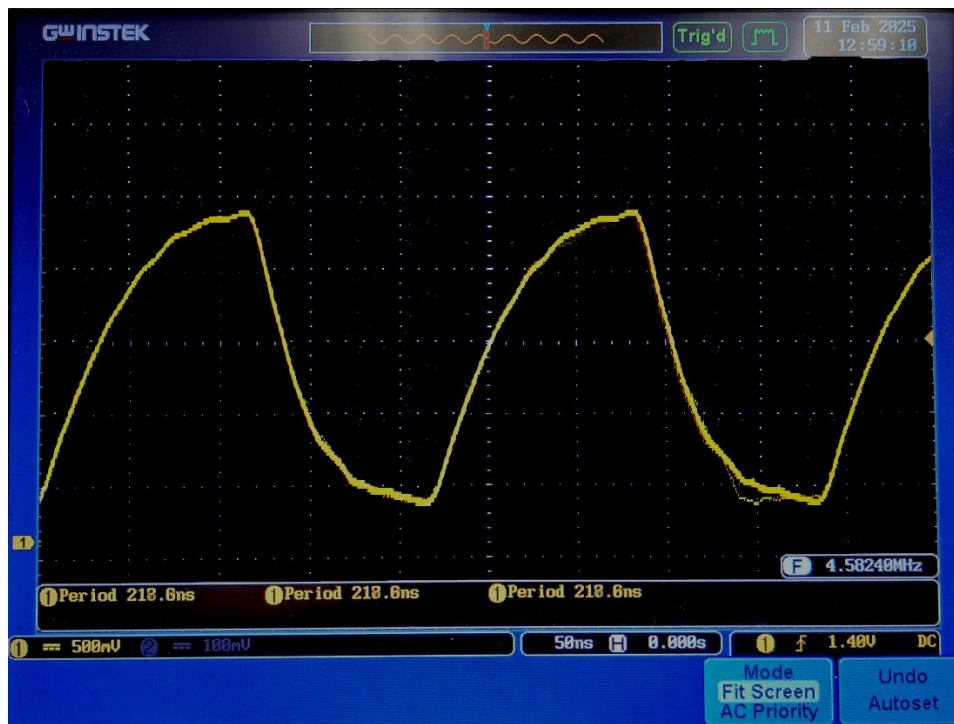
Seznam měřicích zařízení a pomůcek:

- Osciloskop GWINSTEK GDS-2072A
- Měřicí sonda
- 2x Domino Invertor

Naměřené hodnoty:

Perioda výstupního signálu	210 ns
----------------------------	--------

Graf:



Teoretické otázky

a) Zjistěte vztah pro výpočet frekvence kruhového oscilátoru složeného z invertorů se zpožděním τ . Ze vztahu vyjádřete τ a dosadte frekvenci oscilátoru. Jaké je zpoždění na jednom hradlu?

- Kruhový oscilátor složený z **lichého** počtu invertorů využívá zpoždění signálu na jednotlivých hradlech k vytvoření oscilací. Frekvence je dána vztahem: $f = \frac{1}{2N\tau}$
 - f – frekvence oscilátoru
 - N – počet invertorů v kruhu
 - τ – zpoždění na jednom hradlu
- Vyjádření zpoždění jednoho hradla τ : $\tau = \frac{1}{2Nf}$
- Frekvence oscilátoru se počítá vztahem: $f = \frac{1}{T}$
- V našem případě byla perioda výstupního signálu na oscilátoru 210 ns. Po dosazení frekvence oscilátoru vychází 4,76 MHz
- Zpoždění na jednom hradlu:

$$\tau = \frac{1}{2 * 11 * 4,76 * 10^6} = 9,55 \text{ ns}$$

b) V jakých parametrech se liší signál na výstupech jednotlivých hradel, např. mezi prvním, prostředním a posledním?

- **Časové zpoždění** – každé hradlo přidává své zpoždění τ , což znamená, že signál na výstupu každého dalšího hradla je oproti předchozímu fázově posunut
- **Fázový posun** – signál na výstupu posledního hradla je posunut oproti prvnímu, v oscilátoru se signál „vrací“ zpět na první hradlo, čímž dochází k oscilacím
- **Amplitudová degradace** – může dojít k drobné změně amplitudy signálu vlivem vnitřních odporů a úbytků napětí v logických obvodech
- **Změna tvaru signál** – vlivem nechtěných kapacit a odporů na vstupech a výstupech může docházet k zaoblení hran signálu, první hradlo obvykle produkuje signál s ostřejšími hranami, zatímco na výstupu posledního hradla mohou být hrany mírně pozvolnější

c) Najděte katalogový list použitého obvodu. Jakou výrobní technologii je vyroben?

- Obvod SN7404 je součástí rodiny TTL (Transistor-Transistor Logic) a je vyroben pomocí bipolární technologie
- Katalogový list: [SN7404 data sheet, product information and support | TI.com](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn7404.pdf)

Závěr

V tomto měření jsme se seznámili se základními logickými hradly NOT a NAND a jejich vlastnostmi. Sestavili jsme jejich pravdivostní tabulky a zjistili na jakých napěťových úrovních pracují (v TTL logice). Pro invertor jsme také změřili přechodovou charakteristiku. Při porovnání s charakteristikou ideálního invertoru je patrné, že při změně vstupního stavu se výstup nezmění okamžitě, ale dochází k přechodovému jevu. To je způsobeno tím, že tranzistory uvnitř obvodu jsou analogové a tudíž mají pásmo, ve kterém nejsou ani zavřené ani naplněné otevřené. Následně jsme se obeznámili s funkcemi osciloskopu. Prozkoumali jsme jeho kalibrační hodinový signál a zjistili jsme, že i zde dochází k přechodovému jevu. Tento je způsoben tím, že vnitřní obvody nedokáží pracovat s nekonečnou rychlostí. V poslední úloze jsme sestavili kruhový oscilátor z 11 invertorů s cílem změřit zpoždění na jednom NOTu. Změřením periody oscilátoru a následným výpočtem podle vzorce uvedeného v otázce a) jsme získali zpoždění 9,55 ns. Z pohledu současné technologie je toto zpoždění poměrně velké.