

Neutronový čítač

E. Buzek, Masarykovo gymnázium, Vsetín
emanb@centrum.cz

I. Stražil, Gymnázium Vídeňská, Brno
Istrasil@centrum.cz

M. Štrof, SGaGy Kladno
Marfel@seznam.cz

Supervizor ing. V. Cháb, KJR FJFI ČVUT

Abstrakt:

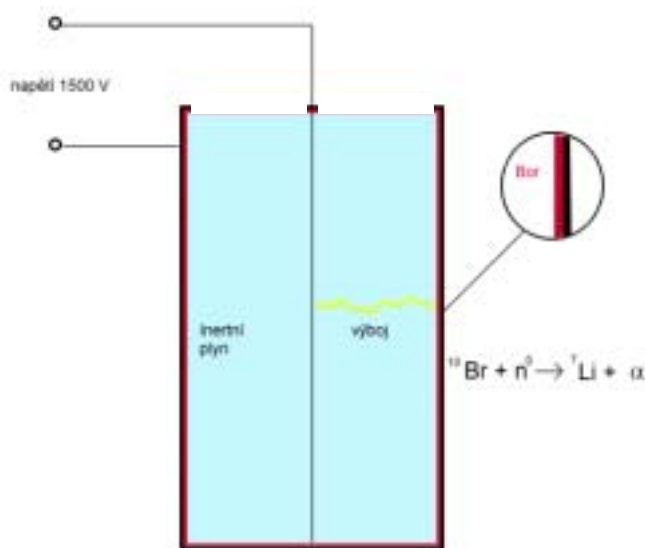
Cílem našeho miniprojektu bylo seznámit se s principem a využitím neutronového čítače a pokusit se implementovat digitální část čítače do programovatelných logických polí (obvodů PLD).

1 Úvod

Při jaderné reakci v reaktoru dochází ke štěpení uranu na dvě jádra s nižším protonovým číslem a na neutrony. Protože uvolněné neutrony zahajují další a další štěpení uranu, můžeme prostým měřením frekvence vzniku neutronů a vhodným přepočtem získat údaj o výkonu jaderné reakce.

Neutronový čítač je zařízení, které měří počet neutronů v čase. K měření se používá komůrka plněná inertním plynem, uložená v aktivní zóně reaktoru. Uprostřed komůrky (obr. 1) je umístěna kladná elektroda s přivedeným vysokým napětím 500 – 1500V (podle typu detektoru), stěny komůrky jsou potaženy vrstvičkou bóru nebo uranu.

Neutron, který vletí do komůrky, vyvolá radiační záchyt, bóru přejde lithium a vyzáří se alfa záření. Ionizací plynu vznikne výboj, který je elektricky zaznamenán jako impuls o úrovni několika mikrovoltů (obr. 2). Pokud měřený signál

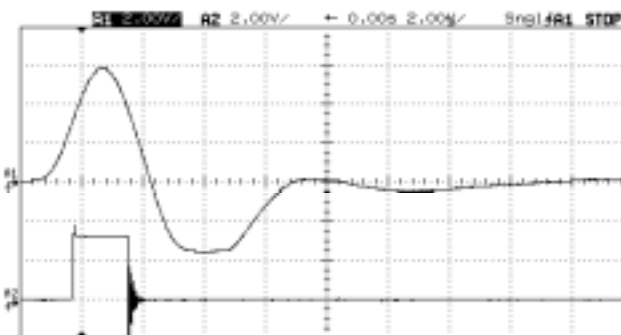


obr. 1: Nákres detekční komůrky

odpovídá výboji ze štěpení bóru, je ve vstupním obvodu zesílen a tvarován na parametry dostatečné pro další zpracování digitálními obvody (obdélníkový průběh a vhodné napětí).

Jednodušší detekce neutronů není možná pro jejich nulový náboj, je nutné nechat neutron vyvolat jinou, již snadno měřitelnou reakci.

Neutronové čítače jsou důležitou částí řídicích a bezpečnostních systémů jaderných zařízení, v každém reaktoru bývají obvykle tři čítače, jejichž naměřené hodnoty se zobrazují operátorovi a mohou havarijním výstupem v případě, že více čítačů naměří vyšší výkon než povolený na základě majoritní logiky („hlasováním“ – dva ze tří) odstavit reaktor.



obr. 2: Impuls z detekční komůrky (nahore) a tentýž impuls po průchodu tvarovačem

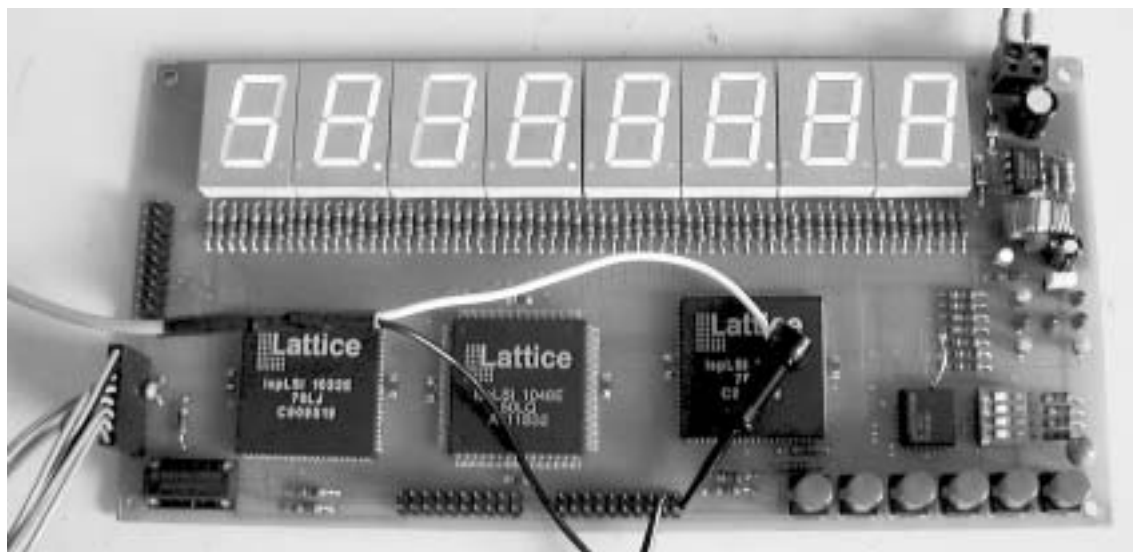
2 Naše realizace neutronového čítače

Z důvodu omezeného času jsme se soustředili jen na realizaci digitální části čítače, relativně složitou a hlavně na oživení náročnou elektroniku tvarovače a samotnou detekční komůrku jsme nahradili generátorem funkcí HP 333120A.

Samotnou digitální část tvořila vývojová deska plošného spoje (obr. 3), osazená programovatelnými poli (PLD) Lattice ispLSI1032E (2ks), Lattice ispLSI1048E, programovatelným polem GAL, osmimístným LED displejem, spínaným zdrojem, tlačítky a indikačními diodami.

Programovatelná pole

Programovatelná pole jsou zvláštní druh integrovaných obvodů, která obsahují několik desítek až stovek bloků s klopnými obvody - ty lze volitelně spojovat přes kombinační logiku (pole hradel OR – nebo, AND – a, NOT – negace) navzájem a k pinům (vstupům a výstupům)



obr. 3: Fotografie vývojové desky s ispLSI 1032E (vlevo a vpravo) a ispLSI 1048E (uprostřed). Rozhraní JTAG je připojeno konektorem k PC (vlevo dole), signál z generátoru je připojen na konektor dole uprostřed, vpravo nahoře kablík napájení

obvodu.

Naprogramované pole může pracovat jako jakýkoliv digitální obvod, a to s ohromnou rychlostí, protože nejde o běžný procesor, provádějící instrukce postupně po jedné, ale v podstatě o specializovaný integrovaný obvod, vykonávající všechny naprogramované funkce současně, přesně podle vašeho návrhu. PLD a jejich vyspělejší bratříčci FPGA (Field-programmable Gate Array) se používají zejména v rychlých řadičích nebo podpůrných obvodech – koprocesorech pro zpracování dat, např. v digitálních fotoaparátech.

Software

Pro programování polí jsme použili programovací jazyk ABEL (Advanced Boolean Equation Language), umožňující vytvářet popis činnosti logického obvodu. ABEL patří do skupiny HDL (Hardware Description Language) jazyků a byl vyvinut firmou Data I/O pro programování PLD obvodů. Jde o vyšší jazyk, který je schopen komplikované logické rovnice a vazby převést a zjednodušit, napřed do jednoduchých Booleovských rovnic a z nich poté zkompiluje tzv. JEDEC soubor, obsahující přímo pokyny, kde co ve vnitřní struktuře obvodu spojit. Tímto souborem se z počítače přes rozhraní JTAG naprogramuje samotné PLD. Pro zapsání programu jsme použili prostředí Lattice ispExpert 8.4.

Funkce programu měla být tato:

1. čítat impulsy z tvarovače (resp. generátoru) po jednotlivých řádech (jednotky až desítky milionů)
2. každých 0,1 sec si zapamatovat naměřenou hodnotu a čítač vynulovat
3. uloženou hodnotu dekodovat a zobrazit na sedmsegmentovém displeji

Bohužel, pro nedostatek času a záhadné technické problémy se nám podařilo realizovat jen první a třetí část práce, čítač tedy zobrazoval jen počet zaznamenaných neutronů od posledního vynulování.

Zde je pro ilustraci část zdrojového kódu čítače:

Declarations

```
CLOCK PIN ;
RESET PIN ;
Q0,Q1,Q2,Q3 PIN ISTYPE 'reg';

out= [Q3..Q0];

ON,OFF = 0,1;
L,H,X,Z = 0,1,.X.,.Z.;
```

Equations

```
out.clk = CLOCK;
out.ar = RESET;
when out==9 then
  out:=0
else
  out:=out+1;
```

end citac10

... takto vypadá kód přeložený do Booleovských rovnic...

```
Q9_Q_BLIF.D = (Q0_Q_BLIF & Q1_Q_BLIF
& Q2_Q_BLIF & Q3_Q_BLIF & Q4_Q_BLIF &
Q5_Q_BLIF & Q6_Q_BLIF & Q7_Q_BLIF &
Q8_Q_BLIF & !GALCLK_COM_BLIF) $ Q9_Q_BLIF
& !GALCLK_COM_BLIF
Q9_Q_BLIF.C = CLOCKX
Q9_Q_BLIF.R = GND
```

... a takto část výsledného JEDEC souboru:

```
1111010111110111010111110111
1111110111111101110101110111
1101110101110111110111010111
1101110101110111011101011101
0111010111011111110111010111
1101110101110111110111010111
```

3 Závěr

Podařilo se nám i přes obtíže sestavit program, který jsme nahráli do čítače. Bohužel se nedá říct, že by pracoval úplně podle očekávání. Přístroj počítal pouze jednotlivé impulsy a jejich celkový počet zobrazoval na displeji, ale neuměl zobrazovat počet impulsů za

časový interval (0.1s). Impulsy byly s dostatečnou přesností započítávány i při vyšší frekvenci generátoru (zkoušeli jsme stovky kHz).

Pokud by se k našemu čítači připojila detekční komůrka, bylo by možné přístroj použít jako čítač neutronů. Právě díky programovatelným polím je poměrně skladný. Použití v ostrém provozu, třeba při regulaci reakce v jaderné elektrárně, však nedoporučujeme, protože při neurčování počtu neutronů za časovou jednotku je výsledek nepřehledný.

Poděkování

Děkujeme organizátorům Fyzikálního týdne 2004 za uspořádání této zajímavé akce a našemu supervizorovi ing. V.Chábovi za odbornou pomoc při realizaci miniprojektu.

Reference:

- [1] ABEL – HDL Reference Manual
- [2] KOSTOMLATSKÝ, M.: *Úvod do jazyka Abel, 1. – 9. část* [online]
<http://www.mcu.cz/modules/news/article.php?storyid=133>
- [3] Katalog Lattice, 1997
- [4] www.latticesemi.com