

# **Výukový modul pro předmět Programování mikropočítačů: Generátor impulsů**

David Mitáček

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Mitáček**  
Osobní číslo: **A13179**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výukový modul pro předmět Programování mikropočítačů:  
generátor impulsů**

Téma anglicky: **An Educational Module for the Microcontrollers Programming  
Course: Pulse Generator**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Provedte hardwarový návrh mikropočítačové jednotky generátoru impulsů.
3. Realizujte mikropočítačový modul.
4. Vytvořte programové vybavení generátoru impulsů.
5. Měřením ověřte správnou funkci generátoru.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BLAHOVEC, Antonín. Elektrotechnika III: (příklady a úlohy). 5., nezměn. vyd. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 9788073330453.
2. BUMBA, Jiří. Programování mikroprocesorů: praktický návod nejen pro mikroprocesory PIC. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2011, 135 s. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-2838-1
3. HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009, 271, viii s. ISBN 978-80-7232-383-8.
4. PALACKÝ, Petr. Mikropočítačové řídicí systémy I [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008, 1 CD-ROM [cit. 2016-02-03]. ISBN 978-80-248-1494-0.
5. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.
6. VÁŇA, Vladimír. ARM pro začátečníky. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 195 s. ISBN 978-80-7300-246-6.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Petr Dostálek, Ph.D.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

**24. února 2017**

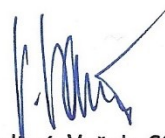
Termín odevzdání bakalářské práce:

**24. května 2017**

Ve Zlíně dne 24. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*


### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 23.5.2017

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce, bylo navrhnout, vytvořit modul pro generování impulsního signálu. Po vytvoření modulu vypracovat programové vybavení pro jeho ovládání. Následně oživit celý modul a přesvědčit se o přesnosti generovaného signálu. Teoretická část se zabývá problematikou mikropočítačů, funkčními generátory a základními druhy signálů a jejich vlastnostmi. V praktické části je rozebrán návrh schématu, implementace grafického displeje, výroba a osazení desky plošného spoje, jeho programové vybavení spolu s příklady vygenerovaných signálů.

Klíčová slova: NXP, mikropočítač, Eagle, LCD, funkční generátor.

## **ABSTRACT**

Goal of this bachelor's thesis was to develop and make an educational module for generating pulse signal. After that create a driver for the module. Theoretic part is focused on microcomputers, function generators, basic types of signals and their properties. Practical part is describing process of making schematic, implementation of graphical display, printed circuit board, its software with examples of generated signals.

Keywords: NXP, microcomputer, Eagle, LCD, function generator.

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce, kterým je Ing. Petr Dostálek, Ph.D. za jeho rady, připomínky a pomoc při řešení této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ELEKTRICKÝ SIGNÁL</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÍ POPIS SIGNÁLU .....	11
1.1.1 Analogový signál .....	11
1.1.2 Diskrétní signál .....	12
1.2 TRANSFORMACE ČASU .....	12
1.3 PERIODICKÝ SIGNÁL .....	12
1.4 APERIODICKÝ SIGNÁL .....	13
1.5 PŘEVOD A/D .....	13
1.5.1 Vzorkování .....	13
1.5.2 Kvantování .....	14
1.6 PULSNÍ ŠÍŘKOVÁ MODULACE.....	15
<b>2 MIKROPOČÍTAČE</b> .....	<b>17</b>
2.1 MIKROPOČÍTAČ MC9S08SH32.....	17
2.1.1 Vlastnosti MC9S08SH32 .....	17
2.1.2 Rozložení pinů .....	18
2.1.3 Blokové schéma .....	19
2.1.4 Napájení .....	19
2.1.5 Oscilátor .....	20
2.1.6 Reset.....	20
2.1.7 BKGD .....	21
2.1.8 Obecný vstupní/výstupní a periferní pin .....	21
2.2 PAMĚŤ.....	21
2.3 ČASOVAČE TPM .....	23
2.3.1 Popis funkce .....	23
2.3.2 Provozní režimy .....	23
2.3.3 Popis Registrů .....	24
2.3.4 Přerušení.....	26
2.3.5 Vlastnosti u MC9S08SH32 .....	27
<b>3 FUNKČNÍ GENERÁTORY</b> .....	<b>28</b>
3.1 DRUHY GENEROVANÝCH SIGNÁLŮ .....	28
3.2 OVLÁDACÍ PRVKY .....	29
3.3 DRUHY FUNKČNÍCH GENERÁTORŮ .....	29
3.3.1 Analogové funkční generátory .....	29
3.3.2 Digitální funkční generátor .....	30
3.3.3 Generátory programovatelného průběhu.....	31
3.4 PARAMETRY FUNKČNÍCH GENERÁTORŮ .....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
<b>4 NÁVRH A REALIZACE MODULU</b> .....	<b>34</b>

4.1	NÁVRH MODULU .....	34
4.2	SCHÉMA MODULU.....	34
4.2.1	LCD displej ATM12864D .....	36
4.3	NÁVRH DPS.....	41
4.4	VÝROBA DPS.....	42
<b>5</b>	<b>PROGRAMOVÁ ČÁST .....</b>	<b>43</b>
5.1	FUNKCE PRO OVLÁDÁNÍ DISPLEJE.....	43
5.1.1	DISP_INIT .....	43
5.1.2	POSLI_DISP .....	43
5.1.3	ERASE_ALL .....	43
5.1.4	DISP_POINT .....	43
5.1.5	DISP_CHAR.....	44
5.1.6	DISP_STRING.....	44
5.1.7	DRAW_BASE .....	44
5.1.8	DISP_LINE .....	44
5.1.9	GRAF .....	44
5.2	FUNKCE PRO OVLÁDÁNÍ GENERÁTORU .....	44
5.2.1	TPM1_INIT.....	45
5.2.2	TPM1_SET .....	45
5.2.3	TPM1_CH0.....	45
5.2.4	TPM1_CH1 .....	45
5.2.5	SET_CHANNEL.....	45
5.3	HLAVNÍ PROGRAM.....	46
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>48</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>57</b>



## ÚVOD

Mikropočítače se svými parametry cena, rozměry, výpočetní výkon lze využít v široké míře elektrických zařízení, ve kterých se nachází jakákoliv řídicí logika.

Pro výuku mikropočítačů a názornou demonstraci jejich vlastností je možno použít výukový modul na kterém si studenti vyzkouší programování mikropočítače a pokusí se vyřešit problém na který byl tento výukový modul vytvořen. V tomto případě modul na svém výstupu bude generovat impulsní signál, který studenti poté budou vyhodnocovat, díky funkci input capture, která je dostupná u většiny mikropočítači vybavených časovacím subsystémem.

Teoretická část práce se zabývá, základními druhy signálu a jejich vlastnostmi. U signálu je také rozebrán popis funkce pulsní šířková modulace. Mikropočítače MC9S08SH32, jeho parametry, základní vlastnosti, moduly, kde je podrobně popsána funkce časovače.

V praktické části jako první rozebírán návrh a realizace desky plošných spojů spolu s krátkým popisem grafického displeje, jenž je použit v tomto modulu. Programová část, je rozdělena na dvě části, první popisuje úpravu ovladače displeje a druhá funkce pro generování signálů. Samostatně je uveden hlavní program, kde je vysvětlen běh programu. V závěru praktické části je uvedena kontrola funkčnosti, kde jsou zobrazeny grafy generovaných signálů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ELEKTRICKÝ SIGNÁL

## 1.1 Základní popis signálu

Signál je popis veličiny proměnné v čase. Např. teplota, vlhkost, elektrické napětí, elektrický proud. Rozděluje se podle různých kritérií.

### Doba trvání

Podle doby trvání rozdělujeme signály s nekonečnou dobou trvání a konečnou dobou trvání. Signály s nekonečnou dobou trvání dále rozdělujeme na periodické a aperiodické.

### Spojitost signálu

Pokud v každém časovém bodě můžeme určit hodnotu veličiny hovoříme o spojitém signálu. Když je signál popsán pouze v určitých bodech, většinou ve stejných časových intervalech, mluvíme o diskrétním signálu.

### Spojité signál

Spojité signál lze dále rozdělit na:

- Analogový – ve spojitých hodnotách
- Kvantovaný – v diskrétních hodnotách

### Diskrétní signál

Diskrétní signál lze dále rozdělit na:

- Vzorkovaný – ve spojitých hodnotách
- Číslíkový – diskrétních hodnotách

### Stochastický – Deterministický pohled

Když signál má v každém bodě určitou hodnotu jedná se o deterministický signál. V opačném případě je signál stochastický, tedy signál nelze přesně popsat. [1]

#### 1.1.1 Analogový signál

Za analogový signál považujeme takový signál, který je spojitý v čase i amplitudě. Lze jej měřit s velkou přesností jsme pouze omezeni šumem.

### 1.1.2 Diskrétní signál

Diskrétní signál se liší od analogového tím, že hodnotu veličiny v čase známe pouze v několika bodech zpravidla ve stejných časových intervalech po sobě.

## 1.2 Transformace času

Změna časové osy mezi tyto transformace patří:

- Škálování signálu v časové ose
- Posun signálu v čase
- Inverze času

### Škálování signálu

Škálování je násobení časové osy určitou konstantou  $k$ . U diskrétního signálu musí být tato konstanta větší nule. V případě, že by tato podmínka nebyla splněna mohlo by dojít ke ztrátě informace, která je signálem přenášena. [2]

### Posun signálu v čase

Zpoždění nebo předbíhaní signálu lze docílit přičtením nebo odečtením konstanty  $k$ .

Takový posun lze obecně jako:

$$y(t) = x_{(t+k)} \quad (1)$$

### Inverze času

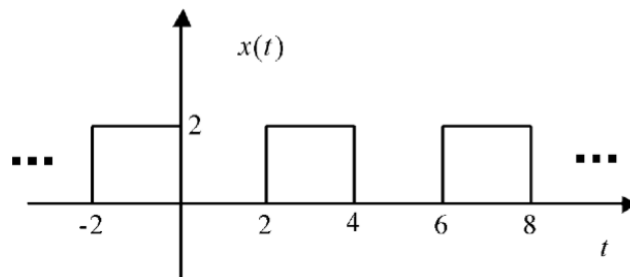
Inverze je speciální případ škálování signálu v tomto případě je časová osa násobena -1.

## 1.3 Periodický signál

Periodický signál je takový, jenž se s určitou periodou opakuje. Periodický signál je definován vztahem:

$$x_{(t)} = x_{(t+T)} \quad (2)$$

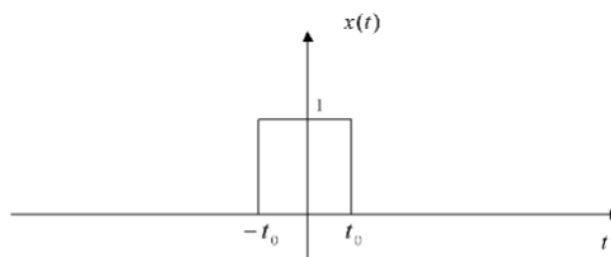
Kde  $T$  je reálné číslo.



Obr. 1. Příklad periodického signálu. [2]

## 1.4 Aperiodický signál

Aperiodický signál nemá funkční hodnoty, které se opakují. Do této skupiny patří impulsy.



Obr. 2. Příklad aperiodického signálu. [2]

## 1.5 Převod A/D

Je postup kdy spojitý analogový signál převádíme na diskrétní signál. Pro tento převod používáme kvantování a vzorkování.

### 1.5.1 Vzorkování

Jako první použijeme na analogový signál vzorkování. Kdy ze spojitě funkce vezmeme vzorkovací body. Interval mezi těmito body je dán pomocí vzorkovací frekvence. Minimální frekvence je stanovena pomocí Shannon-Kotělnikova teorému také nazývaná Nyquistova podmínka.

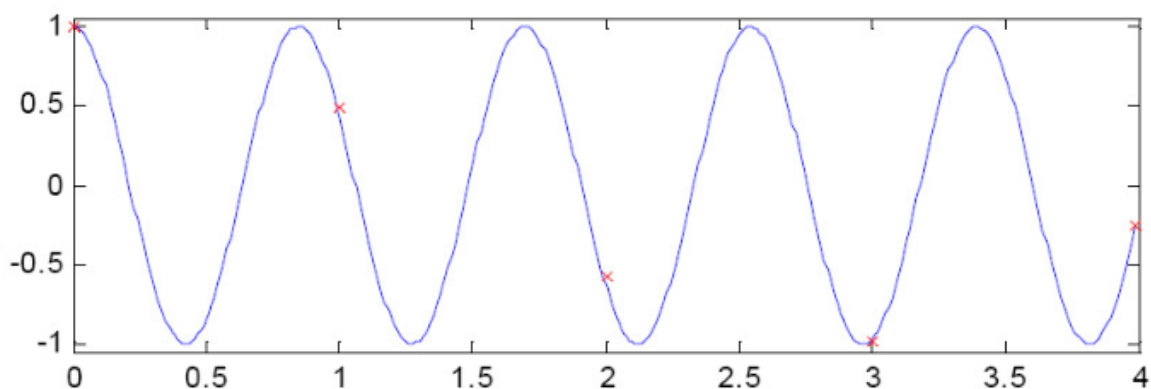
*„Každou funkci času s omezeným frekvenčním spektrem můžeme nahradit posloupností diskrétních vzorků odebíraných s periodou  $T_{vz}$ , která je rovna nejvýše polovině převrácené hodnoty nejvyšší frekvence  $f_{max}$  obsažené ve vzorkovaném signálu.“ [3]*

Platí tedy:

$$f_{vz} = \frac{1}{T_{vz}} \geq 2f_{max} \quad (3)$$

kde  $f_{vz}$  je vzorkovací frekvence, s níž vzorkování provádíme.

Z tohoto vztahu vyplývá, že pokud frekvence vzorkování nebude dvojnásobná oproti frekvenci signálu dojde k aliasingu.



Obr. 3. Aliasing.

Jak je možno vidět z příkladu aliasingu, díky nedostatečné frekvenci se výstupní signál bude jevit jako signál s nižší frekvencí, než skutečně je. [4] Kvůli aliasingu ztrácíme informaci o skutečném signálu. Při zvyšování vzorkovací frekvence se digitální signál více přibližuje průběhu analogovému. Například pro zvukovou techniku se používají frekvence 32 kHz a 44,1 kHz. Frekvence 32 kHz se používá v telekomunikacích, případně v levnějších zvukových zařízeních. Protože tato vzorkovací frekvence je dostatečná pouze pro frekvence menší než 16 kHz. Frekvence 44,1 kHz se používá pro kvalitní zvuková zařízení. [3]

### 1.5.2 Kvantování

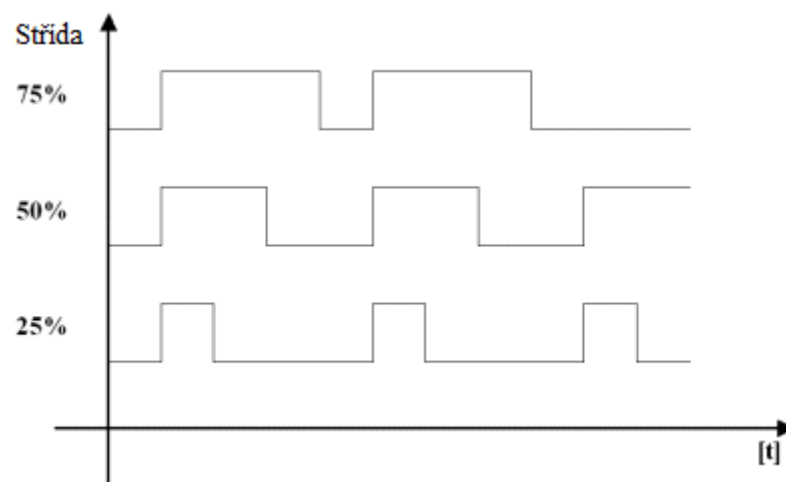
Předtím než je možné tento signál použít je nutné ještě zredukovat informaci, aby ji bylo možné využít v digitální technice. Tento proces se nazývá kvantování a funguje tak, že pomocí kvantizéru se zaokrouhlí hodnota na předem definované kvantizační hladiny. [3]

## 1.6 Pulsní šířková modulace

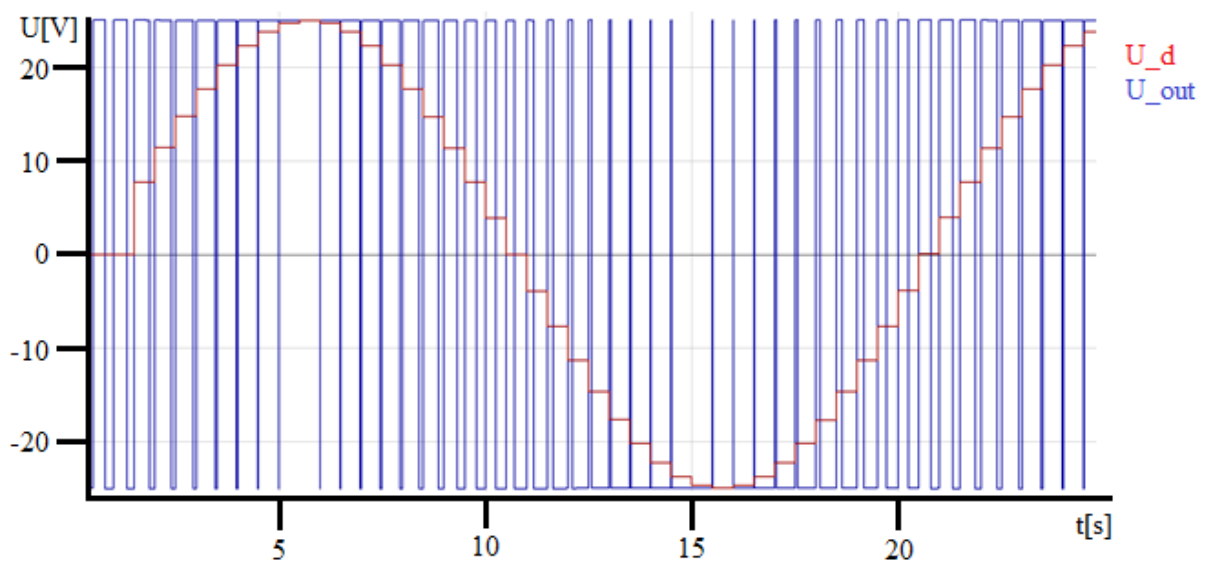
Pulsní šířková modulace je proces kdy analogový signál nahradíme tak, aby výstupní signál nabýval pouze dvou stavů. Doba trvání aktivního stavu ku periodě se nazývá střída, udává se v procentech. V případě, že je střída = 0 výstupní napětí = 0. U střidy 100 % signál setrvává v maximální hodnotě. Existují dva způsoby generování PWM signálu:

Unipolární – Výstupní signál nabývá maximální hodnoty a nulové hodnoty.

Bipolární – Výstupní signál nabývá kladné a záporné maximální hodnoty.



Obr. 4. Příklady různých stříd.



Obr. 5. Bipolární PWM sinusového signálu.

U tohoto příkladu je vstupní signál sinusový.  $U_d$  je střední hodnota výstupního signálu, která se blíží sinusovému signálu na vstupu.

Princip PWM je takový, že se vstupní signál porovnává s pilovým průběhem o stejné frekvenci. Pokud hodnota vstupního signálu je větší, než pilový je výstupní signál nastavený na maximální hodnotu. Naopak pokud je vstupní menší než pilový, je výstupní signál nastaven na 0 nebo na záporné maximum.

Nejčastější použití pulsní šířkové modulace je ve výkonové elektronice u stejnosměrných motorů pro řízení rychlosti. Případně u světel pro řízení jasu.



## 2 MIKROPOČÍTAČE

Postupem času začínají mikropočítače nahrazovat logické obvody a v některých případech je lze použít místo PLC. Oproti PLC jsou levnější, ale jsou více náchylné na rušivé vlivy. Logické obvody poté co se sestaví nejdou upravit nebo jenom velmi těžce. A vzhledem k ceně MPC není moc důvodů proč použít logické obvody.

### 2.1 Mikropočítač MC9S08SH32

Tento MPC pochází z řady S08SH, tato řada je vybavena 8 bitovým procesním jádrem HCS08 s maximální taktovací frekvencí 40 MHz. Jednotlivé mikročipy se poté liší velikostí paměti, periferiemi a pouzdro ve kterém je mikropočítač uložen.

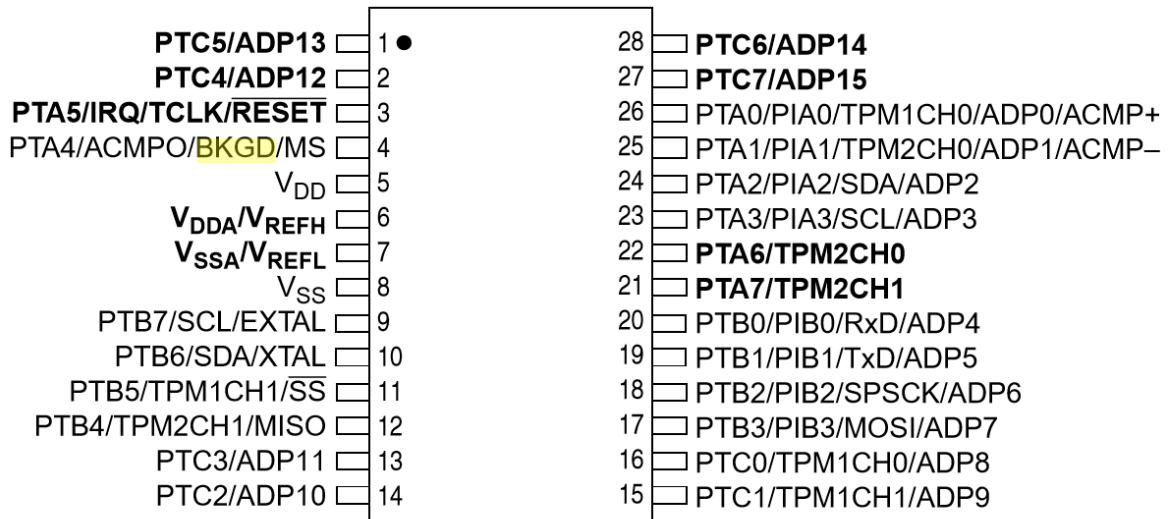
#### 2.1.1 Vlastnosti MC9S08SH32

Mezi hlavní vlastnosti tohoto MPC patří:

- Centrální procesní jádro HCS08 maximální taktovací frekvence 40 MHz.
- 32KB paměť Flash
- 1KB paměť RAM.
- 28/20/16 pinové pouzdro
- 5 V analogový komparátor
- 16/12/8 pinů s možností využití jako analogově digitální převodník
- Debug modul
- Interní zdroj taktovacího signálu
- Sběrnice IIC
- 8 pinů pro externí přerušení
- 8 bitový modulo časovač
- Hodiny reálného času
- Modul pro sériovou komunikaci
- Modul pro sériové periferní rozhraní
- 2 časovače s pulsní šířkovou modulací každý se dvěma kanály

### 2.1.2 Rozložení pinů

Pro zjištění, na jakých vývodech MCU je připojena slouží následující schéma, které je vždy uvedeno v popisu MCU od výrobce.

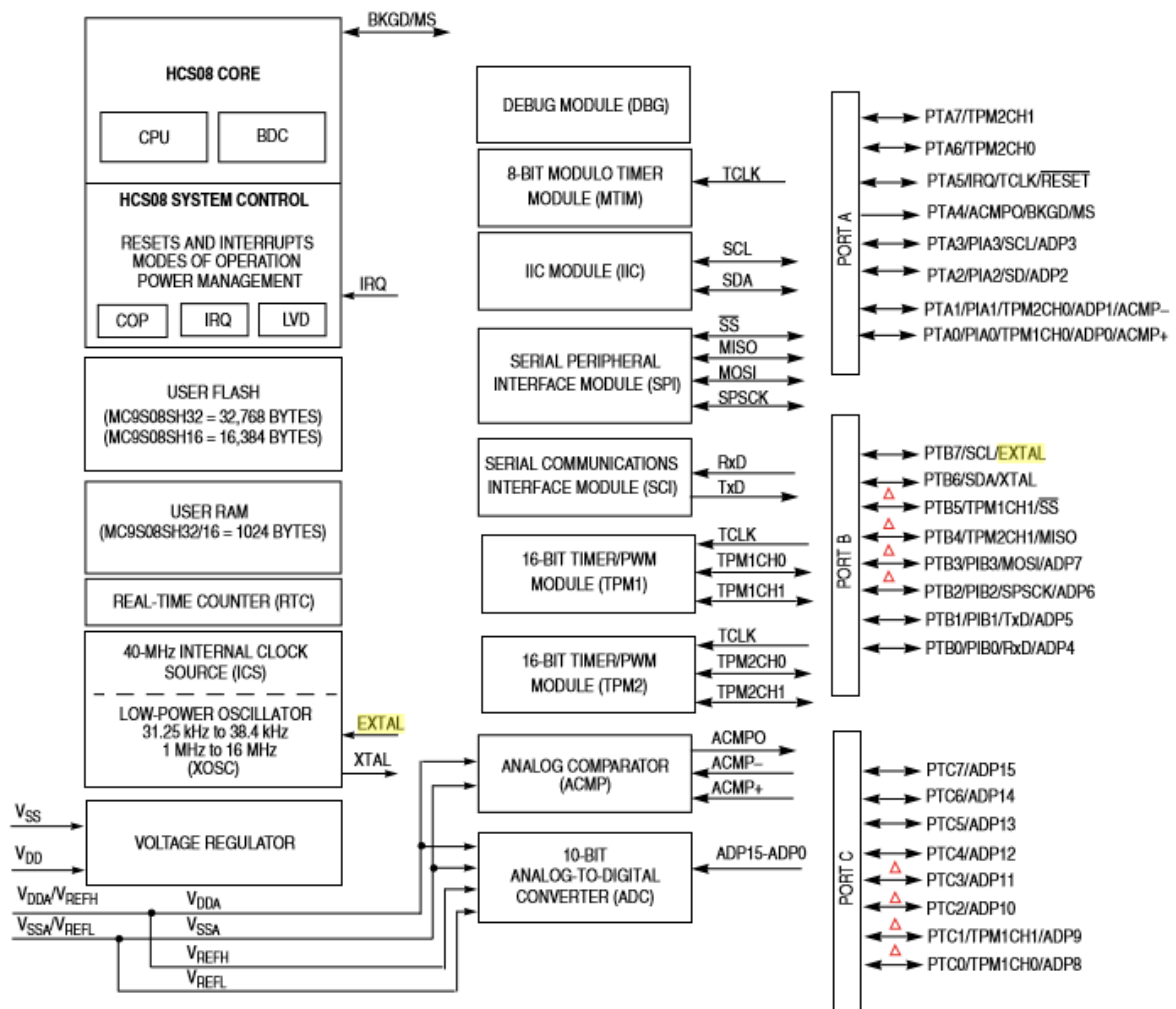


Obr. 6. Rozmístění pinů na 28 pinové SOIC a TSSOP pouzdru [5]

Většina vývodů MCU plní několik funkcí, které jsou nastavovány softwarově. Pro časovače TPM1 a TPM2 jsou výstupy kanálu umístěny na dvou místech. Při případném použití druhé pozice je nutno nastavit registr SOPT2. Pro TPM1 je základní umístění na pinech PTA0, PTB5 a pro TPM2 je základní umístění na pinech PTA1, PTB4. Pro modul IIC má také možnost více pozic. Základní pozice IIC modulu je na PTA2 a PTA3. Postupuje se podobně jako u TPM1 a TPM2.

### 2.1.3 Blokové schéma

Blokové schéma je rozděleno do několika modulů, každý modul má svojí speciální funkci. Přístup k těmto modulům je realizován přes piny na datových portech. Tento konkrétní MPC má tři datové porty každý po 8 pinech. [5]



Obr. 7. Blokové schéma MC9S08SH32 [5]

### 2.1.4 Napájení

Piny 5 a 8 označené jako  $V_{DD}$  a  $V_{SS}$  jsou hlavní zdroj napájení pro mikropočítač. Toto napětí zajišťuje napájení pro vstupní a výstupní obvody a pro vnitřní regulátor. Vnitřní regulátor pak dále napájí MCU a ostatní vnitřní obvody které potřebují ke své správné činnosti.

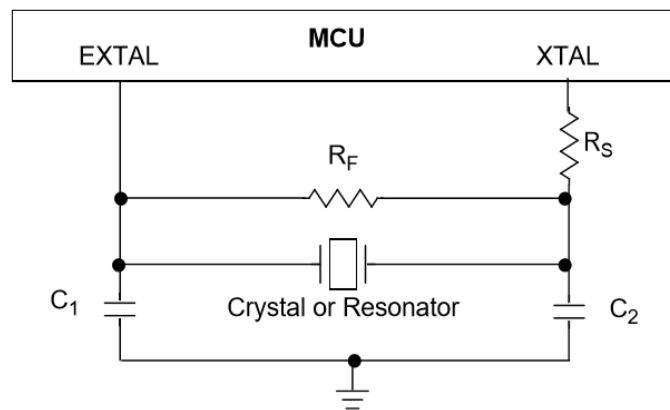
Výrobce MCU také doporučuje na tyto piny paralelně připojit 2 kondenzátory o hodnotě 0,1 - 10 $\mu$ F dle typu kondenzátorů. Kondenzátory by měli být umístěny co nejbližší napájecích pinů MCU pro co nejlepší potlačení šumu, jenž se může na těchto pinech vytvořit.

$V_{DDA}$  a  $V_{SSA}$  na pinech 6 a 7 zajišťují napájení pro ADC modul, pracující s analogovým signálem. Opět je zde doporučeno použít paralelní kondenzátory pro potlačení šumu.

### 2.1.5 Oscilátor

Po resetování, MCU defaultně používá vnitřní generátor hodinového signálu. Signál je generovaný ICS modulem.

Pro externí generátor hodinového signálu lze použít piny EXTAL a XTAL na pozicích 9 a 10. Při případném použití externího generátoru je doporučeno následující schéma, aby byl připojen dle následujícího schématu:



Obr. 8. Doporučené zapojení externího krystalu [5]

Ze schématu je patrné že pro správnou funkci krystalu nebo rezonátoru je potřeba 2 keramické kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  o hodnotě v rozmezí 5 – 25pF. Dále pak rezistor  $R_F$  pro zajištění správného fungování krystalu při uvedení do provozu. Jeho hodnota je v rozsahu 1 - 10M $\Omega$ . [5]

### 2.1.6 Reset

Při přivedení napětí na MCU je pin 3, PTA5 nastaven jako obecný vstupní/výstupní pin. Při nastavení pinu na RESET, nastavením RSTPE v registru SOPT1, toto nastavení trvá do dalšího power-on reset (POR). K POR dojde při prvotní inicializaci MPC nebo pokud dojde k snížení napájecího napětí. Při přivedení log. 0 na RESET dojde k resetování MCU.

Tento pin se připojuje většinou připojuje na standardní 6 - pin také nazývaný jako BDM konektor. Kdy vývojový systém může přímo resetovat MCU.

Je možno tento pin připojit na přepínač na desce plošného spoje pro resetování mikropočítače ručně.

### 2.1.7 BKGD

Ihned po jakémkoliv RESET je pin 2 nastaven na BKGD funkci a je možno komunikovat s BDM programátorem, který umožňuje přes standardní SW rozhraní ladit a programovat ve vývojovém prostředí. Při nastavení tohoto pinu na log. 1 je automaticky nastaven vnitřní pullup rezistor. Komunikace s vývojovým prostředím se nazývá background debug communication, a tato komunikace je povolena, když BKGDPE v SOPT1 je nastaven na log.1. Tento registr se automaticky nastaví při každém resetování a v případě, jiné funkce pinu, než je BKGD je nutno tento registr vynulovat.

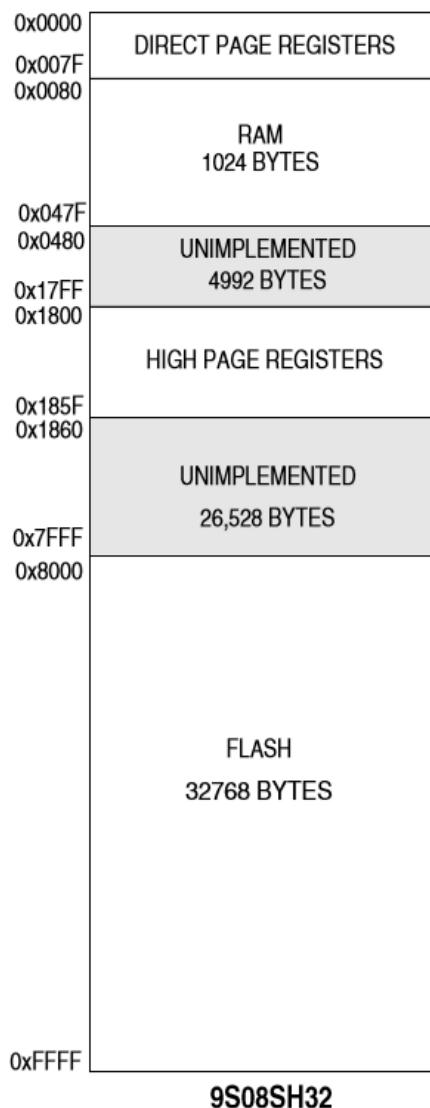
Když není nic připojeno k tomuto pinu, MCU bude vykonávat normální operační cyklus při vzestupné hraně resetu. Pokud je BKGD připojen k 6 - pinu BDM. Tento pin při log. 0 přinutí MCU aktivovat ladící režim.

### 2.1.8 Obecný vstupní/výstupní a periferní pin

Jedná se o funkci pinu, jenž dovoluje komunikaci se vstupními a výstupními zařízení. Po případě ještě s periferními funkcemi z vnitřních modulů MCU. MC9S08SH32 má 23 pinů, které se dají použít pro tuto funkci. Aby bylo možné tento pin použít v programu je nutné ho nastavit jako výstupní nebo vstupní pin. Toto se provede tak, že zapíšeme do registru pro určení směru komunikace log.1 pro výstupní a log.0 pro vstupní. Tyto registry se dělí podle portu na MCU v tomto případě na PTADD, PTBDD, PTCDD. Kde každý bit v tomto registru odpovídá jednomu pinu na tomto portu. Většina MCU vlastní také na těchto pinech pull-up rezistory. Tyto se dají opět softwarově povolit pomocí registru.

## 2.2 Paměť

Paměť MC9S08SH32 je rozdělena na registry, RAM a FLASH pro nevolatilní data. Nevolatilní znamená, že data v této paměti jsou dostupné i po odpojení napájení.



Obr. 9. Rozložení paměti [5]

MC9S08SH32 má Flash paměť o velikosti 32 kB. Poslední dvě čísla z názvu u konkrétního MCU udávají právě velikost Flash paměti. Registry jsou rozděleny na dvě části. První část tzv. direct page register má velikost 128 bytů a slouží pro rychlý přístup dat. Druhá část tzv. high page register o velikosti 95 bytů se používá méně často než rychlejší část registrů a RAM, proto je umístěna až za RAM paměti.

RAM paměť slouží pro uchovávání programů a dat se kterými MCU pracuje v reálném čase. Data do RAM je možno zapsat, načíst a vymazat nespočetně krát. RAM je volatilní paměť to znamená, že při každém odpojení napětí dojde ke ztrátě dat. Proto se tato paměť nedá použít při uchovávání firmwaru.

Flash paměť je kombinace ROM a RAM pamětí. Do Flash paměti je možno zapisovat a načítat na rozdíl od ROM pamětí, ale také v ní tyto data zůstávají i po odpojení napájení. Hlavní nevýhoda Flash paměti vůči RAM paměti je přístupová doba, která je značně větší. Proto se tato paměť nehodí pro uchovávání dat, které se často používají.

## 2.3 Časovače TPM

Slouží pro počítání času v přesně určených intervalech. Pracuje se s registrem, jenž se s určitou frekvencí inkrementuje při dosažení určité hodnoty dojde k vynulování a čítání znovu.

### 2.3.1 Popis funkce

Časovač ke své funkci používá zabudovaný časovač, který s určitou rychlostí čítá až do určité hodnoty dané modulo registrem. Při dosažení této hodnoty dojde k resetování čítacího registru a čítač začne od znovu.

### 2.3.2 Provozní režimy

Jednotlivé kanály časovače se dají každý nastavit na jiný režim v případě, že se nejedná o PWM se zarovnáním na střed. Pokud dojde k vybrání tohoto režimu, není možné použít ostatní režimy a všechny kanály, které tento časovač má, budou takto nastaveny.

V případě pozastavení chodu nebo při ladícím režimu časovač přestane čítat do doby než se vrátí zpátky do normálního chodu. [5]

### Input capture

Pokud na kanál s tímto režimem dojde signál, na jeho přiřazený pin, aktuální hodnota 16-bitového čítače je zapsaná na registru s hodnotou kanálu a dojde k přerušení pomocí příznakový bitu. Tento režim má několik možností detekce signálu:

- Nástupná hrana.
- Sestupná hrana.
- Jakákoliv hrana.
- Žádná hrana.

## Output compare

Nastavený kanál na takový režim pracuje tak, že když hodnota čítače je stejná jako hodnota kanálu, dojde k příznaku na přerušení a vybraná akce je použita na výstupní pin. Možností nastavení jsou:

- Nastavení na 0.
- Nastavení na 1.
- Přepnutí hodnoty.
- Ignorování příznaku.

## Edge aligned PWM

Hodnota 16 bitového modula nastavuje periodu výstupního signálu. Hodnota kanálu nastavuje střidu výstupního PWM signálu. Je možné nastavit polaritu signálu neboli zda bude aktivní hodnota PWM log.0 nebo log.1. Tento režim PWM má na začátku každé periody aktivní hodnotu a potom je přepnut pomocí hodnoty kanálového registru.

## Center aligned PWM

Dvojnásobná hodnota 16 bitového modula udává periodu signálu. Poloviční hodnota střidy je uložena v hodnotovém kanálovém registru. Čítač nejprve čítá nahoru dokud nedojde k hodnotě modula a poté čítá dolů. Při každém překročení hodnoty kanálu se výstupní hodnota PWM přepne. Výsledná perioda potom vypadá jako impuls zarovnaný na střed.

### 2.3.3 Popis Registrů

Pro správné řízení časovače je nutné pracovat s jeho registry. Tyto registry ovládají různé vlastnosti časovače. V případě, že mikro počítač má některé moduly víc než jedenkrát, například v tomto případě 2 časovače, jejich registry se odlišují od sebe čísly. V dokumentaci je toto číslo nahrazeno x.

## Stavový registr

Nastavuje hlavní parametry časovače, které budou použity pro všechny kanály.



	7	6	5	4	3	2	1	0
R	TOF	TOIE	CPWMS	CLKSB	CLKSA	PS2	PS1	PS0
W	0							
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 10. Stavový registr [5]

TOF bit je příznak přetečení. Když čítač dosáhne hodnoty modula, nastaví se příznak přetečení. V případě, že nebylo ještě dosaženo hodnoty modula příznak je na 0. Při každém příznaku je nutné vrátit tento bit na 0. Tento bit se nedá nastavit na 1.

TOIE slouží pro povolení nebo zakázání přerušení. Slouží pro zavolání funkce, která zajistí obsluhu přerušení.

CPWMS nastavuje PWM se zarovnáním na střed. Tento režim se nastaví na všechny kanály.

Přes CLKSB a CLSKA se nastavuje zdroj hodinového signálu. Na výběr je ze dvou interních hodinových signálů, externí zdroj anebo bez hodinového signálu. Bez hodinového signálu čítač nebude počítat.

Poslední tři bity označeny jako PS slouží pro nastavení děličky. Ta slouží pro lepší zápis hodnoty modula.

### Čítací registr

Registr je rozdělený do dvou částí každá o 8 bitech dohromady má tedy čítač 16 bit ve kterých se inkrementuje hodnota, dokud není dosaženo hodnoty modula. Resetování časovače je realizováno zápisem libovolné hodnoty do kterékoliv poloviny tohoto registru.

### Modulo Registr

Hodnota v tomto registru udává, kdy dojde k přetečení a resetování čítače. Hodnota výstupní frekvence je udávána vztahem:

$$Modulo = \frac{t_{TOF} * f_{source}}{Prescaler} \quad (4)$$

Kde:

- $t_{TOF}$  – doba do přetečení v sekundách
- $f_{source}$  – frekvence zdroje
- Modulo – hodnota modulo registru
- Prescaler – hodnota děličky

## Řídící registr kanálu

Registr pro ovládání jednotlivých kanálů. Každý kanál časovače má tento registr. Proto při popisu registrů se toto číslo nahrazuje písmenem n.

	7	6	5	4	3	2	1	0
R	CHnF	CHnIE	MSnB	MSnA	ELSnB	ELSnA	0	0
W	0							
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 11. Řídící registr [5]

CHnF se nastavuje v každém režimu jinak. V input capture režimu se tento bit nastaví, když přijde vybraná hrana na vstup. Pro ostatní režimy se tento bit nastaví tak že hodnota čítače je stejná jako hodnota kanálového registru.

CHnIE povoluje nebo zakazuje přerušování v případě, že dojde k nastavení CHnF na 1.

MSnA a MSnB těmito bity nastavujeme režim kanálu, pokud se nejedná o PWM se zarovnání na střed.

Poslední dva bity které jsou v tomto registru využity, ELSnB a ELSnA nastavují jak bude vybraný režim pracovat. Jako například pro PWM tyto dva bity určují co kanál bude považovat za aktivní úroveň. [5]

## Hodnotový registr

Tento registr slouží pro zápis hodnoty, která

### 2.3.4 Přerušování

Když potřebujeme zpracovat akci, která nastane můžeme tento problém řešit dvěma způsoby. Dotazování se na konkrétní hodnotu, dokud nenastane požadovaná změna a poté zpracujeme tuto akci. Toto řešení není ovšem ideální, jelikož procesor je zaneprázdněný a nemůže pracovat na jiných úkonech. Druhá možnost je taková, že při změně hodnoty vyvoláme přerušování, ve kterém se akce zpracuje.

Časovač lze nastavit tak, aby generoval přerušování při určitých situacích. Pokud dojde k přerušování je hlavní běh programu pozastaven a poté se zavolá obsluha přerušování (ISR). Obsluha toto přerušování zpracuje a poté se vrací zpátky do hlavního cyklu programu. Jedná se tedy o funkci nebo podprogram, který se v hlavním cyklu programu nenachází. V časovači jsou tyto přerušování nastavována pomocí bitů TOIE a CHnIE. Kde TOIE povoluje přerušování u časovače a CHnIE povoluje přerušování u kanálu časovače.

Přerušeni se nechová ve všech pracovních režimech stejně. Při input capture je přerušeni generováno, když na vstupní pin časovače přivedeme signál. U output compare se generujeme přerušeni při změně hodnoty výstupního signálu. U PWM režimu je generováno při dosažení periody signálu neboli když hodnota čítače dosáhne hodnoty modula.

### 2.3.5 Vlastnosti u MC9S08SH32

- 2 časovače každý se 2 kanály.
- 4 provozní režimy.
- Spouštění od nástupné hrany, sestupné hrany, jakákoliv hrana při zachycení vstupu.
- Nastavení, vynulování,
- Možnost volby polarity na výstupech PWM
- Všechny kanály se dají nastavit na centrální pulsní šířkovou modulaci.
- Výběr z několika hodinových signálů
- Dělička pro dělení 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
- 16 bitový čítač s možností čítat nahoru nebo nahoru a dolů.
- Zapnutí a vypnutí čítače.
- Každý časovač má jedno přerušeni pro hodnotový registr. Poté každý kanál má svoje vlastní přerušeni.

### 3 FUNKČNÍ GENERÁTORY

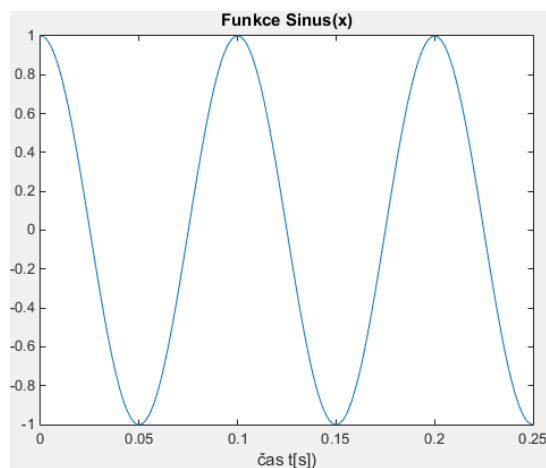
Funkční generátor je zařízení, které generuje signál s požadovanými vlastnostmi. Frekvence takto vygenerovaných signálů se u dnešních generátorů pohybuje od 50 Hz do 20 MHz. Funkční generátory se používají hlavně pro testování elektrických zařízení. Kdy je potřeba zkontrolovat funkčnost jednotlivých elektrických obvodů tím, že na jejich vstupy připojíme simulovaný signál a sledujeme reakci na něj. [6]

#### 3.1 Druhy generovaných signálů

Mezi hlavní signály patří sinusový, obdélníkový, trojúhelníkový a pilovitý signál. [7]

##### Sinusový signál

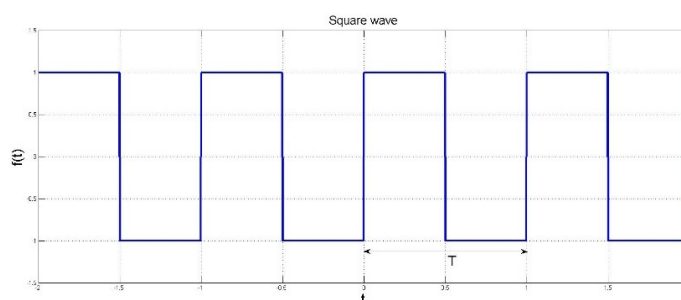
Nejvíce používaný signál. Většina funkčních generátorů obsahuje tento signál.



Obr. 12. Příklad Sinusového průběhu.

##### Obdélníkový, pulsový signál

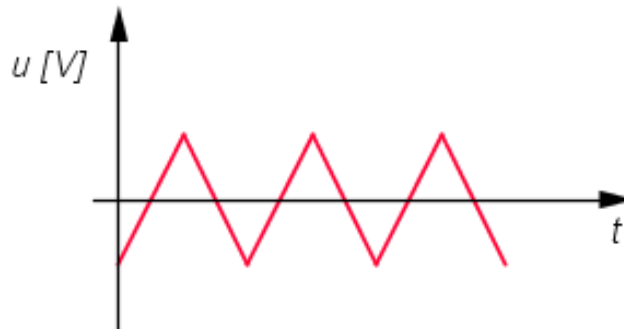
Obdélníkový signál se pohybuje mezi dvěma stavy „High“ a „Low“ a střída tohoto signálu je 50 %. Pokud střída nebude 50 % bude se jednat o impulsový signál.



Obr. 13. Příklad obdélníkového průběhu.

### Trojúhelníkový signál

Tento signál lineárně stoupá na svojí maximální hodnotu a poté lineárně klesá na svoje minimum. Pilovitý signál je speciální případ trojúhelníkového signálu kdy sestupná hrana je kratší nebo se blíží nule.



Obr. 14. Příklad trojúhelníkového průběhu.

## 3.2 Ovládací prvky

Pro nastavení požadovaného signálu je na funkčním generátoru několik ovládacích prvků. [7]

- Volba frekvence signálu
- Výběr generovaného signálu
- Nastavení amplitudy
- Přidání stejnosměrné složky
- Volba střídavy

## 3.3 Druhy funkčních generátorů

Funkční generátory rozdělujeme do dvou hlavních skupin:

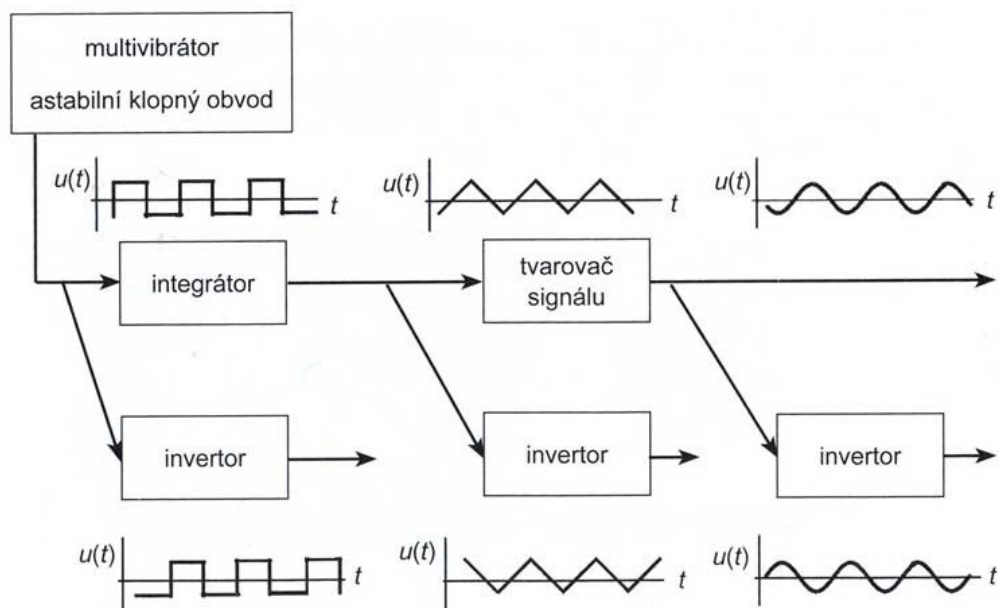
- Analogové funkční generátory
- Digitální funkční generátory

### 3.3.1 Analogové funkční generátory

V případech, že nepotřebujeme složitý průběh signálu. Lze použít analogové funkční generátory, které nejsou nákladné a lze je vytvořit relativně jednoduše pomocí několika elektrických obvodů. Tyto obvody mají buď pouze pasivní elektrické součástky nebo používají i aktivní prvky např. operační zesilovač.

Základní zapojení takového funkčního generátoru obsahuje nestabilní klopný obvod například integrovaný obvod 555. Jehož výstup poté generuje obdélníkový signál. Ten je použit pro integrátor, jenž obdélníkový signál převede na trojúhelníkový. Poté tvarovač signálu převede trojúhelníkový signál na sinusový. Všechny tyto tři signály lze vyvést na výstup a případně doplnit invertorem, který zrcadlí vstupní signál. Výstupní napětí je pak možné zesilovačem zesílit případně snížit přes dělič napětí. [8]

Tento princip je také zobrazen v blokovém schématu.



Obr. 15. Blokové schéma analogového generátoru [8]

Mezi hlavní výhody patří nízká cena oproti digitálním, které jsou dražší. Vzhledem ke své ceně jsou dostatečné pro základní testování. V případě trojúhelníkových signálů nejsou frekvenčně omezeny na rozdíl od digitálních. [9]

### 3.3.2 Digitální funkční generátor

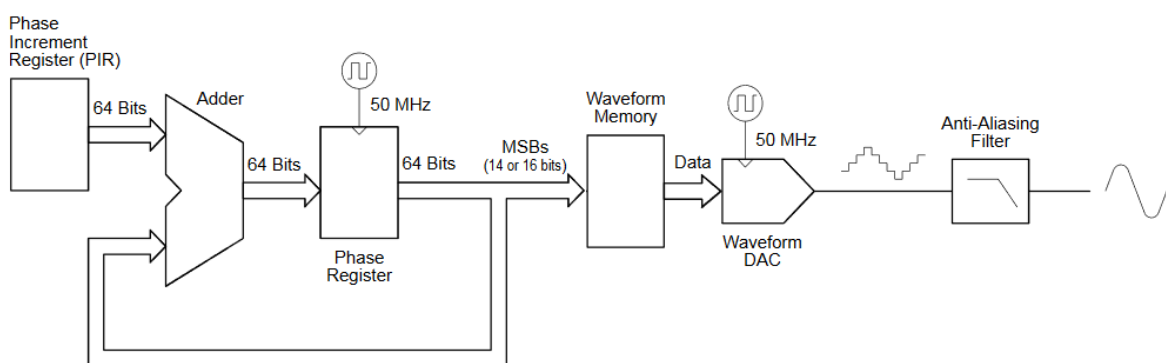
Tyto generátory pro vytvoření požadovaného signálu používají digitální technologie. Existuje několik přístupů, jak generovat signál. Jeden z nejvíce používaných způsobů je tzv. Přímá digitální syntéza označovaná zkratkou DDS z anglického názvu „Direct Digital Synthesis“. [11]

Tento způsob pracuje tak, že máme posuvný registr, který postupně inkrementuje svoji hodnotu až do své maximální hodnoty. Registr po dosažení maximální hodnoty čítá od

znovu doba, za kterou se čítač z nuly dostane na maximum je rovna periodě výstupního signálu. Změnou přičítané konstanty lze měnit výstupní frekvenci.

Aktuální hodnota posuvného registru je určuje hodnotu z registru hodnot. Po vybrání hodnoty je převedena z digitálního signálu na analogový pomocí D/A převodníku. Poté se vyhladí signál pomocí filtru typu dolní propusti. Vyhlazený signál je připojen na výstup. [10]

Když výstupní signál má malou frekvenci, která je relativní vůči velikosti posuvného registru, hodnota na výstupu se nebude měnit při každém hodinovém signálu. Pro vysoké frekvence je naopak problém, že některé hodnoty budou přeskočeny a může dojít k aliasingu.



Obr. 16. Blokové schéma digitálního generátoru. [11]

### 3.3.3 Generátory programovatelného průběhu

Některé digitální funkční generátory mají možnost vytvořit libovolný periodický signál. Generátory, které se hlavně používají k tomuto účelu se nazývají AWG (Arbitrary waveform generator). [11] Nahrání průběhu lze realizovat třemi způsoby:

- Pomocí zachyceného reálného signálu, který byl zachycen např. pomocí osciloskopu
- Nastavením pomocí panelu na generátoru pro jednodušší průběhy.
- Použití výrobcem dodávaný software pro vytvoření složitějších průběhů.

Tento typ generátoru je rozdělen do dvou skupin:

- S proměnným hodinovým signálem.
- S využitím přímé digitální syntézy. Také označované jako AFG

Výhody AFG je možnost generování signálu s frekvencí menší než 1 Hz. Možnost modulování signálu. Nevýhodou tohoto typu je horizontální třesení známé jako „jitter“. A dále

možnost vykreslení pouze jednoho signálu. Protože se čte vždy jedna pozice, kde je uložena hodnota není možné vykreslit více signálů současně. [12]

U AWG s proměnným hodinovým signálem je výhoda realizace velmi složitých průběhů. Je také možno spojit do hromady několik průběhů za sebe. Toto je realizováno pomocí sekvenčního ovladače. Díky větší univerzálnosti je vyšší cena, a náročnost pro zprovoznění.

### 3.4 Parametry funkčních generátorů

Kromě obvyklých parametrů jako například výška, váha, případná elektrická spotřeba, se udávají:

- Pro sinusový signál se určuje zkreslení. U analogových generátorů je sinus generovaný pomocí tvarovače, jenž může zkreslovat sinusový signál. Jedná o zkreslení menší než 2 %. U trojúhelníkového signálu nemusí růst a klesání být lineární. Linearity je většinou 99 %. U obdélníkového případně impulsového signálu se udává rychlost, kdy vzestupu a pádu. Jelikož signál není ideální nedojde k okamžité změně z jedné úrovně na druhou. Kolem 100ns trvá většinou pro změnu hodnoty mezi 10 % a 90 %. Pro změnu střídý se udává rozsah, ve kterém jsme schopni pracovat. Například 20 % - 80 %  $\pm$  10 %. [7]
- Výstupní napětí se dá měnit mezi 0 V až 12 V špička špička dle konkrétního generátoru.
- Výstupní impedance generátoru 50 $\Omega$ .
- Možnost přidání stejnosměrné složky tzv. „DC offset“. Např. -5 V až 5 V.
- U frekvenčního rozsahu se udává minimální frekvence obvykle pod 1 Hz. Maximální frekvence je hlavní parametr zařízení a je pohybuje se řádově v megahertzích.
- Frekvenční stabilita udává, jak je stabilní generovaný signál. Analogové generátory bývají méně stabilní než digitální. V digitálních generátorech je použit krystal. Jehož vlastností je vysoká frekvenční stabilita.
- V některých generátoru je možno synchronizovat generovaný signál pomocí externího hodinového signálu. Pro zajištění větší přesnosti.
- Je možné se setkat u funkčních generátorů i s funkcí modulace pro výstupní signál. Tato možnost je u specializovaných generátorů.

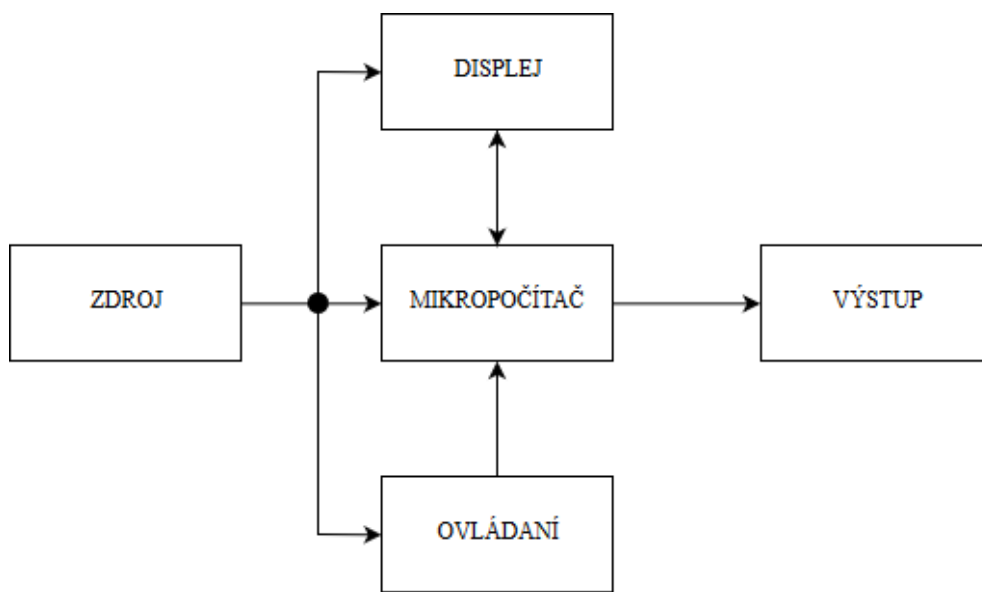


## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 NÁVRH A REALIZACE MODULU

Praktická část se zabývá jak hardwarovou a softwarovou realizací modulu pro generování pulsů.

### 4.1 Návrh modulu



Obr.17. Blokové schéma modulu.

Blokové schéma je rozděleno:

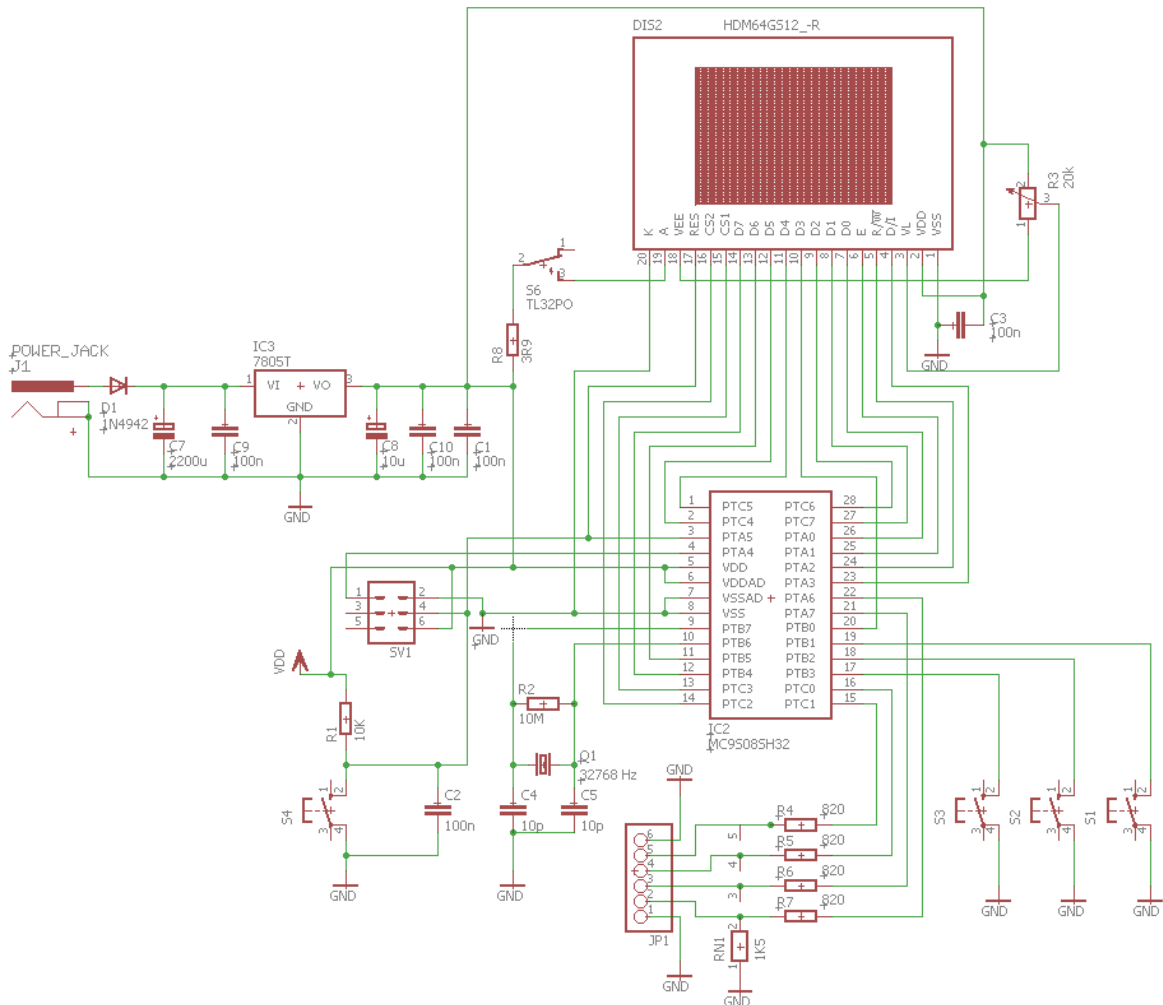
- Zdroj – Stabilizované napájení jednotlivých komponent generátoru.
- Displej – Pro zobrazení aktuálně zvolených hodnot.
- Mikropočítač – Pro generování výstupního signálu, načítání dat z ovládacích prvků a pro zápis/čtení dat na displej.
- Výstup – Vyvedený výstupní signál.

### 4.2 Schéma modulu

Schéma bylo vytvořeno v návrhovém prostředí Eagle. Při návrhu schéma bylo nutno brát v úvahu:

- Stabilizované napájení
- Programovací rozhraní BDM
- Grafický displej
- Řídící jednotka
- Ovládací prvky

- Výstupní generovaný signál



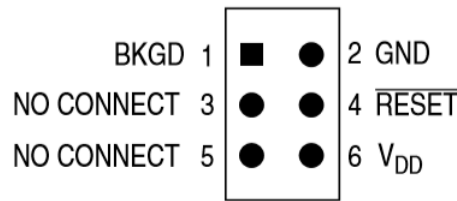
Obr. 18. Schéma modulu.

### Stabilizované napájení

Pro správnou funkci jak grafického displeje, tak mikropočítače samotného je důležité mít stabilizované napájecí napětí. Nejdůležitějším prvkem je napěťový regulátor 7805, jenž vstupní napětí snižuje na hodnotu 5 V a toto napětí stabilizuje. Dioda slouží jako ochranný prvek pro případnou opačnou polaritu vstupního napětí.

### Programovací rozhraní

Pro připojení k vývojovému prostředí je nutné k BDM rozhraní připojit BKGD, RESET, napájecí napětí a zem. Z BDM rozhraní jde signál přes Multilink Interface do vývojového prostředí. Poté je již možno přistupovat k mikropočítači.



Obr. 19. Popis signálů BDM konektoru. [4]

## Grafický displej

Na grafickém displeji se budou vypisovat informace o generovaných signálech. Piny displeje, které jsou připojeny k MCU jsou vypsány v Tab. 1. Číslování a popis vývodů.

## Řídící jednotka

Pro řízení displeje a generování signálu je použit mikroprocesor MC9S08SH32. Mikroprocesor je připojen externí krystal mezi piny č.9 a č.10 o frekvenci 32 768 Hz. Pro generování stabilní frekvence hodinového signálu.

## Ovládací prvky

Pro ovládání modulu jsou použity 4 tlačítka. Jedno tlačítko bude realizovat reset jak pro MCU, tak i pro displej. Tři tlačítka jsou využívána pro změnu parametrů generovaného signálu. Přepínač ovládá podsvícení displeje pro snížení odběru displeje. Potenciometr slouží pro nastavení úrovně jasu kontrast displeje.

## Výstupní prvky

Pro změnu výstupního napětí z MCU na hodnoty v rozsahu 0 – 3,3 V je použita rezistorová sada a 4 rezistory. Tyto rezistory slouží jako dělič napětí.

### 4.2.1 LCD displej ATM12864D

Jedná se o grafický 20 pinový LCD displej s rozlišením 128\*64 bodů. S jehož pomocí budou zobrazovány informace o signálu jako například vybraný kanál, jeho frekvence, střída. Díky tomu, že se jedná o grafický displej, je možné vykreslovat i jednoduché grafy.

#### Vlastnosti ATM12864D

- Typ displeje: 128\*64 maticový grafický
- Žlutozelené LED podsvícení

- 8 – bitové datové rozhraní
- Řadiče KS0108B, KS0107B
- Napájecí napětí 4,5 - 5,5V

**Mechanické rozměry**

- Velikost modulu (šířka, výška, tloušťka) 93\*70\*10 mm
- Zobrazovací oblast (šířka, výška) 72\*40 mm

### Popis pinů

Grafický displej má 20pinů pro jeho ovládání. Funkce jednotlivých pinů jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tab. 1. Číslování a popis vývodů displeje.

Pin	Název	Popis
1	$U_{ss}$	Napájecí zem
2	$U_{cc}$	Napájení napětí
3	$U_0$	Nastavení kontrastu
4	D/I	Instrukce, data
5	R/W	Čtení, Zápis
6	E	Povolení práce s daty
7	DB0	Instrukce, data
8	DB1	Instrukce, data
9	DB2	Instrukce, data
10	DB3	Instrukce, data
11	DB4	Instrukce, data
12	DB5	Instrukce, data
13	DB6	Instrukce, data
14	DB7	Instrukce, data
15	CS1	Povolení levé části LCD
16	CS2	Povolení levé části LCD
17	RESETB	Reset modulu
18	$U_{ee}$	Výstup záporného napětí
19	A	Anoda LED podsvícení
20	K	Katoda LED podsvícení

### Popis funkce pinů displeje

První dva piny slouží k napájení celého grafického displeje. Pomocí pinu D/I displej zjistí, jestli se jedná o instrukci nebo data na jeho datových pinech. R/W slouží pro nastavení čtení z displeje nebo zápis do displeje. S pomocí strobovacího signálu E se řídí, kdy dojde k přijímání a odesílání dat z datových pinů. Datové piny jsou označeny D0-D7 a slouží pro načítání a posílání dat nebo instrukcí. CS1 a CS2 slouží pro povolení práce s levou či pravou částí displeje. Dokud není ani jedna polovina povolena všechny instrukce spojené s nimi nebudou provedeny. Je možno mít obě dvě poloviny displeje zapnuté v takovém případě instrukce bude provedena na obě poloviny. Toto je vhodné při mazání displeje, kdy vymažeme obě dvě poloviny displeje současně. RESETB pro restartování displeje kdy dojde ke smazání paměti jeho paměti. Jako poslední je možnost vypnutí nebo zapnutí podsvícení pro snížení elektrického odběru displeje.

Tab. 2. Instrukce displeje.

Instrukce	D/I	R/W	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Čtení dat	1	1	Načítaná data								
Zápis dat		0	Zapisovaná data								
Čtení stavů	0	1	B	0	OFF	RST	0	0	0	0	
Nastavení Y		0	0	1	Nastavení sloupce (0-63)						
Nastavení řádku		0	1	1	Nastavení startovací pozice (0-63)						
Nastavení stránky		0	1	0	1	1	1				
Zapnutí displeje		0	0	0	1	1	1	1	1	ON	

### Čtení dat

Před čtením dat je nutné nastavit, řádek, sloupec a stránku, kterou budeme nastavovat. Dále pak nastavíme piny D/I a R/W podle tabulky (Tab. 2.) a vybereme, ze které poloviny chceme data načíst. Samotné načítání se provádí tak, že se strobovací signál E nastaví na 1. Po první načtení se data nastaví na výstupním registru. Po druhém načtení se přečte výstupní registr a data se objeví na datových pinech. Kvůli tomu je nutné vždy provést načítání hodnot, jinak není zaručeno, že na datových pinech budou správné hodnoty. Po načtení dat se adresa Y automaticky zvýší o 1.

### **Zápis dat**

Nastavíme pozici, na kterou chceme zapisovat a vybereme instrukci pro zápis. Nastavíme na datové vstupy stránku, kterou chceme zapsat. Zápis se provede při sestupné hraně strobovacího signálu E. Data se dočasně zapíší do vstupního registru. Displej pak sám zajistí zápis dat ze vstupního registru do RAM paměti displeje. Po načtení dat se adresa Y automaticky zvýší o 1.

### **Čtení stavů**

Při nastavení této instrukce můžeme zjistit následující stavy displeje:

- Zaneprázdněn – Displej zpracovává operaci a nepřijímá nové instrukce.
- Zapnutí displeje – Zda je displej zapnutý nebo vypnutý.
- Reset – Jestli se displej inicializuje po resetování.

### **Nastavení Y**

Vybrání sloupce po nastavení instrukce se provádí na datových vstupech D0-D5. Tudíž můžeme vybrat 0 až 63 sloupců.

### **Nastavení řádku**

Slouží pro nastavení počátečního sloupce pro zápis dat.

### **Nastavení X**

Jelikož je sloupec rozdělen do několika stránek, jedna stránka obsahuje 8 hodnot, pro nastavení stránky se nastavují D0-D2. Tyto datové vstupy mohou adresovat 0-7 stránek. Když chceme rozsvítit jeden bod, musíme zapsat celou stránku.

### **Zapnutí displeje**

Při této instrukci datovým bit D0 lze zapnout a vypnout displej. Přičemž tato funkce nemá vliv na vnitřní chod displeje.



Kromě pinů pro napájení, případně pro změnu kontrastu je většina pinů propojena s mikropočítačem.

*Tab. 3. Číslování a popis vývodů připojené na MPC.*

Číslo pinu MCU	Název port	Číslo pinu LCD	Funkce
1	PTC5	11	D4
2	PTC4	12	D5
11	PTB5	13	D6
12	PTB4	12	D7
13	PTC3	15	CS1
14	PTC2	16	CS2
20	PTB0	10	D3
23	PTA3	4	D/I
24	PTA2	5	R/W
25	PTA1	6	E
26	PTA0	7	D0
27	PTC7	8	D1
28	PTC6	9	D2

### 4.3 Návrh DPS

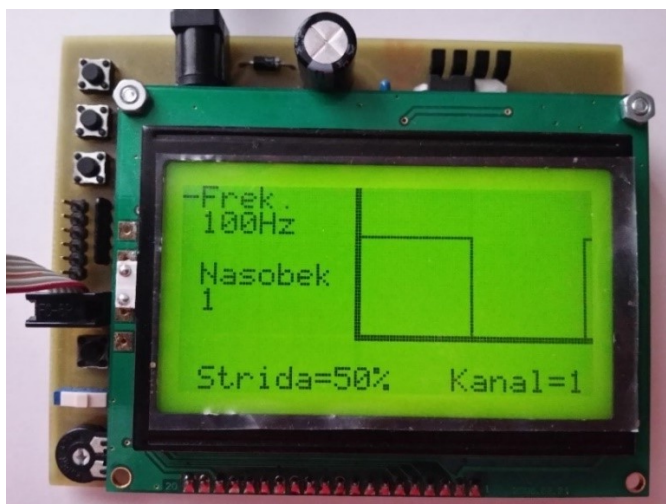
Při navrhování desky jsme museli brát několik věcí v potaz. Minimalizovat počet vzdušných spojů na minimum, jelikož se jedná o jednovrstvou desku. Umístit krystal co nejbližší pinům Extal a Xtal pro co možná nejmenší rušení. Kondenzátory na napájecích pinech, je nutné umístit co nejbližší pinům MPC a displeje. Umístit tlačítka pro výběr tak, aby byla snadno dostupná. Kvůli složitosti a počtu součástek nám nevystačí základní velikost desky, která je povolena u nových verzí Eaglu. Tento problém byl vyřešen použitím starší verze, která tato omezení nemá. Všechny cesty na této desce se musely vytvořit ručně, protože autorouter neumí dobře vytvořit cesty pro jednovrstvou desku se složitějšími obvody. Cesty jsou umístěny na spodní vrstvě a vzdušné spoje na horní vrstvě. Tloušťka cest je největší, jaká je možná, tímto se vyhneme potížím se špatně vyleptanými cestami.

#### 4.4 Výroba DPS

Po vytvoření schématu a navržení desky se laserovou tiskárnou vytiskne na fólii motiv plošného spoje. Předloha musí být zrcadlená a mít správné rozměry. Pokud deska, kterou použijeme, nemá fotocitlivou vrstvu, nanese se jí, jinak bychom nemohli použít UV lampu. Zapneme UV lampu a chvíli počkáme, než se zahřeje. Poté se deska s předlohou nechá osvětlit UV lampou. Tento proces trvá kolem 5 minut. U specializovaných zařízení pro osvit DPS je možno tento čas nastavit. Po uplynutí této doby, vytáhneme osvětlenou desku i s folií. Po odstranění folie by na desce měly být viditelné cesty díky fotocitlivé vrstvě. Osvícená deska se následně vyvolá v 1,5% roztoku hydroxidu sodného. Dále pak opatrně, nejlépe jednou stranou dřív, vložíme do lázně s leptacím roztokem, většinou se používá chlorid železitý. Desku leptáme do doby, dokud se neodstraní přebytečná měď. Pokud bychom nechali desku v roztoku déle hrozí, že se vyleptají i cesty, které měly na desce zůstat. Leptání trvá zhruba 10 až 30 minut záleží na koncentraci roztoku. Umyjeme vodou a případně natřeme tenkou vrstvou kalafuny pro lepší pájení.

Po vyleptání desky je nutné vyvrtat díry, do kterých budou usazeny součástky. Použijeme malý vrták pro vyvrtání všech děr. Pro součástky, které mají větší vývody, například napájecí konektor, se díry rozšíří na požadovanou velikost.

Pokračujeme pájením součástek. Pro pájení použijeme mikropájkou, kterou předtím necháme zahřát na teplotu pro pájení, kolem 280 °C. Napájíme součástky a jako poslední pájíme samotné MPC. Nanese se na měď, kde má mít MPC vývody tenkou vrstvou cínu. Nahřejeme tyto místa a přiložíme MPC. Samotné vývody spojíme vodivě s naneseným cínem. Multimetrem se můžeme přesvědčit, jestli se vývody skutečně vodivě spojily s DPS.



Obr. 20. Sestavený modul generátoru

## 5 PROGRAMOVÁ ČÁST

Jako ovládání displeje jsme použili knihovnu grafGB60, která byla vytvořena v bakalářské práci Jiřího Sedláka [13]. Ta byla dále upravena, aby ji bylo možno použít pro toto zapojení. Funkce pro samotný generátor jsou pak uloženy v knihovně fc\_generátor. Tato knihovna byla vytvořena v jazyku C pomocí vývojového prostředí Codewarrior pro programování MCU od firmy NXP. Knihovna pro displej byla vytvořena za pomoci jazyka symbolických adres a rozšířena pomocí jazyka C.

### 5.1 Funkce pro ovládání displeje

Následující funkce se používají pro ovládání displeje.

#### 5.1.1 DISP\_INIT

Funkce, která inicializuje samotný displej před prvním použitím. Inicializují se vstupně / výstupní porty mikropočítače, uvedeny v tab. 3, jako výstupní a nastaví se na defaultní hodnotu. Aktivuje se displej a vymaže se jeho paměť. Načte se proměnná ABECEDA pro následné použití při zobrazování znaků.

#### 5.1.2 POSLI\_DISP

Tato funkce posílá data na datové vstupy podle vstupní hodnoty uložené v registru A. Je nutné před posláním těchto hodnot specifikovat, jestli se jedná o instrukci nebo data.

#### 5.1.3 ERASE\_ALL

Tato funkce slouží pro vymazání displeje tedy jeho paměti. Mazání probíhá tak, že posíláme prázdnou stránku (8 nulových hodnot) na obě dvě poloviny displeje. Po vymazání řádku se posuneme na další a pokračujeme, dokud nedosáhneme na poslední řádek.

#### 5.1.4 DISP\_POINT

Funkce pro vykreslení jednoho bodu na displej. Jelikož použité MPC nemá takovou RAM paměť pro zapamatování všech hodnot displeje, bylo nutné číst aktuální stav přímo z paměti displeje. Vygenerujeme stránku pro nový bod. Poté načteme stránku z displeje, která se bude přepisovat. Tyto stránky se logickým součtem sečtou a výsledná stránka se zapíše na displej.

### 5.1.5 DISP\_CHAR

Funkce pro zápis jednoho znaku na displej. Funkce pracuje tak, že z parametru zjistíme, o jaký znak se jedná. Tento znak najdeme v poli ABECEDA a načteme do registru x. Vezmeme první sloupec tohoto znaku a uložíme na požadované místo. Pokud je znak umístěn na polovině displeje, zápis znaku se po zápisu třetího sloupce přepne z jedné poloviny na druhou. Jako poslední se zapíše mezera. Celková velikost znaku je 8x6 pixelů i s mezerou.

### 5.1.6 DISP\_STRING

Funkce vypíše řetězec se začátkem zadaným pomocí parametrů. Funkce bude volat DISP\_CHAR dokud nedosáhne konce řetězce.

### 5.1.7 DRAW\_BASE

Slouží pro inicializaci displeje a vykreslení znaků a přímek, které se budou vždy vykreslovat na pozadí. Nejprve se vypíší popisky k parametrům signálu to je frekvence, násobek, kanál, střída. Poté se vykreslí osy pro graf.

### 5.1.8 DISP\_LINE

Pomocí této funkce vykresluje impulsní průběh signálu podle zadané střídy. Při změně střídy se tento graf změní.

### 5.1.9 GRAF

Ošetřuje s pomocí DISP\_LINE a DRAW\_BASE vykreslení ukázkového impulsního průběhu na displej. Je nutné první smazat starý průběh, který už neodpovídá zadaným parametrům, pak se vykreslí pozadí pomocí DRAW\_BASE a poté podle zadané střídy se vykreslí, pomocí DISP\_LINE, aktuální průběh signálu.

## 5.2 Funkce pro ovládaní generátoru

Tyto funkce slouží pro generování signálu podle zadaných parametrů. Jelikož MC9S08SH32 má dva časovače, každý po dvou kanálech, následující funkce budou popisovat jenom funkce pro první časovač, jelikož tyto funkce pracují na stejném principu, akorát používají jiné registry ke své činnosti.

### 5.2.1 TPM1\_INIT

Inicializace řídicího registru pro první časovač, kde nastavíme zdroj hodinového signálu frekvenci sběrnice.

### 5.2.2 TPM1\_SET

Nastavení hodnoty modula pro první časovač a nastavení děličky. Před nastavením těchto hodnot je nutné vypnout čítač, aby se hodnoty mohly uložit. Po nastavení modula a děličky je použita funkce TPM1\_INIT pro opětovný start.

### 5.2.3 TPM1\_CH0

Nastavení kanálu 0 pro první časovač. Konkrétně nastavení provozního režimu na PWM a nastavení střídání podle modula časovače.

### 5.2.4 TPM1\_CH1

Nastavení kanálu 1 pro první časovač. Konkrétně nastavení provozního režimu na PWM a nastavení střídání podle modula časovače.

### 5.2.5 SET\_CHANNEL

Nastavuje generátor podle zadaných parametrů. Jelikož volba frekvence je možná od 1 Hz až do 100 kHz je nutné hodnotu modula, děličky a střídání měnit dle aktuálně vybrané frekvence. Pro výpočet modula použijeme vztah (3), bohužel defaultně MPC nepovoluje práci s proměnnými, které mají desetinnou čárku. Je tedy nutné převést periodu na frekvenci, se kterou MPC dokáže pracovat. Ze vztahu je taky patrné, že musíme zjistit hodnotu děličky. To se provede tak, že použijeme nejmenší děličku, tedy děličku 1. Pokud hodnota modula překročí 16 bitovou hodnotu (65535), zvýšíme děličku dvojnásobně a přepočítáme modulo. Toto opakujeme, dokud nebude hodnota modula menší než 65535. Tato hodnota vyplývá z velikosti registru, ve kterém bude modulo uloženo, protože u tohoto časovače je pouze 16 bitové modulo jsme omezení na maximální velikost 65535. Dále pak převedeme hodnotu děličky na 3 bitovou hodnotu, abychom ji mohli zapsat do registru. Předtím než začneme tyto hodnoty zapisovat, vypočítáme hodnotu střídání, která je daná hodnotou modula a parametrem střídání. Díky parametru kanál vybereme, který kanál budeme nastavovat. Pro příklad budeme brát výběr prvního časovače a prvního kanálu. Nejprve nastavíme modulo a děličku za pomoci funkce TPM1\_SET. Pak uložíme hodnotu střídání do hodnotového regis-

tru kanálu pomocí funkce `TPM1_CH0_SET` a aktivujeme časovač zavoláním funkce `TPM1_INIT`.

$$Modulo = \frac{f_{source}}{f_{TOF} * Prescaler} \quad (5)$$

Kde:

- $f_{TOF}$  – frekvence přetečení
- $f_{source}$  – frekvence hodinového signálu
- Modulo – hodnota modulo registru
- Prescaler – hodnota děličky

### 5.3 Hlavní program

#### Inicializace

Jako první se nastaví registry `ICSC1` a `ICSC2` pro povolení externího zdroje hodinového signálu. Čeká se do doby, než se nastaví `OSCINIT` bit. Tento bit se nastaví na, 1 pokud došlo k inicializaci externího oscilátoru. Nastavíme piny, na kterých jsou tlačítka `S1`, `S2` a `S3` jako vstupní a povolíme k těmto tlačítkům pullup rezistory. Jelikož se výstupní piny obou časovačů nenachází na základních pozicích je nutné nastavit registr `SOPT2`. Kde první 4 bity značí na jakých pinech se kanály časovačů nachází. Na displeji se zobrazí impulsní signál s defaultní střídou.

Poté následuje nekonečná smyčka, kterou MPC bude neustále vykonávat.

#### Tlačítka

Ošetření tlačítek funguje tak, že pokud bylo jedno tlačítko stisknuto, počká se několik cyklů, jestliže je tlačítko stále stisknuto, dojde ke změně hodnoty. `S1` slouží pro výběr parametru, který se bude měnit. `S1` také udává, jak budou tlačítka `S2` a `S3` měnit vybranou hodnotu.

Když měníme frekvenci, tlačítko `S2` slouží pro výběr řádu, který budeme nastavovat. `S3` nastavuje hodnotu konkrétního řádu. Pokud bychom přičítali například po 1 Hz, bylo by velmi obtížné nastavit vysoké frekvence. Naopak kdyby byl přírůstek frekvence příliš velký, například 1kHz, ztratili bychom možnost nastavit přesnou frekvenci. Proto bylo nutno použít tento způsob zadávání hodnot.

Při výběru střídý tlačítkem S2 čítáme nahoru a tlačítkem S3 čítáme dolů. Pokud dojde ke změně střídý, upraví se graf na displeji tak aby odpovídal nově vybrané střídě. Stejným způsobem je řešený výběr kanálu.

### **Zobrazení**

Pro lepší čitelnost je vybraný parametr označen znakem \*. Při výběru frekvence je také zobrazen řád, jaký je právě nastavován. Dále se pak zobrazí aktuální kanál, střída, frekvence.

### **Nastavení generátoru**

Pokud se stisknou S2 a S3 současně, aktivuje se funkce nastavení vybraného kanálu. V případě, změny frekvence na jednom z časovačů, se střída druhého kanálu upraví tak, aby měla stejnou procentuální hodnotu. Tudiž nedojde k chybně generovanému signálu.

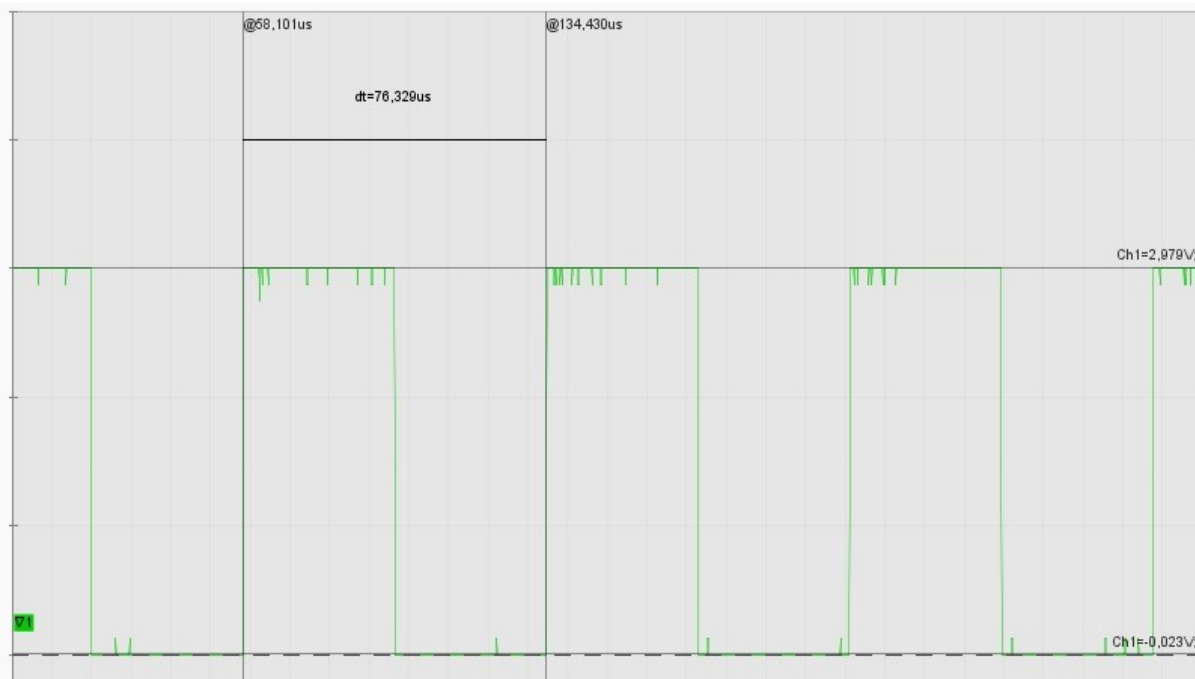
## 6 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ ZAŘÍZENÍ

Pro orientační měření byl použit osciloskop USBscope50. Parametry [14] USBscope50:

- Vstupní impedance 1 M $\Omega$ .
- Maximální měřené napětí  $\pm 30$  V.
- Přesnost rozsahů  $\pm 0,3$ V = 4 %,  $\pm 3$ V = 6 %,  $\pm 30$ V = 6 %.
- Režimy zobrazení AC, DC, GND
- Spouštění normální, vzestupná hrana, sestupná hrana, větší než, menší než.

### Postup měření

Pomocí režimu GND zkontrolujeme, jestli není nastavený offset, pokud ano nastavíme ho na nulu. Nastavíme režim AC nebo DC podle měřeného signálu. Vybereme spouštění od vzestupné hrany. Spustíme měření a nastavíme rozsah na co největší. Nastavíme časovou základnu tak, aby byla zobrazená perioda co největší. Zmenšujeme rozsah, dokud není zobrazen celý průběh. Odečteme hodnotu napětí a frekvence.



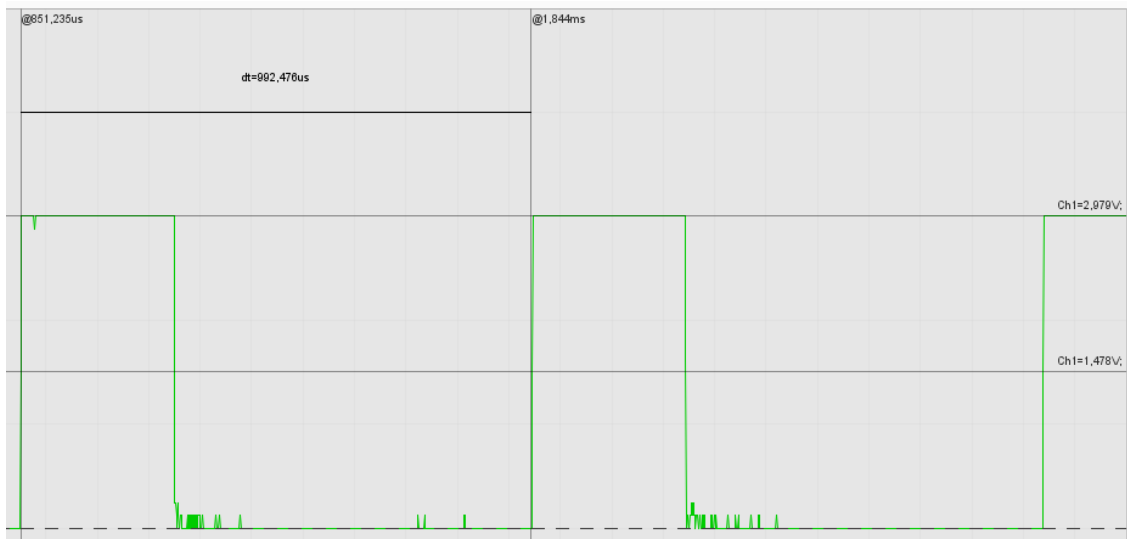
Obr. 21. Impulsní signál 13 kHz, kanál 4, střída 50%

Naměřená frekvence osciloskopem je 13101 Hz. Měření mohlo být ovlivněno zaokrouhlováním hodnoty, případně chybou měření.

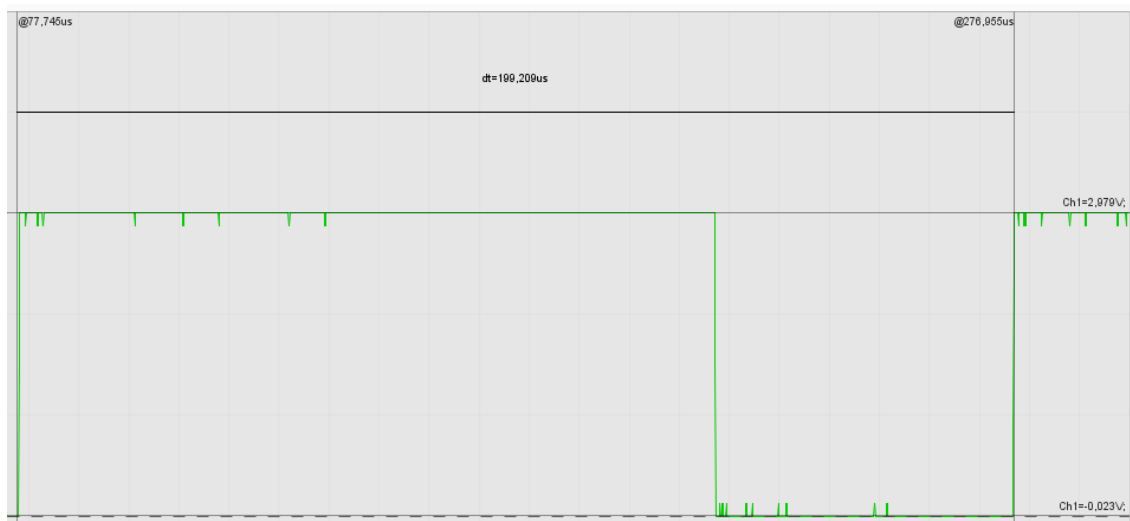




Obr. 22. Impulsní signál 50 Hz, kanál 1, střída 10%



Obr. 23. Impulsní signál 1000 Hz, kanál 2, střída 30%



Obr. 24. Impulsní signál 5000 Hz, kanál 3, střída 70%

Následující tabulka obsahuje další naměřené frekvence.

Tab. 4. Naměřené hodnoty

Kanál	Zvolená frekvence	Naměřená frekvence
[-]	[Hz]	[Hz]
1	50 Hz	50,3
1	1000 Hz	1009,1
2	500 Hz	502,5
2	1000 Hz	1007,6
3	5000 Hz	5019,9
3	22555 Hz	22779,6
4	13000 Hz	13101,0

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a vytvořit výukový modul pro generování impulsů do předmětu Programování mikropočítače. Kde se výstup tohoto generátoru použije pro výukový vývojový kit, ve kterém se poté bude tento signál vyhodnocovat pomocí funkce input capture.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá základními druhy signálů, jejich vlastnostmi spolu s vysvětlením A/D převodu a pulsní šířkové modulace. Dále je zde popsán mikropočítač MC9S08SH32, jeho vlastnosti a moduly, se zaměřením na časovač tohoto MPC. Jako poslední v teoretické části jsou popsány různé druhy generátorů.

V první polovině praktické části je popsáno blokové schéma, s jehož pomocí bylo vytvořeno schéma modulu. Dále je uvedeno schéma s použitým displejem, popis výroby modulu od leptání DPS až po osazení DPS součástkami.

Druhá polovina praktické části je zaměřena na popis programového vybavení, všech funkcí jak pro ovládání displeje, tak pro ovládání samotného generátoru. V závěru praktické části jsou prezentovány výsledky praktického ověření funkce generátoru.

V rámci této bakalářské práce byl vytvořen generátor pulsů využívající mikropočítač NXP MC9S08SH32. Ke generátoru bylo vytvořeno programové vybavení za pomoci vývojového prostředí Codewarrior. Modul je schopen generovat impulsní signál se zadanou frekvencí a střídou, pro čtyři kanály. Informace o generovaném signálu jsou zobrazeny na displeji. Byla ověřena funkčnost modulu a přesnost generovaných signálů za pomoci osciloskopu. Z grafů byly odečteny skutečné frekvence generovaných signálů. A bylo zjištěno, že čím větší je generovaná frekvence, tím větší je odchylka zvolené frekvence. Vzhledem k tomu, že není kladen důraz na generování signálu s velmi přesnou frekvencí, je tato odchylka akceptovatelná. Střída je volitelná v rozsahu 10 % - 100 %. Pro každý kanál je možno tuto střídu vybrat nezávisle na ostatních.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Počítačové zpracování signálů I - základní úvod* [online]. , 1 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2008102400-pocitacove-zpracovani-signalu-i-zakladni-uvod/>
- [2] *Fundamentals of signals and systems* [online]. Hingham, Mass.: Da Vinci Engineering Press, c2006 [cit. 2017-05-07]. ISBN 978-1584503811.
- [3] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Digitalizace analogového signálu* [online]. , 1 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/pdf/1355-digitalizace-analogoveho-signalu>
- [4] SÚKUPOVÁ, Lucie. *Vzorkování signálu a aliasing* [online]. , 1 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/vzorkovani-signalu-a-aliasing/>
- [5] *MC9S08SH32/MC9S08SH16 Data Sheet* [online]. NXP, 2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MC9S08SH32.pdf](http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MC9S08SH32.pdf)
- [6] Fundamentals Of Instrumentation. *Fundamentals Of Instrumentation* [online]. Technical Publications, 2009, s. 420 [cit. 2017-05-16]. ISBN 8184316666, 9788184316667. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=yKoVkUeNzkAC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>
- [7] POOLE, Ian. *Function Generator* [online]. , 3 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [http://www.radio-electronics.com/info/t\\_and\\_m/generators/function-generator.php](http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/generators/function-generator.php)
- [8] *Funkční generátory* [online]. , 1 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/funkcni-generatory>
- [9] PICMAUSOVÁ, Drahomíra. *Zdroje měřicího signálu - Měřicí generátory* [online]. , 1 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/05\\_Mechatronika\\_12-14/12\\_IUT/034\\_Zdroje-mericiho-signalu---Picmausova---P1.pdf](http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/05_Mechatronika_12-14/12_IUT/034_Zdroje-mericiho-signalu---Picmausova---P1.pdf)
- [10] *Metody generování (nejen) harmonického signálu* [online]. , 1 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=114>
- [11] *User's guide - Agilent 33220A* [online]. , 24 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/Lab/33220A\\_Tutorial.pdf](http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/Lab/33220A_Tutorial.pdf)

- [12] *Fundamentals of Arbitrary Wave form Generation* [online]. Keysight, , 204 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/M8190-91050.pdf>
- [13] SEDLÁK, Jiří. *Výukový modul pro předmět mikropočítače: grafický LCD displej*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, 61, 4 s. příloh. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/7716>. Tomas Bata University in Zlín. Faculty of Applied Informatics, Ústav aplikované informatiky. Vedoucí práce Dostálek, Petr.
- [14] *User's guide - USBscope50* [online]. , 34 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://akizukidenshi.com/download/ds/elandigital/USBscope50ug.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

MPC Mikropočítač

MCU Z anglického „microcontroller unit“, česky jednočipový mikropočítač.

RAM Random access memory

ROM Read only memory

SW Software

IIC Inter-integrated circuit

PWM Pulse width modulation, pulsní šířková modulace

DDS Direct digital Synthesis, přímá digitální syntéza

AWG Arbitrary waveform generator, generátor libovolného průběhu

AFG Arbitrary function generator., generátor libovolné funkce

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Příklad periodického signálu. [2].....	13
Obr. 2. Příklad aperiodického signálu. [2].....	13
Obr. 3. Aliasing.....	14
Obr. 4. Příklady různých stříd.....	15
Obr. 5. Bipolární PWM sinusového signálu. ....	15
Obr. 6. Rozmístění pinů na 28 pinové SOIC a TSSOP pouzdru [5].....	18
Obr. 7. Blokové schéma MC9S08SH32 [5] .....	19
Obr. 8. Doporučené zapojení externího krystalu [5] .....	20
Obr. 9. Rozložení paměti [5] .....	22
Obr. 10. Stavový registr [5] .....	25
Obr. 11. Řídící registr [5].....	26
Obr. 12. Příklad Sinusového průběhu. ....	28
Obr. 13. Příklad obdélníkového průběhu. ....	28
Obr. 14. Příklad trojúhelníkového průběhu. ....	29
Obr. 15. Blokové schéma analogového generátoru [8] .....	30
Obr. 16. Blokové schéma digitálního generátoru. [11].....	31
Obr.17. Blokové schéma modulu. ....	34
Obr. 18. Schéma modulu. ....	35
Obr. 19. Popis signálů BDM konektoru. [4].....	36
Obr. 20. Sestavený modul generátoru.....	42
Obr. 21. Impulsní signál 13 kHz, kanál 4, střída 50%.....	48
Obr. 22. Impulsní signál 50 Hz, kanál 1, střída 10%.....	49
Obr. 23. Impulsní signál 1000 Hz, kanál 2, střída 30%.....	49
Obr. 24. Impulsní signál 5000 Hz, kanál 3, střída 70%.....	49

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Číslování a popis vývodů displeje.....	38
Tab. 2. Instrukce displeje.....	39
Tab. 3. Číslování a popis vývodů připojené na MPC.....	41
Tab. 4. Naměřené hodnoty.....	50



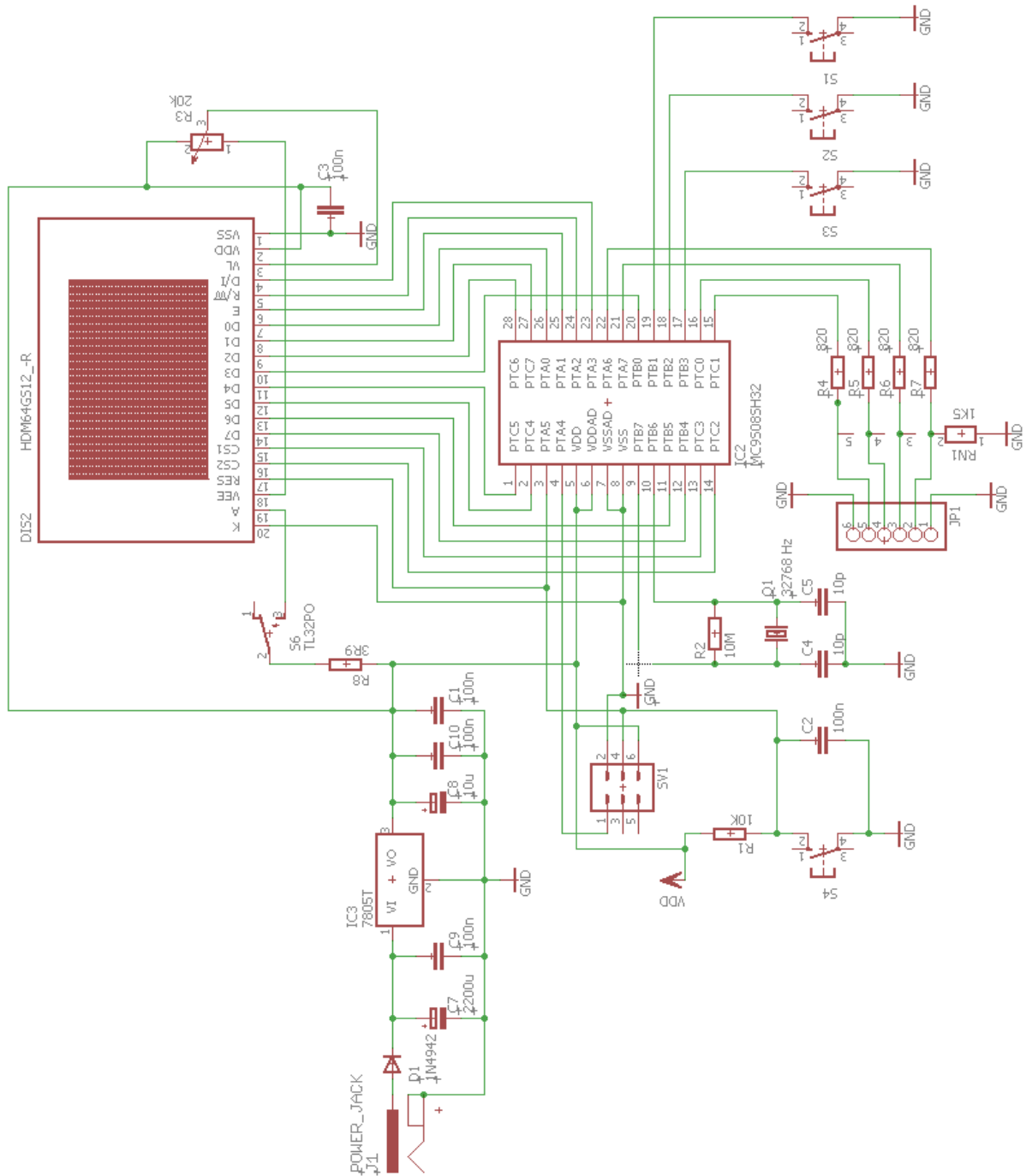
## SEZNAM PŘÍLOH

P I	Seznam součástek
P II	Schéma zapojení
P II	Předloha DPS
P IV	Rozmístění součástek

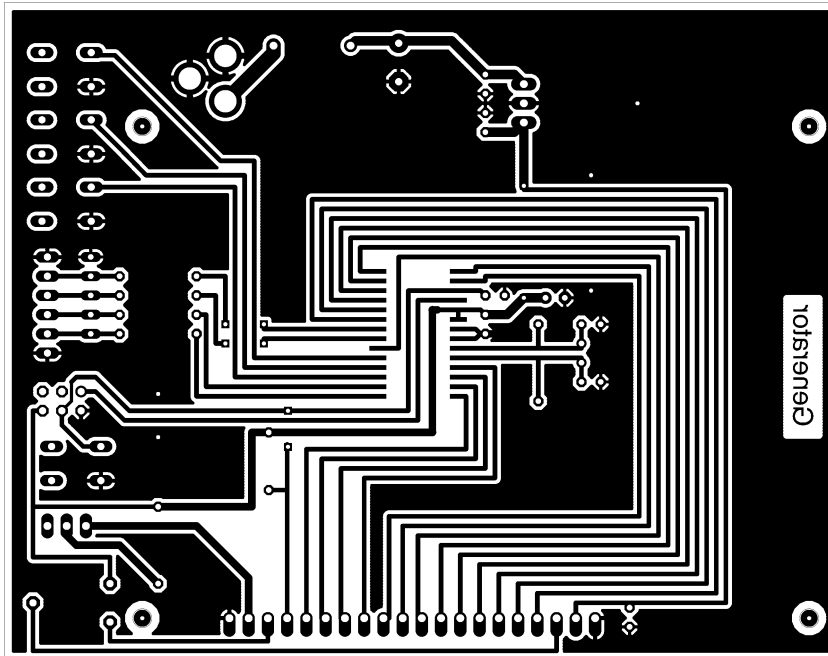
**PŘÍLOHA P I: SEZNAM SOUČÁSTEK**

Číslo	Název	Kusů	Značení
1	LCD Display ATM12864D	1	-
2	Rezistor 10 k $\Omega$	1	R1
3	Rezistor 10 M $\Omega$	1	R2
4	Trimer 20 k $\Omega$	1	R3
5	Rezistor 820 $\Omega$	4	R4-R7
6	Rezistor 3,9 $\Omega$	1	R8
7	Rez. síť 1,5 k $\Omega$	1	RN1
8	Dioda 1N4942	1	D1
9	Napájecí konektor	1	J1
10	7805	1	IC3
11	Spínač Omron	4	S1-S4
12	Krystal 32768 Hz	1	Q1
13	Konektorový kolík 1x6pin	1	JP1
14	Přepínač TL32PO	1	S6
15	MC9S08SH32	1	IC2
16	Konektorový kolík 2x3	1	SV1
17	Kondenzátor 100nF	5	C1-C3, C9, C10
18	Kondenzátor 10pF	2	C4, C5
19	Kondenzátor 2,2mF	1	C7
20	Kondenzátor 10uF	1	C8

## PŘÍLOHA P II: SCHÉMA ZAPOJENÍ



## PŘÍLOHA P III: PŘEDLOHA DPS



PŘÍLOHA P IV: ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK

