



Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP

Lukáš Hladík

Střední průmyslová škola sdělovací techniky
Panská 3, Praha 1

ANOTACE

Cílem této absolventské práce je navrhnout a zkonstruovat levný digitální osciloskop pomocí mikrokontroleru ESP32 a jeho analogově digitálního převodníku. Po změření hodnot zařízení zobrazuje hodnoty na malém displeji. Při navrhování byl kladen důraz na velikost zařízení. Práce informuje o teoretické funkčnosti osciloskopů a jejich limitech.

1 Úvod

Mým úkolem bylo sestrojit jednoduchý digitální osciloskop. Slouží k vizualizaci a pozorování různých signálů v závislosti na čase. Osciloskopy se používají při návrhu a ladění elektronických zařízení, používají k prohlížení a porovnávání průběhů signálu, k určování úrovně napětí, frekvence, šumu a dalších parametrů signálů přiváděných na jejich vstup. Osciloskopy nejsou laciné, a proto jsem chtěl jeden sestrojit za daleko nižší cenu.

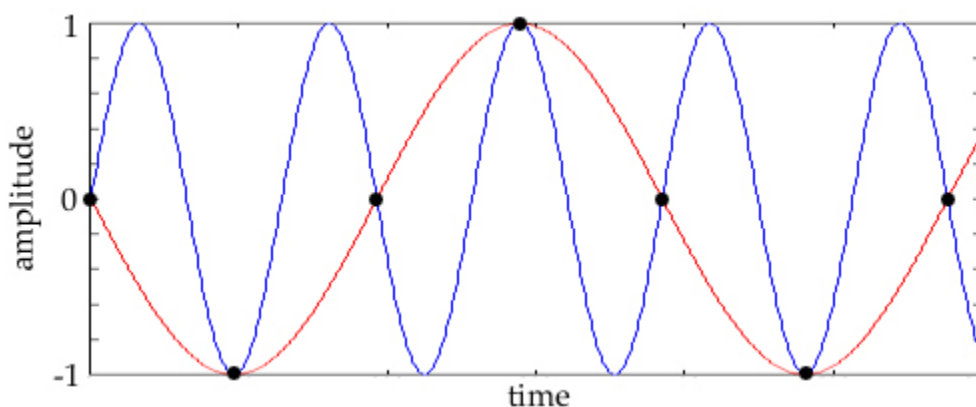
2 Teoretický základ

Osciloskop je elektronický měřicí přístroj zobrazující průběh napětí v čase. Nadále také zobrazuje frekvenci (počet impulzů za jednu sekundu) a napětí od vrcholu k vrcholu (od záporného ke kladnému). Tato práce se zabývá digitálním osciloskopem, který je založen na analogově digitálním převodníku.

Analogově digitální převodník (ADC) převádí analogový signál se spojitým časem a spojitou amplitudou na digitální signál, složený z časových vzorků kvantovaných hodnot signálu. Při převodu dochází ke kvantizaci vstupního signálu, takže nutně vzniká malá kvantizační chyba. ADC navíc namísto kontinuálního převodu provádí převod periodicky.

ADC pracuje na základě vzorkování hodnoty vstupu v časových intervalech. Pokud je vstup vzorkován nad dvojnásobnou rychlostí nejvyšší frekvence signálu, jsem schopen signál správně přečíst a rozeznat. Pokud jsou vzorkovány frekvence nad polovinou rychlosti

vzorkovací frekvence převodníku, vzorky jsou nesprávně detekovány jako nižší frekvence, což je proces označovaný jako *aliasing* (zkreslení). K zkreslení dochází proto, že mezi jednotlivými vzorky převodníku uplyne více než polovina vstupního signálu.



Obr. 1: Aliasing

3 Hardware

Hlavní součástí projektu je mikrokontroler ESP32. Pro zobrazování hodnot jsem využil barevný IPS displej.

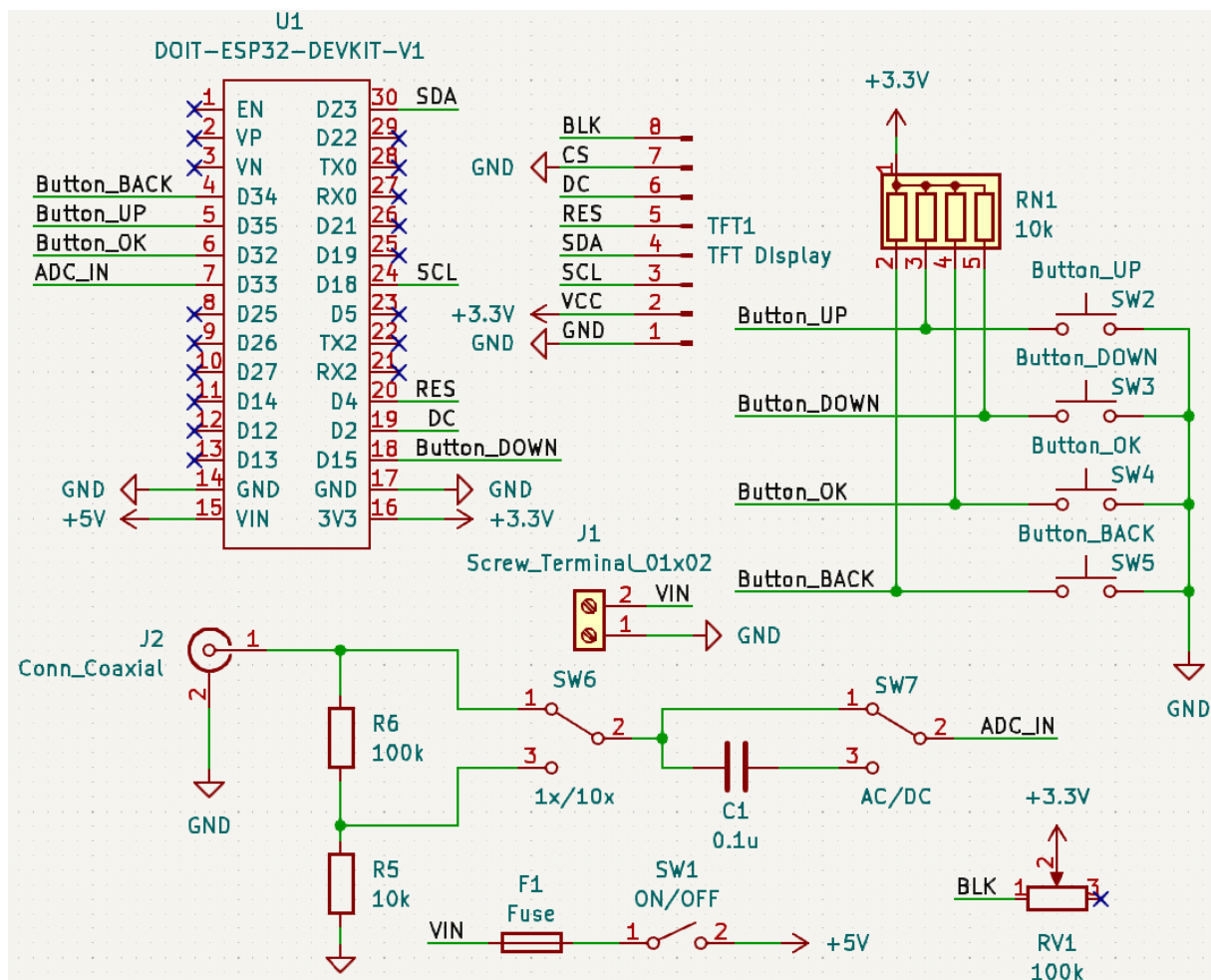
ESP32 je jedním z řady mikrokontrolerů od společnosti Espressif. Při tomto projektu byl využit procesor ESP32 v modulu ESP32-WROOM-32 na vývojové desce DOIT ESP32 DevKit V1. Tento mikrokontroler má v sobě zabudovaný dva 12bitové analogové digitální převodníky. V projektu byl použit pouze jeden.

IPS displej jsem vybral pro několik zásadních důvodů. Zejména jsou důležité jeho široké pozorovací úhly a dobrá viditelnost při denním světle. Velikost 240 na 280 pixelů je dostatečná na to, aby na displeji bylo možné rozpoznat detaily, a zároveň, aby nebyl moc veliký.

Ostatní součástky: DC/DC měnič (ICL7660ACPA), operační zesilovač (LM324N). Dále jsem použil: 4 tlačítka, 3 spínače, potenciometr, rezistorovou síť, 13 rezistorů, 7 kondenzátorů, proudovou vratnou pojistku, BNC konektor a svorkovnici

4 Původní návrh zapojení v aplikaci KiCad

Cele zapojení jsem nejprve navrhl v aplikaci KiCad. Před navržením schématu zapojení jsem musel vytvořit vlastní symbol pro vývojovou desku mikrokontroleru ESP32. Poté jsem navrhl schéma zapojení. Pro ovládání osciloskopu jsem použil čtyři tlačítka s *pull up* rezistory. K ovládání jasu displeje jsem přidal potenciometr a pro ochranu celého zařízení jsem na napájení vložil proudovou vratnou pojistku. Na frontend osciloskopu jsem přidal spínačem nastavitelný dělič napětí (1:10) a kondenzátor pro odebrání stejnosměrné složky vstupního signálu.



Obr. 2: Schéma zapojení v aplikaci KiCad

5 Software

ESP32 jsem programoval pomocí aplikace Arduino IDE v programovacím jazyce C++. Základ zdrojového kódu jsem použil z internetu a upravil ho pro mé použití.

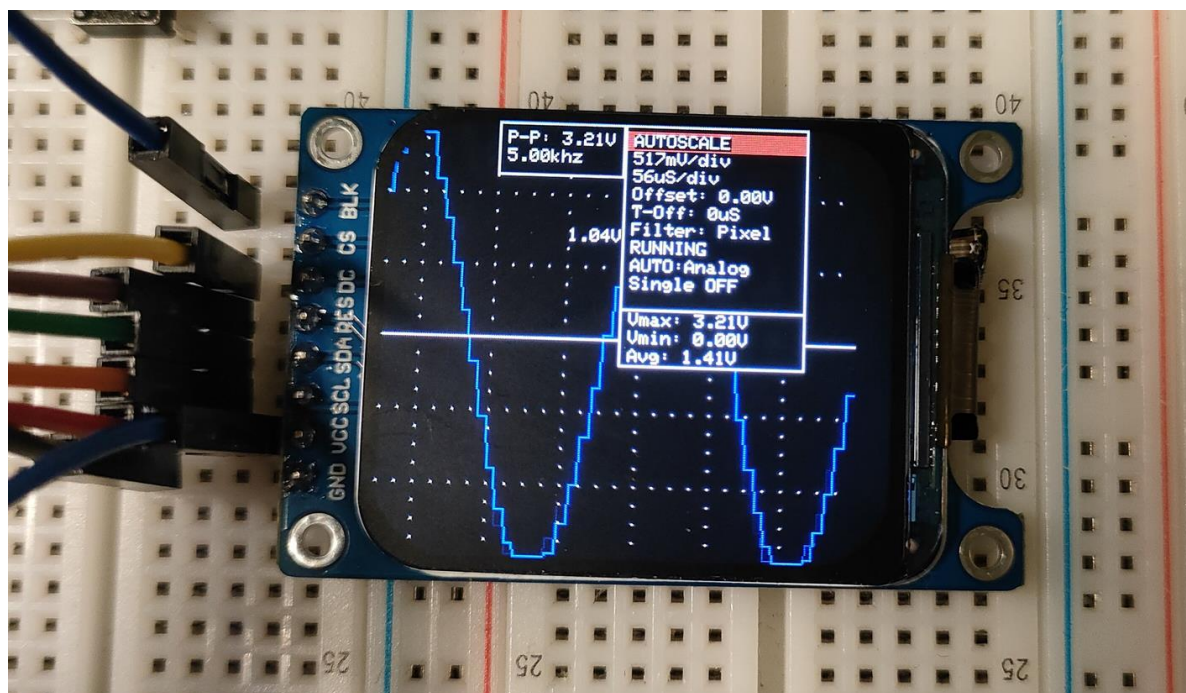
První věc, kterou jsem musel upravit, byla zastaralá funkce, která se v nových knihovnách už nenachází. Toto byl pro mě největší problém. Nebyl jsem schopen přijít na správné řešení. Při hledání inspirace na internetu jsem našel jednoho uživatele, který měl stejný problém a dokázal ho vyřešit. Jeho řešení jsem využil ve svém zdrojovém kódu.

Poté bylo potřeba upravit hlavní menu. Menu obsahovalo příliš mnoho funkcí a většina z nich ani nefungovala. Odebral jsem nepotřebné funkce a upravil velikost menu.

Další problém, na který jsem narazil, byl s knihovnou TFT_eSPI, díky které mi nešlo zprovoznit displej. Při zapojení displej vždy jenom zapnul své podsvícení, ale nic nezobrazoval. Chyba byla v nastavení knihovny, ve které jsem špatně přednastavil výstupní piny. Po této úpravě displej začal fungovat, ale na spodní straně displeje byl černý pruh, který nic nezobrazoval. Po úplné reinstalaci knihovny černý pruh zmizel a displej fungoval celý. Následovně jsem upravil výpočet frekvence, jelikož ukazoval dvojnásobné hodnoty vstupního signálu.

6 Zapojení na nepájivém poli

Jako první, než jsem začal zapojovat celé schéma, jsem vyzkoušel, zdali správně funguje displej a jestli jsou správně přiřazené barvy. Pro kontrolu jsem použil zdrojový kód, který byl předinstalován v ovladači pro displej.

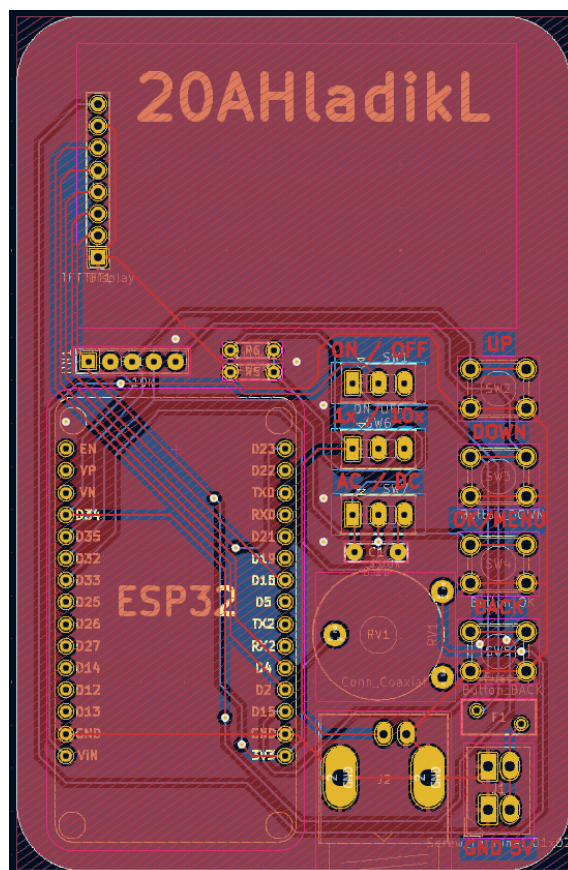


Obr. 3: Fungující osciloskop na nepájivém poli

7 Návrh tištěného spoje

Před návrhem tištěného spoje jsem musel vytvořit půdorys pro vývojovou desku ESP32. K návrhu půdorysu i tištěného spoje jsem použil aplikaci KiCad. Při navrhování jsem si musel dávat pozor, aby k tlačítkům byl jednoduchý přístup. Označil jsem všechna tlačítka a spínače pro jednoduché rozeznání při používání zařízení. Označil jsem i svorkovnici, aby při zapojování nedošlo k záměně polarity napájecích kabelů. Po spojení všech kontaktů jsem rohy navrženého tištěného spoje zaoblil, aby se zařízení příjemněji drželo v ruce. Pak už stačilo jenom celý zbytek prázdného místa na desce uzemnit.

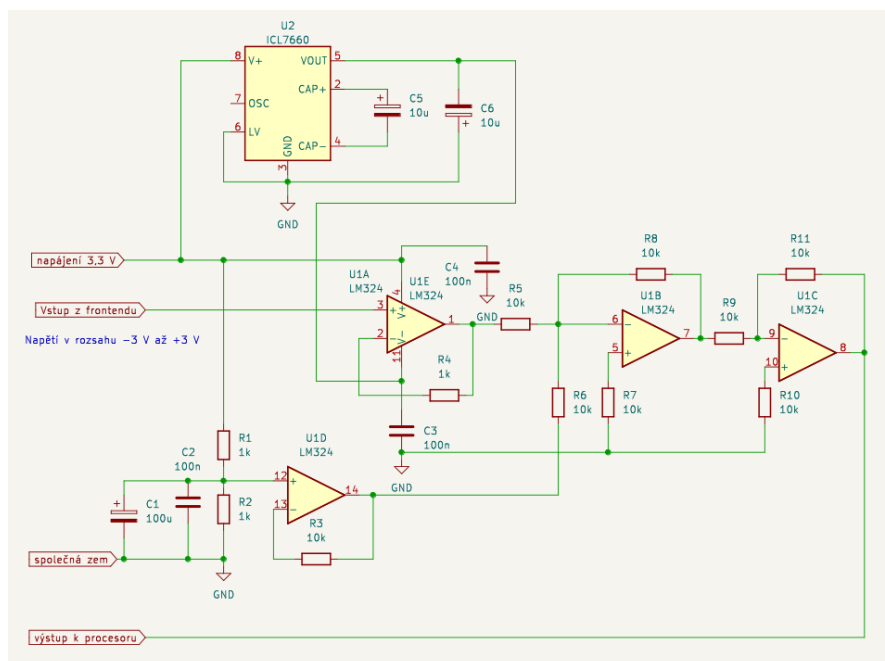
K odeslání navrženého spoje výrobci je potřeba v aplikaci vygenerovat gerber soubory. Gerber soubory jsou standard, který se používá pro výrobu desek plošných spojů. Obsahují informace o tištěném spoji: měděné vrstvy, pájecí masky, legendy, údaje o vrtání atd.



Obr. 4: Navržený tištěný spoj v aplikaci KiCad

8 Nedostatky navrženého schématu

Tento osciloskop měl jednu zásadní vadu, kterou jsem nebral v potaz, když jsem zařízení navrhoval. Analogově digitální převodník mikrokontroleru ESP32 umí rozeznat hodnoty napětí od 0 V do + 3,3 V. Záporné napětí však ADC nerozezná. Na tuto vadu jsem narazil až při předvádění mého absolventského projektu vedoucímu práce. Dovoz nového tištěného spoje by trval skoro měsíc, a proto jsem musel vymyslet jiné řešení. Po konzultaci s vedoucím práce jsem navrhl schéma čtyř operačních zesilovačů přidávající stejnosměrnou složku ke vstupnímu signálu o velikosti 1,5 V. Toto řešení ovlivnilo maximální vstupní napětí osciloskopu z 3,3 voltů na 2 volty. Po úpravě je rozsah vstupního napětí osciloskopu od -1,5 V do 0,5 V. Použitím napěťového děliče se maximální hodnota zvýší na -15 V a 5 V.



Obr. 5: Schéma zapojení pomocného zařízení v aplikaci KiCad

9 Specifikace osciloskopu

Typ osciloskopu	Digitální	
Počet kanálů	1	
Vzorkovací frekvence	83333 Hz	
Displej	IPS LCD 240*280 pixelů barevný	
Citlivost	0,8 mV	
Rozměry	11,6 x 6,4 x 2,5 cm	
Napájecí konektor	svorkovnice / micro USB	
Konektor pro signál	BNC 50 Ω samička	
Rozeznatelné vstupní napětí	Min. -15 V	Max. +5 V
Spotřeba podle jas displeje	Min. 95 mA	Max 130 mA
Jas displeje	Min. 102 cd/m ²	Max. 480 cd/m ²
Určení frekvence	Min. 20 Hz	Max. ~41,6 kHz

10 Závěr

Můj cíl jsem téměř splnil. Zařízení má však své nedostatky. Díky přidání zařízení pro záporné vlny signálu se rozsah osciloskopu značně snížil. Zařízení také není úplně přesné. Díky tomu osciloskop zkresluje signály s nízkou amplitudou. Software také není dokonalý. Pokud chcete při nastavování fázového posunu signálu změnit hodnotu na zápornou, místo záporného čísla se objeví číslo o velikosti 4 miliard. Osciloskop funguje i takto, takže to je spíš kosmetická vada. Zařízení by se dalo ještě v mnoha směrech rozšířit. Mohlo by se zavést ukládání naměřených signálů na paměťovou kartu, nebo přidat druhý kanál, aby se využily oba AD převodníky.