

# UniLabTool

## Koncept

**Universal Laboratory Tool** by měl být jednoduchý a universální nástroj do elektrotechnické laboratoře. Primárně by se měl použít k výuce praktické elektroniky, dále pak jako levná varianta stolních přístrojů. Jedná se především o softwarově definovaný **osciloskop**, **voltmetr** a **PWM generátor**, s doplňkovou funkcionalitou **logického analyzátoru**, **čítače** a **signálového generátoru**.

Hardware by si měl zvolit uživatel sám, firmware by tak měl být vytvořen pro více různých mikrokontrolerů. Jde hlavně o levné STM32 kity (Blue/Black Pill) a STM32 Nucleo kity. Podrobný popis je uveden v kapitole *Požadavky* v sekci *Firmware/Přehled kompatibilních MCU a jejich parametrů*. Cílem této práce má být primárně firmware a software, přizpůsobení napěťových úrovní si tedy uživatel zrealizuje sám dle návodu. Zařízení má komunikovat s PC jak pomocí USB, tak UART. Jelikož má hardware různé parametry, bude se i firmware lišit svými dostupnými funkcemi, popsáno to bude v uživatelské dokumentaci.

Software by měl být multiplatformní, cílený na platformy PC, Linux a macOS. Software by měl sloužit k intuitivnímu ovládání všech zmíněných komponent. Cílem je, aby výsledný produkt byl použitelný formou *Plug&Play* jak pro amatéry, tak profesionály. Vznikne přehledná uživatelská dokumentace v PDF, který bude integrována i do aplikace. Software by měl být vícejazyčný, minimálně dostupný v češtině a **angličtině**. Zdrojové kódy firmwaru i softwaru budou volně dostupné na serveru GitHub.com.

## Požadavky

- **Firmware**
  - Obecné vlastnosti
    - LED *blink patterns* (start systému, komunikace, chyby)
    - Velikost pod 32 KB
    - Distribuce ve formátech S19, HEX, BIN a ELF
    - Nahrání do MCU pomocí DFU (je třeba bootloader) nebo SWD
    - **Integrace s platformou mbed** u podporovaných kontrolérů
  - Přehled kompatibilních MCU a jejich parametrů

STM32	Kit	Pozn.	ADC /MSPs	Flash	RAM	DAC	USB	Boot	Cena
F042F6	<a href="#">Aliexpress kit</a>	TSSOP / kit	1x 12bit /1	32	6		kit	✓	\$8.7
F042K6	<a href="#">Nucleo-32</a>	STLink UART	1x 12bit /1	32	6		piny	✓	\$12.5
<b>F103C8</b>	<a href="#">Blue/Black Pill v1</a>	<b>R10 = 1.5 K</b>	<b>2x 12bit /1</b>	<b>64</b>	<b>20</b>	1x 12bit	✓		\$1.9
F303RE	<a href="#">Nucleo-64</a>	mbed	4x 12bit /5	512	80	2x 12bit	piny	✓	\$10.7
F401CC	<a href="#">Black Pill v2</a>		1x 12bit /2	256	64		✓	✓	\$2.0
F401RE	<a href="#">Nucleo-64</a>	mbed	1x 12bit /2	512	96		piny	✓	\$13.4
F407VE	<a href="#">Aliexpress kit</a>		3x 12bit /2	512	192	2x 12bit	✓	✓	\$6.8
F411CE	<a href="#">Black Pill v2</a>		1x 12bit /2	512	128		✓	✓	\$3.5
F412RB	<a href="#">Nucleo-64</a>		2x 12bit /5	128	40		piny	✓	\$15.3
F446RE	<a href="#">Nucleo-64</a>	mbed	3x 12bit /2	512	128	2x 12bit	piny	✓	\$19.2
L072CZ	<a href="#">Nucleo-64</a>	<b>LoRa</b>	<b>1x 12bit /1</b>	<b>192</b>	<b>20</b>	<b>2x 12bit</b>	✓		<b>\$46.5</b>
<b>L412RB</b>	<a href="#">Nucleo-64</a>		<b>2x 12bit /5</b>	<b>128</b>	<b>40</b>		<b>piny</b>	<b>✓</b>	<b>\$19.5</b>
<b>G031J6</b>	<a href="#">Discovery Kit</a>	DIL8	1x 12bit /2	32	8	1x 12bit	piny	✓	\$10.1

○ Komunikace

- UART – kity s dedikovaným USB pro ST-LINK (Nucelo)
- USB (CDC VCP) – kity s vyvedeným nativním USB 2.0 (Blue/Black Pill)
- Vždy bude mít prioritu UART, z důvodu kompatibility
- Bude použit textový ASCII protokol, inspirace z LEO nebo SCPI (PC *polling*)
- Minimální přenosová rychlost bude 115200 bps  $\approx$  12 KB/s

○ Komponenty

▪ Osciloskop

- Bude sloužit pouze ke sběru dat maximální rychlostí, která se budou dávkově posílat do dalšího kruhového bufferu v PC. Práce s daty (trigger, zoom...) se bude provádět na straně PC. Díky tomu se vyřeší problémy s kompatibilitou různých typů MCU a jejich periférií. Také díky tomu bude odezva na ovládání živější (115200 bps UART by bylo úzké hrdlo).
- Maximální vstupní impedance 7 k $\Omega$  (vstupní kapacitance 8-16 pF)
- Uložení dat pomocí DMA do kruhového bufferu
- Velikost bufferu bude dána dostupnou RAM dle typu MCU
- 4 signálové kanály (budou existovat  $\approx$  4 konfigurace v závislosti typu MCU)
  - 1x 12-bit / 1 Msps  $\Rightarrow$  4x 0.25 Msps
  - 1x 12-bit / 2 Msps  $\Rightarrow$  4x 0.5 Msps
  - 2x 12-bit / 1 Msps  $\Rightarrow$  2x 0.5 Msps + 2x 0.5 Msps
  - 4x 12-bit / 5 Msps  $\Rightarrow$  4x 5.0 msp
- Po startu (pravidelně) provést *selfcalibration* (ADCEx\_Calibration\_Start)
- Použít int. 1.2 V referenci včetně kalibrace  $V_x = \frac{3.3 \cdot VREF\_INT\_CAL \cdot ADC\_IN_x}{ADC\_IN_{17} \cdot 4095}$
- Implementovat volitelnou funkci *oversampling* (potlačení *aliasingu*)
- Pokusit se o řešení, kdy půjdou kanály (a tím i Msps) volit individuálně

▪ Voltmetr

- Minimální frekvence měření 100 Hz
- 4 měřicí kanály + měření napájecího napětí  $V_{dd}$
- $V_{dd}$  měřit pomocí vnitřní *bandgap* reference vzorcem  $V_{dd} = \frac{3.3 \cdot VREF\_INT\_CAL}{ADC\_IN_{17}}$
- Je třeba zvážit, jestli je nutné požadovat paralelní běh osciloskopu a voltmetru. Dále je třeba rozhodnout, jestli budou sdílet stejné vstupní příkazy. Pokud je vyžadován paralelní běh, je třeba zajistit adekvátní rozvržení kanálů ADC, aby osciloskop měl co nejvíce Msps, a zvolit tak konfigurace pro různé typy MCU. Pokud ne, zjednodušil by se celkový návrh.

▪ PWM generátor

- 1 kanál (pomocí časovače TIM<sub>x</sub> v režimu PWM)
- Nastavení frekvence a střídry
- Vyčtení reálných hodnot

▪ Signálový generátor

- 1 kanál (pomocí DAC pouze u vybraných modelů)
- Nastavení frekvence, amplitudy a průběhu (*sin*, *triangle*, *square*, *saw*, *noise*)
- Vyčtení reálných hodnot
- Použít algoritmus DDS

- Logický analyzátor
  - 4 kanály (GPIO)
  - Ukládání dat pomocí DMA do kruhového bufferu
  - Stejná filosofie jako u osciloskopu
  - Data budou místo 16bitových hodnot přenášet 8 bytech (8 hodnot)
- Čítač
  - 1 kanál (pomocí časovače TIM<sub>x</sub> v režimu *input capture*)

## • Software

### ○ Obecné vlastnosti

- PC GUI program ve frameworku Qt v jazyce C++
- Build pro Windows, Linux a macOS (x86, amd64)
- Přepínání jazyku (čeština, angličtina)
- Připojení bude realizováno pomocí COM portu
- Zvážit možnost implementovat *software upgrade* ze serveru
- Hlavní menu bude obsahovat výběr spuštění následujících komponent

### ○ Osciloskop

- Hlavní ovládání – přepínací
  - Run (kontinuální akvizice dat podmíněná nastavením spouštění)
  - Stop (akvizice vypnuta, k dispozici pouze aktuální data v bufferu)
  - Single (pouze jedno naplnění bufferu po splnění spouštěcí podmínky)
- Hlavní ovládání – otočné
  - Časová základna (s každou změnou se zobrazí jiný výsek bufferu)
  - Vertikální zesílení
  - Horizontální pozice
  - Vertikální pozice
- V grafu bude hlavní a sekundární mřížka, časovka a zesílení se bude nastavovat otočnými potenciometry v jednotkách *s/dílek*, resp. *V/dílek*
- Pro každý kanál bude možnost nastavit hodnotu odporového děliče na vstupu (simulace atenuátoru v analogovém *front-endu* reálného osciloskopu) – díky tomu bude možné vyčíst z grafu reálné hodnoty napětí
- Graf bude vždy na dvě poloviny rozdělovat vertikální čára (*pre-trigger* / *post-trigger*) a horizontální čára (prostředek měřeného napětového rozsahu).
- Nastavení spouštění (na řadách F0, L0 a F3 *zvážit analog watchdog*)
  - Úroveň
  - Typ hrany
    - Rising (náběžná)
    - Falling (sestupná)
  - Režimy
    - Auto (spuštění za krátký čas i pokud nebyla splněna podmínka)
    - Normal (spuštění pouze po splnění podmínky)
    - Off (spouštění vypnuto)
- Vyhazení křivek pomocí *sinc* interpolace  $\left(\frac{\sin(x)}{x}\right)$
- Možnost zobrazit kurzory s hodnotami a jejich rozdílem
- Možnost měřit různé hodnoty (*max*, *min*, RMS, *avg*, *V<sub>pp</sub>*)

- Zobrazovat velikost bufferu, počet právě zobrazených bodů a vzorkovací frekvenci
- Možnost ukládat data do souboru
- **FFT režim**
- Zvážit možnost nastavení vzorkovací frekvence pro **studijní účely**. Velikost bufferu bude neměnná, a to ideálně vždy co největší (např. pro funkci *Zoom Out* v režimu Stop)
- Voltmetr
  - 4 + 1 ( $V_{dd}$ ) číselné indikátory
  - Graf záznamu měřených hodnot
  - Rozdíly napětí (libovolná konfigurace)
  - Možnost zobrazit kurzory
  - Možnost zapnout průměrování
  - Možnost ukládat záznam do souboru
- PWM generátor
  - 2 pole pro nastavení frekvence a střídý
  - indikátory pro zobrazení reálných hodnot
- **Signálový generátor** (dostupný pouze pro vybrané modely)
  - 3 pole pro nastavení frekvence, amplitudy a typu průběhu
  - Indikátory s reálnými hodnotami.
  - Zvážit implementaci arbitrážního generátoru (nakreslení křivky, přenos do MCU)
- Logický analyzátor
  - Hlavní ovládání bude realizováno pouze pomocí tlačítek Start / Stop
  - Signál bude možné horizontálně posouvat a nastavovat časovou základnu
  - Nastavení spouštění (typ hrany, kanál)
  - Naměřená data budou automaticky konvertována na odpovídající hodnotu (*bin*, *hex*, *dec*), tato hodnota se bude zobrazovat nad signálem v horní oblasti grafu
  - Možnost zobrazit kurzory a měřené hodnoty
  - Ukládání a export dat v kompatibilním formátu (sigrok)
  - Zvážit implementaci knihovny sigrok pro dekodování dat
- **Čítač**
  - 2 číselné indikátory (frekvence, perioda)
  - Graf záznamu měřených hodnot
  - Možnost zapnout průměrování
  - Ukládat záznam do souboru
- Prohlížeč záznamů

## • Protokol

- Textový ASCII (odpověď s binárními daty bude umístěna mezi speciální ASCII znaky)
- PC *polling* – komunikaci zahajuje PC, zařízení na každou zprávu vždy ihned odpoví
- Budou se posílat pakety, pro každou komponentu max 1 paket. Každá komponenta odpoví na každý paket. Pakety budou zřetězeny do jedné zprávy pomocí speciálního znaku. Každý paket bude mít hlavičku a jasně definovanou strukturu příkazu i odpovědi.
- Inspirace protokolem LEO, SCPI, GPIB
- Zvážit přínosy implementace čistého SCPI nebo GPIB dle standardu nad vlastním návrhem