

# 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
F103C8	<a href="#">Blue/Black Pill v1</a>	R10 = 1.5 K	2x 12bit /1	64	20	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>	LoRa	1x 12bit /1	192	20	2x 12bit	✓		\$46.5
L412RB	<a href="#">Nucleo-64</a>		2x 12bit /5	128	40		piny	✓	\$19.5
G031J6	<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)
    - Ukládání 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 msps
    - 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 piny. 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 střídý
    - 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 přenášena po 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 vyčítat 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*,  $V_{pp}$ )

- 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