
Softwarově definované přístroje pro laboratorní výuku

Prezentace na SPŠE Ječná 7.6. 2023

Prezentující: doc. J. Fischer, katedra měření ČVUT – FEL, Praha

SDI – Náplň prezentace

- **SDI – Softwarově definované přístroje – podstata**
- **Historie a motivace vzniku SDI na katedře měření, ČVUT - FEL**
- **Osciloskop jako základní SDI**
- **Výkonný procesor a jeho periferie jako základ SDI**
- **SDI s mikrořadiči STM32F303, STM32F042, STM32G030**
- **SDI s Arduino UNO**
- **DataPlotter jako univerzální zobrazovač pro SDI**
- **SDI s Raspberry PI PICO**
- **Možnosti podpory zavedení a využití SDI na SPŠE Ječná**

Poznámka – v dokumentu jsou vloženy též snímky, které **nebudou v prezentaci komentovány**, ale **mají pomoci** případným zájemcům s využitím nabízených SDI

SDI – Softwarově definované přístroje – představení

Labor. výuka **mikroproc. techniky** na katedře měření ČVUT – FEL;
(laboratorní úlohy typu návrh a realizace mikropocesorem řízeného
číslicového voltmetru s dvousklonnou integrací)

Využití standardního **digitálního osciloskopu** v laboratoři na FEL

Jak ale – domácí práce, když to student **nestíhá ve škole a potřebuje řešit projekt i doma? Jak vytvořit levnou a dostupnou náhradu osciloskopu?**

Musíme vzorkovat **rychlostí 200 MS/s**, nebo může někdy stačit jen **2 MS/s, nebo 500 kS/s i méně ? Potřebujeme vždy záznam délky 1 MS** nebo může stačit i **jen 1 kS** nebo i méně?

Pokud vyhoví i **omezené parametry přístroje**, je řešením využití výkonného mikrořadiče – MCU s jádrem **ARM Cortex M** s doplněním **pouze příslušného SW** bez doplňkových elektrických obvodů.

Využití STM32F303RE pro realizaci SDI

První SDI na kat. měření ČVUT -FEL

LEO Little Embedded Oscilloscope s Nucleo STM32F303RE

Volba typu MCU – především z hlediska možnosti realizace osciloskopu.

STM32F303RE – více nezávislých **dostatečně rychlých ADC**

čtyři paralelně běžící 12 bitové ADC, až 4,8 MS/s

dva 12- bitové DAC pro generaci signálu – **SDI signálový generátor**

Dostatečně velká vnitřní paměť SRAM - 80 kB pro záznam

Periferie vhodné pro rychlé vnitřní přenosy dat s využitím DMA

(V **LEO** až. max. v **6-ti** různých kanálech **přenosy dat** mezi periferiemi a pamětí v rychlosti až **46 Mbyte / sekundu**)

LEO a všechny další prezentované SDI včetně SW jsou

k dispozici pro zájemce na stránkách embedded.fel.cvut.cz/SDI

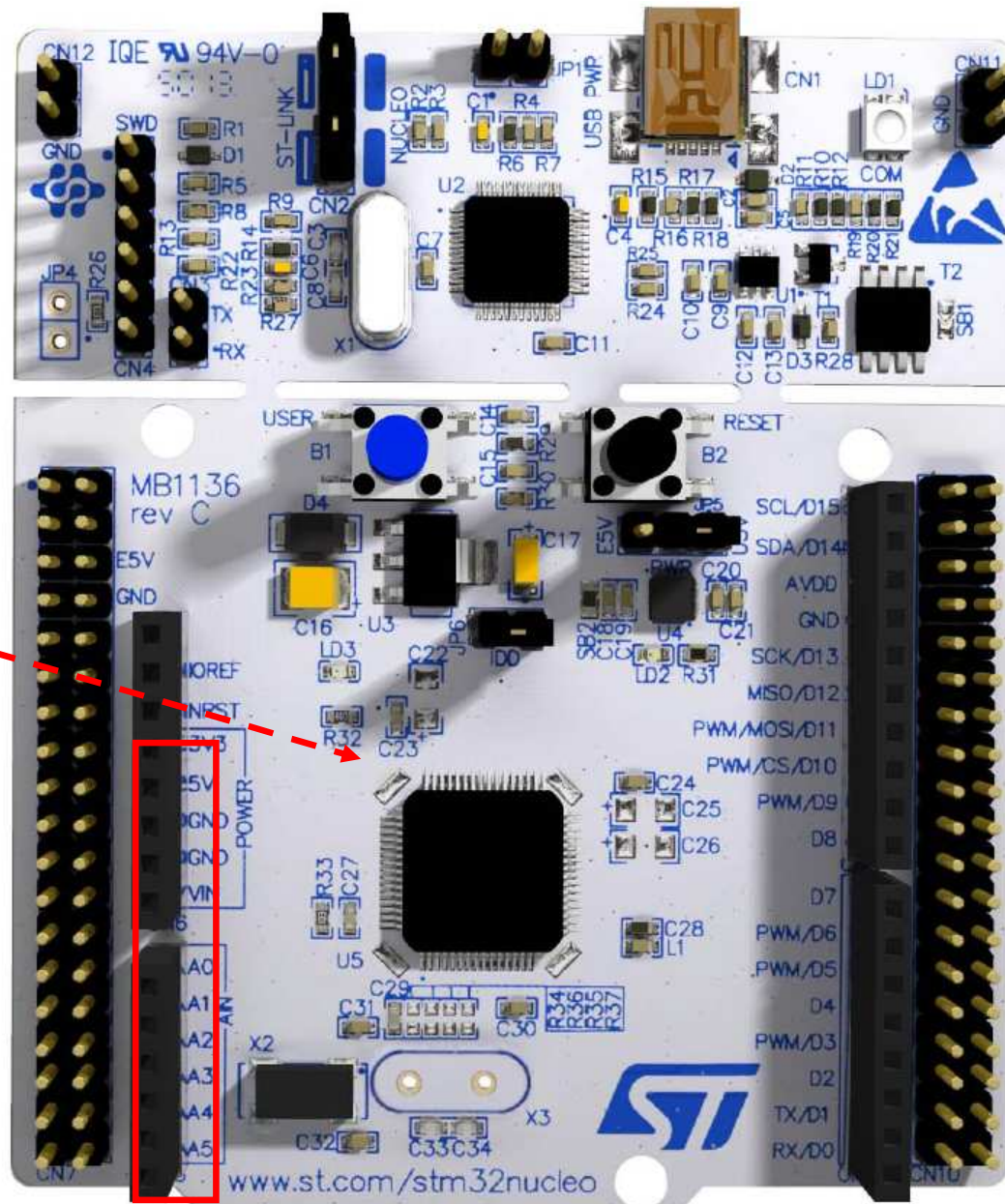
Kit Nucleo STM32F303 RE pro realizaci LEO

Modul Nucleo je určen pro „evaluační účely“, t.j. ověření funkcí vlastního procesoru, její určení

- seznámit se s STM32F303RE

Není plánována pro použití jako přístroj

MCU STM32F303RE



STM32F303RE

64 kB SRAM

16 kB CCM SRAM

4x ADC 12 bit

až 5 MS/s

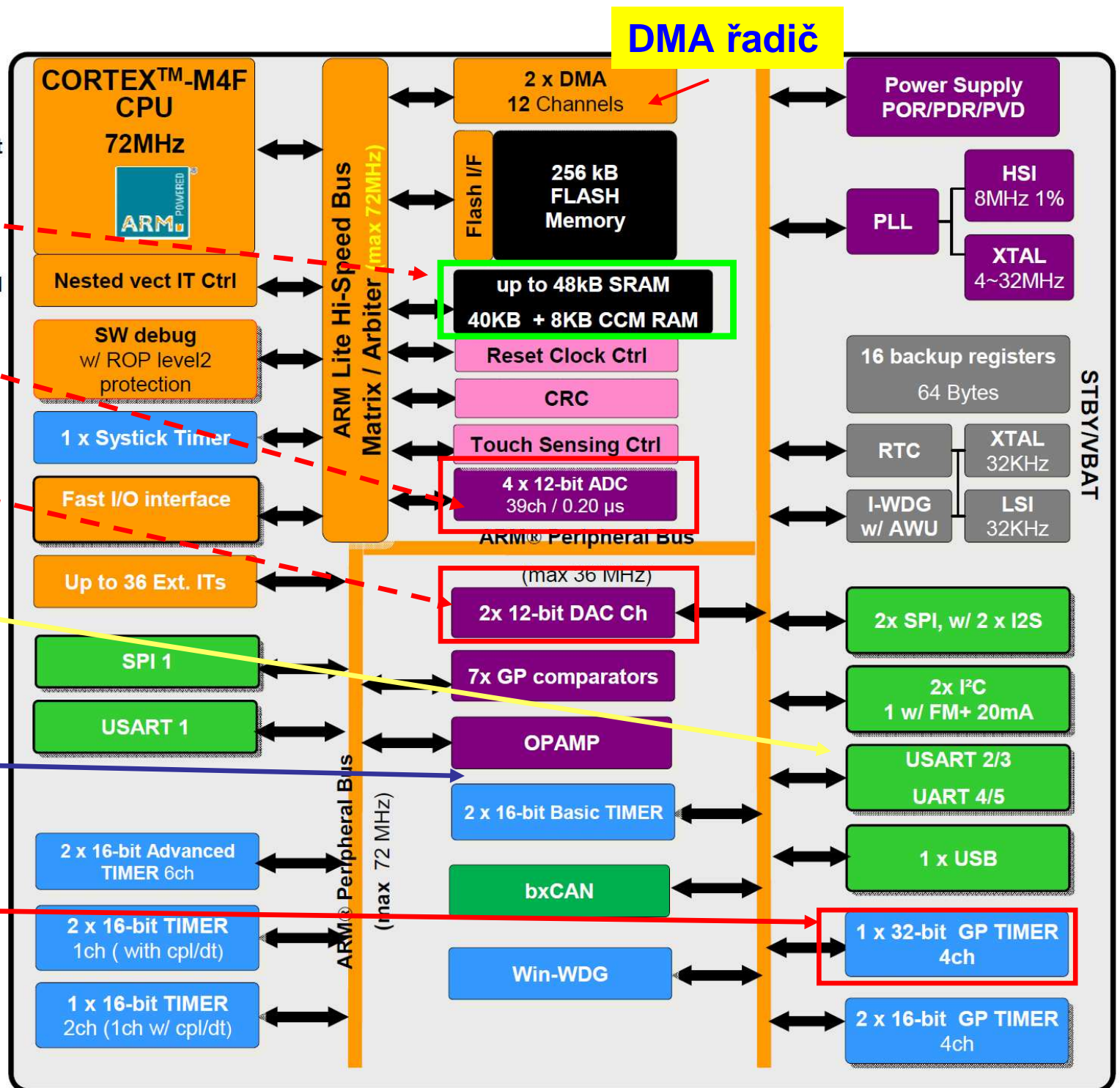
2 x DAC 12 bit

(1 MS/s)

USART2
komunikace

Buffer s oper.
zesilovači

Čítače



SDI osciloskop LEO – úvodní obrazovka

The screenshot displays the Instrulab software interface for an STM32F303-Nucleo board. The window title is "Instrulab - (COM81) STM32F303-Nucleo". The interface includes a menu bar (File, Settings, Help) and a "Device info" section. The main area is divided into two columns: "Digital to analog" and "Analog to Digital".

Annotations:

- parametry gener.:** Points to the "Digital to analog" section, which includes "Sampling frequency" (2 Msps), "Data depth" (12 bits), "Buffer lenght" (2k bytes), "Voltage ref." (3300 mV), and "Channels" (2).
- parametry oscil.:** Points to the "Analog to Digital" section, which includes "Sampling frequency" (4 Msps), "Buffer lenght" (50k bytes), "Voltage ref." (3300 mV), and "Channels" (2).
- Vstupní piny osc.:** Points to the "Scope pin" field, which lists "A5, A4, A3, PB14".
- Výstupy gener.:** Points to the "Generator pin" field, which lists "A2, D13".
- volba typu funkce:** Points to the "Generator" and "Oscilloscope" buttons.
- LEO - Autor Ing. Jiří Hladík:** Points to the footer text "CTU FEE 2016 - Jiří Hladík".

The interface also shows "General" information (Device: STM32F303RE, Core frequency: 72MHz, Connection: UART (115200 baud), RX-PA3 TX-PA2), "Firmware Version" (2.10b00, FreeRTOS V7.6.0, ST HAL V1.1.1), and a "Connected to COM81" status bar. A logo for "KATEDRA MĚŘENÍ ČVUT V PRAZE FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ" is visible on the right side.

Kit Nucleo STM32F303 RE

USB rozhraní
na STLink

debug. interface
ST Link
+ UART-USB

Možnost:

Ladění

Komunikace

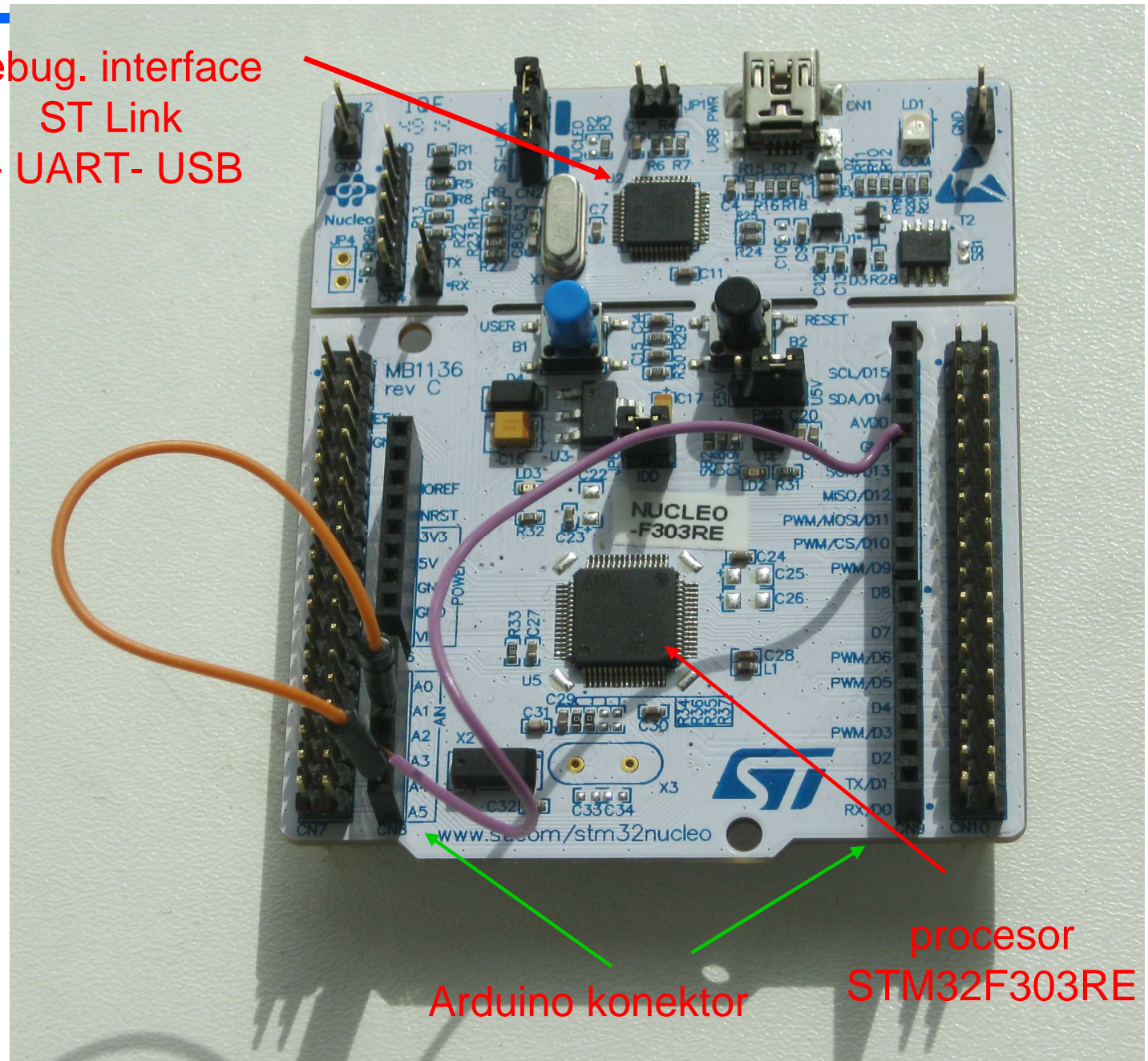
USB- UART

Výstup nap. + 5 V

Funkční zapojení

Již je možno

experimentovat



Arduino konektor

procesor
STM32F303RE

NUCLEO F303RE propojení pinů

Vnější dvouřadé konektory

„Morpho“ – header

CN7, CN10

Vnitřní konektory

„Arduino“ CN8, CN9

propojení Arduino

pinů s vedlejšími piny

„Morpho“ konektoru

Piny pro LEO

Arduino - Morpho

CH1 osc. A5 a 38

CH2 osc. A4 a 36

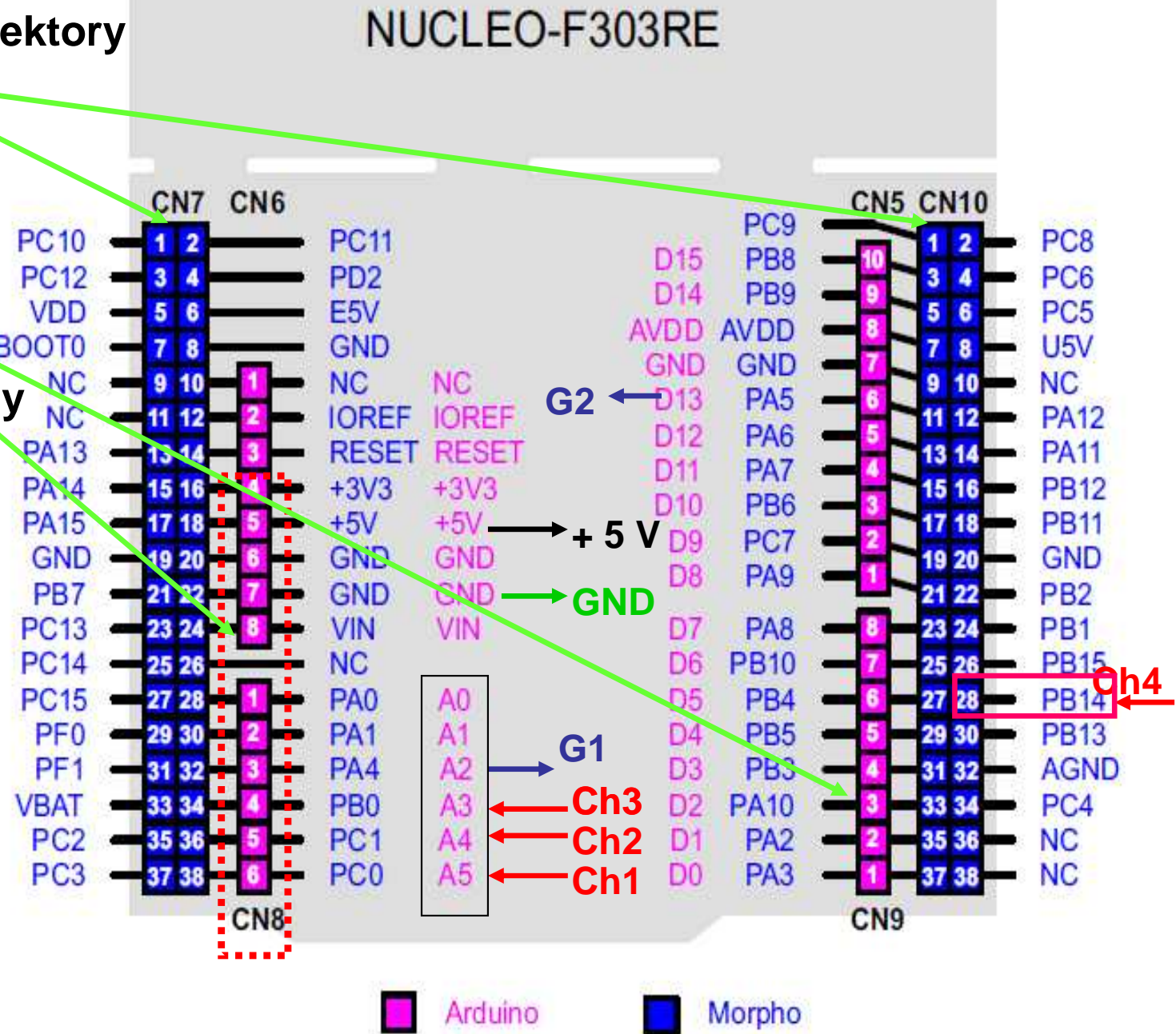
CH3 osc. A3 a 34

CH4 osc. *jen* 28

G1 gen. A2 a 32

G2 gen. D13 a 11

Softwarově definované přístroje pro

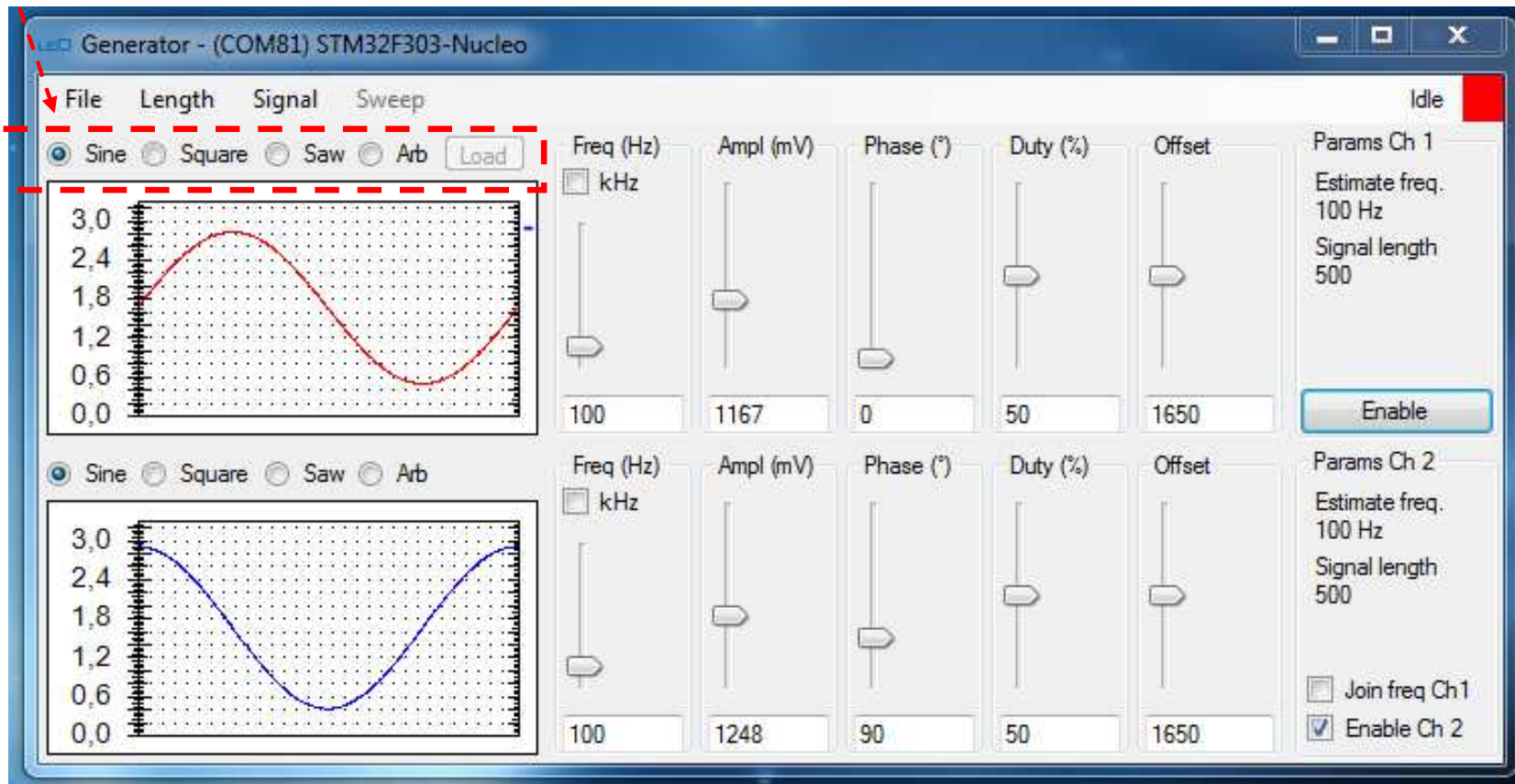


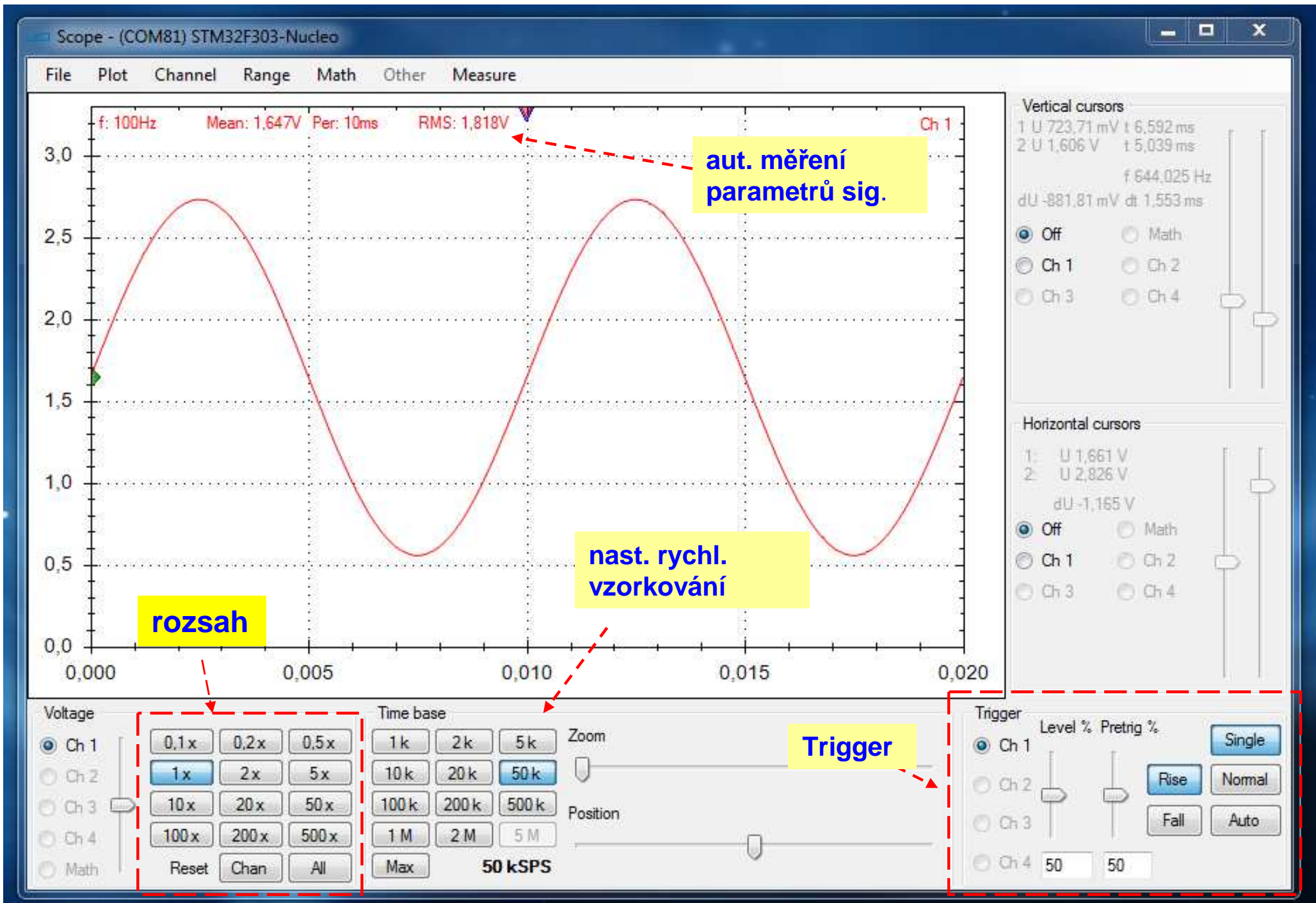
■ Arduino ■ Morpho

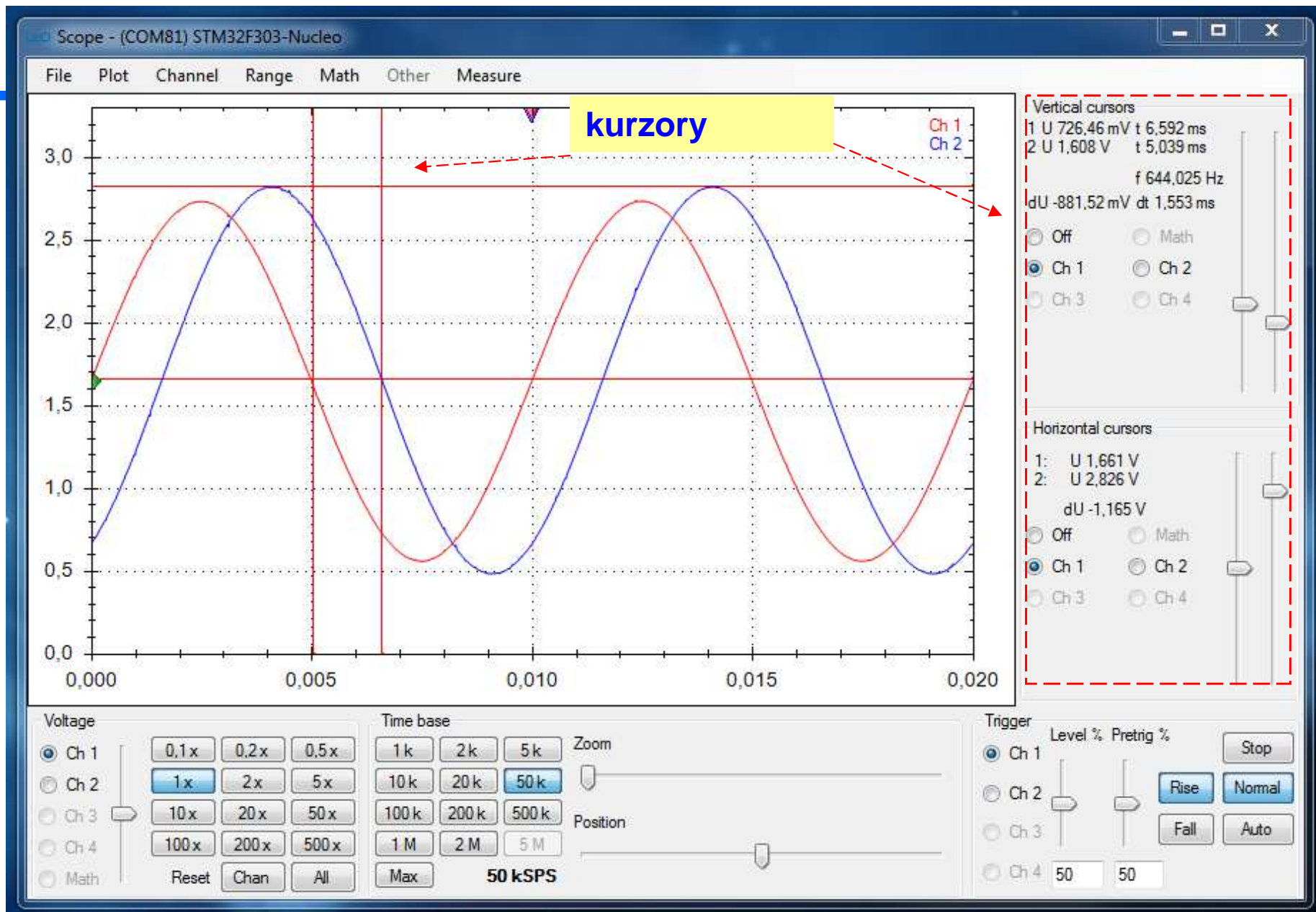
Obrazovka nastavení dvoukanálového generátoru

Funkční generátor- čistě **digitální řešení**, výpočet hodnot funkčních hodnot, naplnění paměti RAM

Periodická generace signálu pomocí DMA a DAC







Měření parametrů signálů pomocí kurzorů

Možnosti a funkce osciloskopu LEO

Rozlišení **12 nebo 8 bitů, 4 kanály**

Vzorkování 4 x 1 kS/s až 4x **4 MS/s**

Délka záznamu až **40 kS** (1 kanál / 8 bitů)

5 kS (4 kanály /12 bitů)

Trigger- **Level**, volby spouštěcí hrany, **Rise, Fall**,

ZOOM roztažení záznamu

Position – posun při prohlížení roztaženého záznamu

Režim spouštění záznamu - **trigger**

Single – ednorázový odměr, **Stop** zastavení spouštění

Normal – normální režim spouštění. čeká na spouštěcí událost

Auto Autotrigger , automatické spuštění, pokud nepřijde spouštěcí událost do čtyřnásobku doby normálního záznamu

Kurzory, aut. měření **parametrů signálu**, frek., perioda, ef. hodnota,...

Funkční generátor signálu v LEO – parametry

Plně digitální generace analogového signálu pomocí DAC

Signály: sinus, obdélník, trojúhelník, rampy, uživatelský signál

Nastavení **frekvence**, **amplitudy**, **ss posuvu** (offset),

Max. frekvence vzorků – **2 MS/s**

Rozlišení v amplitudě – **12 bitů**

Max. napětí cca **2,5 až 3 V** – podle zátěže

Max. **počet vzorků na periodu** jednokanálový režim.= **1x 1000 vzorků**,
pro dvoukanálový režim je **2 x 500 vzorků**

Minimální frekvence generovaného signálu **0,1Hz**

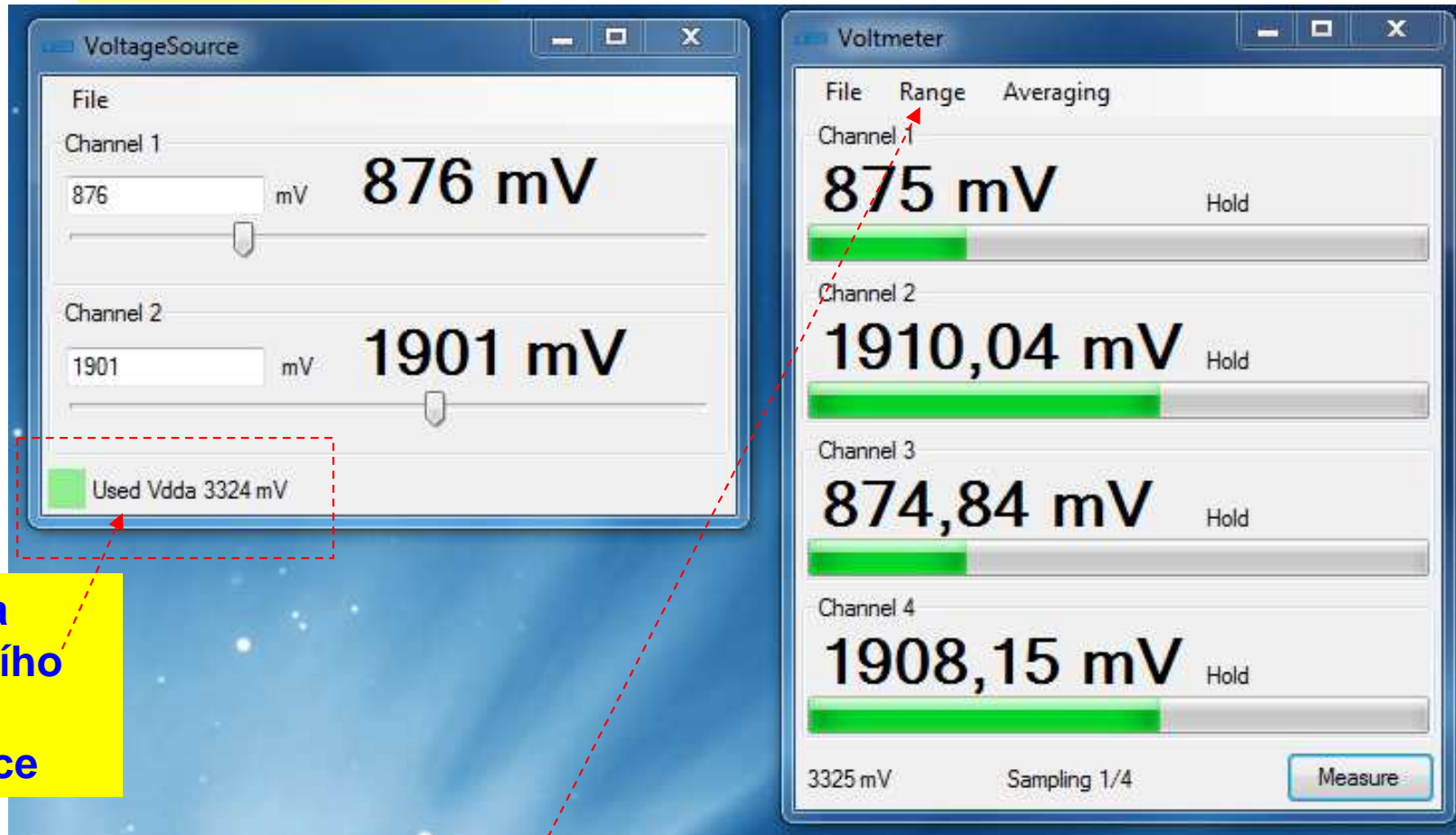
Maximální frekvence (20 vzorků na periodu) **100 kHz**

Možnost generace **libovolného signálu** dle souboru xxx.CSV

Nastavitelný zdroj napětí a voltmetr v LEO

2x zdroj napětí

4x voltmetr



kontrola
napájecího
napětí
+ korekce

Možnost nastavení měřítka voltmetru s ohledem na vnější odporový dělič

Omezení realizace přístrojů jako SDI

MCU – technologie CMOS

Vstupy ?? !! **Ochranné diody** na vstupech

Unipolární vstup

U_{imax} (- 0 V až U_{CC}) **!!!**

Při napájení U_{imax} do + 3,3 V

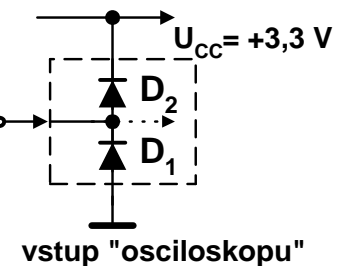
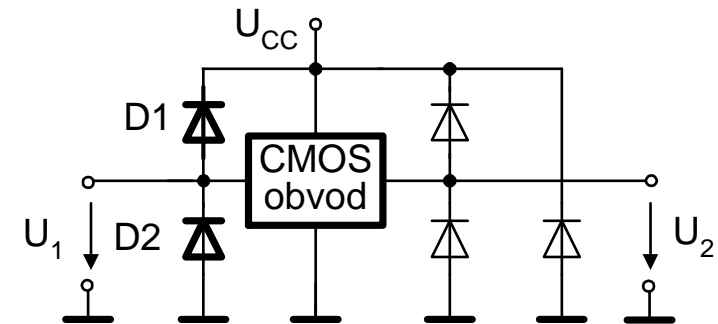
Pokud je obvod bez napájení, odpovídá to stavu **$U_{CC} = 0$**
a **nesmí se na vstup připojit zdroj napětí !!!**

řešení, použít vždy **ochranný rezistor** omezující proud
na hodnotu $< I_{njmax}$

I_{jnmax} -max. proud injektovaný do vstupu +/- 5 mA

Riziko SDI - poškození vstupů přepětím (+ 5 V), záporným napětím

Ochrana – použít **do série se vstupem** vždy **ochranný rezistor**, např.
2k2 pro **omezení proudu**, nebo doplňkový **analogový obvod pro posun napětí**



LEO s Nucleo F303RE – úprava pro střídavé signály

ADC unipolární vstup 0 až + 3,3 V, ale jak **bipolární (střídavý) signál** ?
posouvací obvod se třemi shodnými rezist. pro rozsah - 3,3 V, + 6,6 V
u Arduino s využitím $U_{DD} = + 5 V$ rozsah -5 V až + 10 V

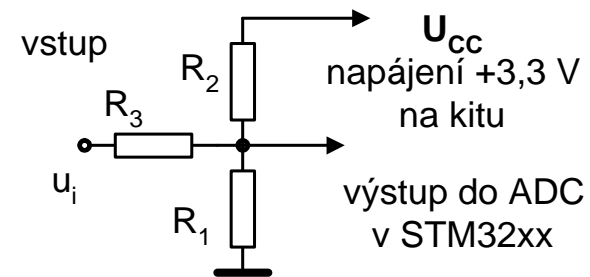
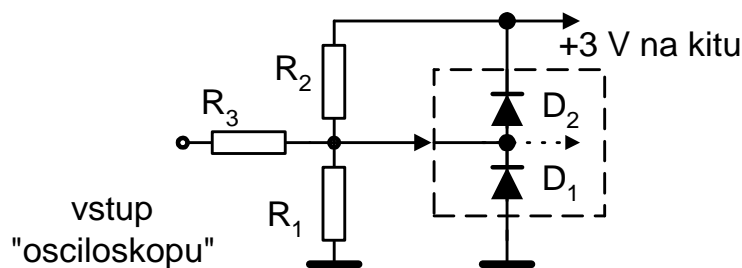
Rezistory mají též funkci ochrany

Volba velikosti odporů - **Malé odpory** - zátěž měřeného obvodu

Velké odpory – zhoršení dynamiky

Vnitřní odpor zdroje napětí s připojeným odporovým děliče (dle schématu níže) z hlediska vstupu ADC je **$R_V = 15 k\Omega$**

Z hlediska měřeného obvodu – se jeví jako zdroj napětí 1,65 V **$R_V = 15 k$** ;
pozor může ovlivnit měření v případě obvodu s nezanedbatelným vnitřním odporem; možnost použít rezist, 100 k



$$R_1 = R_2 = R_3 \text{ např. } 10 k\Omega$$

LEO s Nucleo F303RE – příprava použití

Na PC nainstalovat ovládač pro ST link (podle typu Windows)

Do Nucleo nakopírovat jako do paměti FLASH kód pro LEO

Nakopírovat a spustit aplikaci LEO; není třeba instalace

Využití **SDI LEO** na kat. měření

Před cca 10 lety náš první přístroj - **LEO - Osciloskop s generátorem**

Zatím **nejlépe ověřený** a hromadně používaný,

Osvědčil se i při **praktické distanční výuce v době pandemie**

Veškerý SW a návody k použití jsou k dispozici na

<https://embedded.fel.cvut.cz/SDI>

Student má v daném předmětu na celý semestr zapůjčen modul

Nucleo STM32F303RE (1 nebo 2 kusy- podle předmětu) , který využívá při domácí práci úlohách a samostatném projektu v předmětu

Pořízení - Nucleo STM32F303RE - Farnell cca 250 Kč bez DPH

Pro modul Nucleo STM32F303RE - realizace **i dalších SDI**

Omezení – funkce pouze **pod Windows**

Následovník LEO – přístroj VSVI (pro Nucleo F303RE) ,

s rozšířenými přístrojovými funkčními možnostmi,

funkce **pod Windows, Linux**

VSVI pro Nucleo STM32F303RE a STM32G431KB

VSVI Osciloskop, vzorkování až 15 MS/s (skládání vzorků ze 4 kanálů)

Firmware - autor Ing. Jozef Dujava

Funkce s PC aplikací **Data Plotter** - autor Bc. Jiří Maier

Pro Windows, Linux

Sofistikovaný SDI

Osciloskop

Impulsní generátor

Funkční generátor

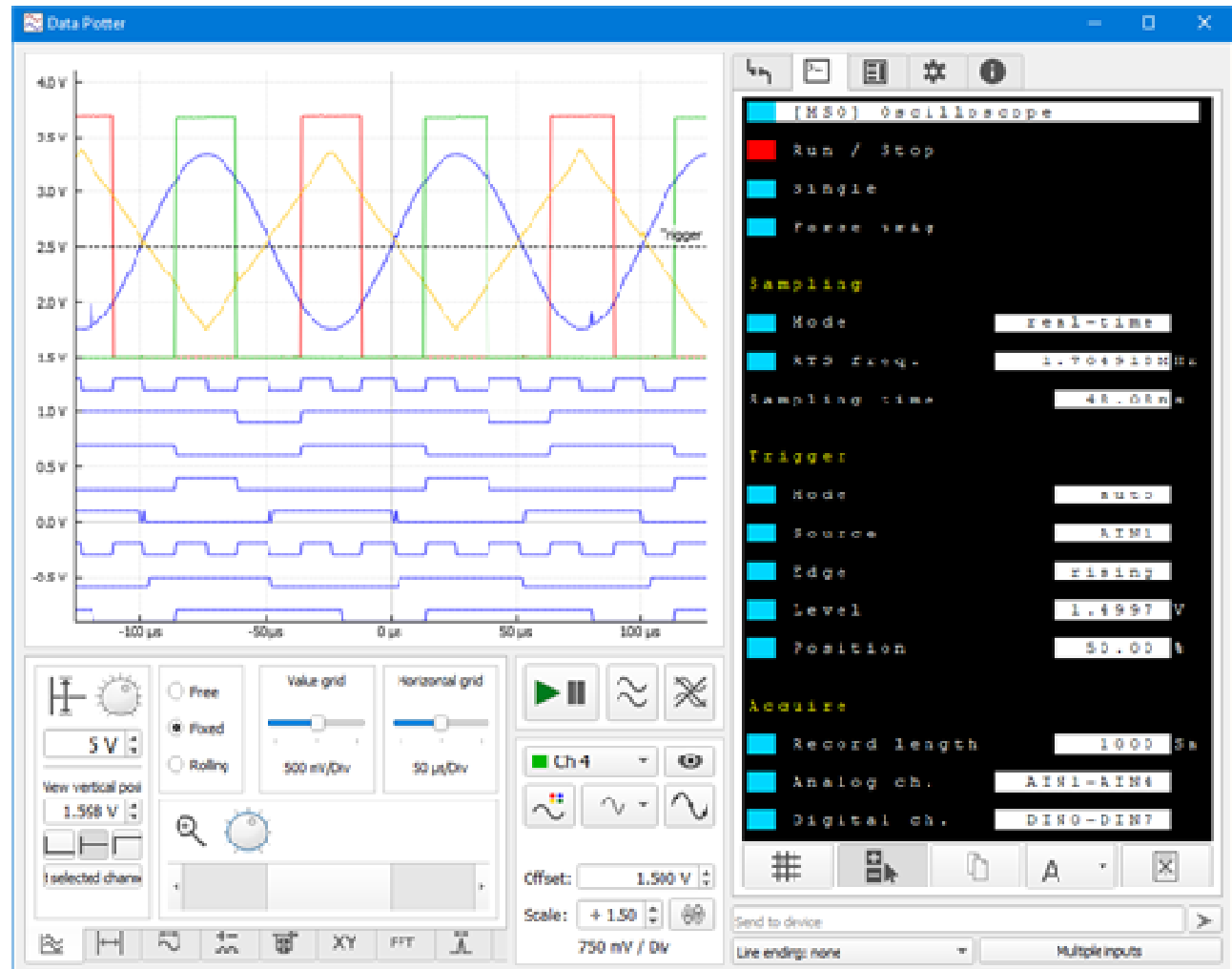
Arbit. generátor

Čítač

Logický analyzátor

Oscil. v ETS až 72 MS/s

(„Stroboskopické vzork.“)

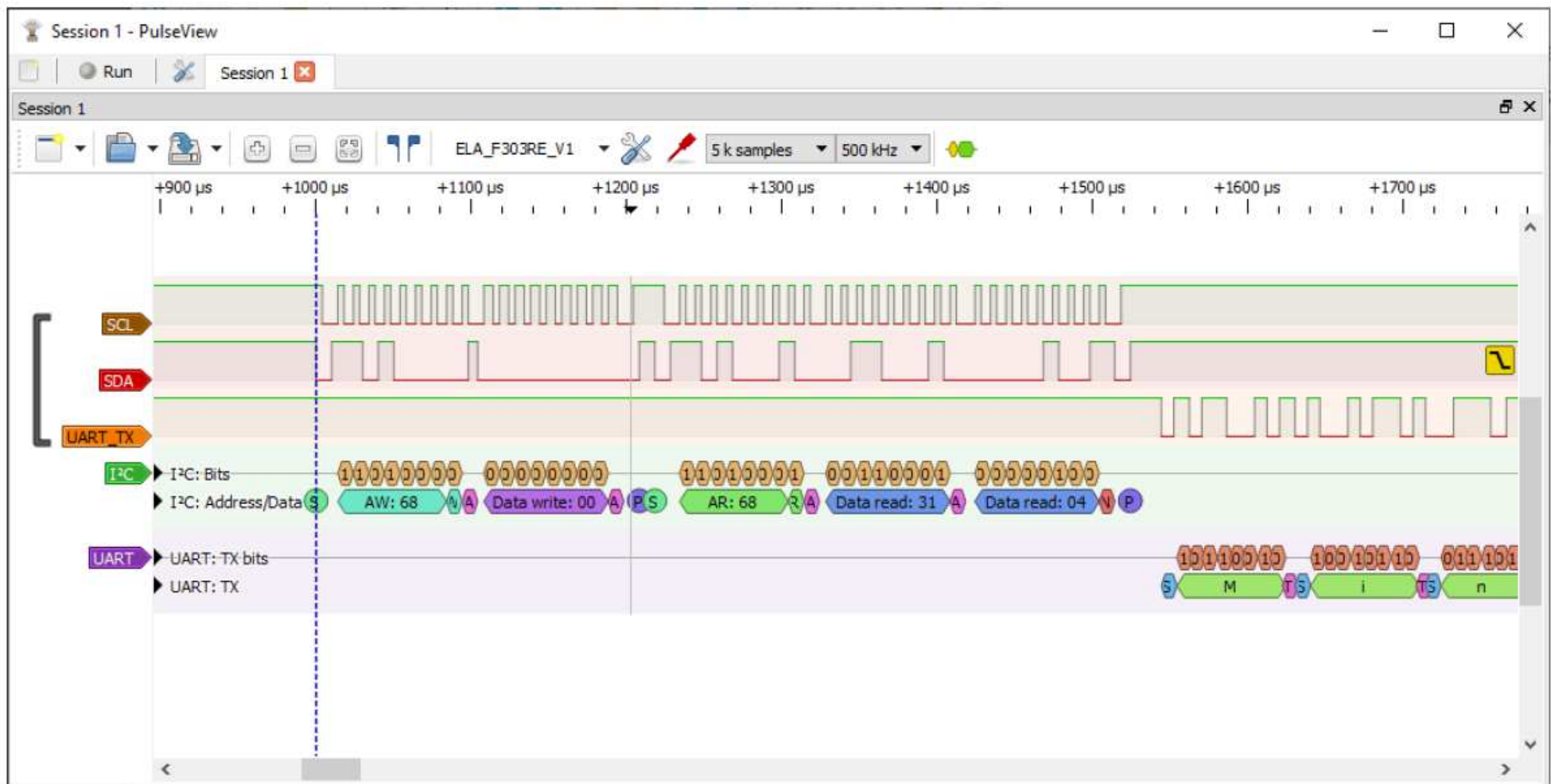


Logický analyzátor **ELA** s Nucleo STM32F303RE

ELA - Autor FW – Ing. Vít Vaněček

Vzorkování až 12 MS/s, 8 bitů, délka záznamu až 50 kS

Analýza protokolů na rozhraních SPI, IIC Bus, UART,...s využitím PC aplikace **Sigrok PulseView**



Další následný vývoj SDI na kat. měření

Vývoj aplikace PC s využitím – Framework QT
(aplikace možná pro Windows, Linux,..)

Orientace na **Nucleo STM32F303RE** ale i jen **samotné procesory**
zapájené **na adaptoru** nebo i moduly typu **Blue Pill STM32F103C8**

Orientace i **na levná řešení** s procesory s jádrem ARM Cortex M0
(STM32F042, STM32L072, **Raspberry PI PICO**, STM32G030,...)
Pro jednoduchost – **sestavení na nepájivém kontaktním poli.**

Nakonec (s výhradami....) řešení i pro **Arduino UNO**

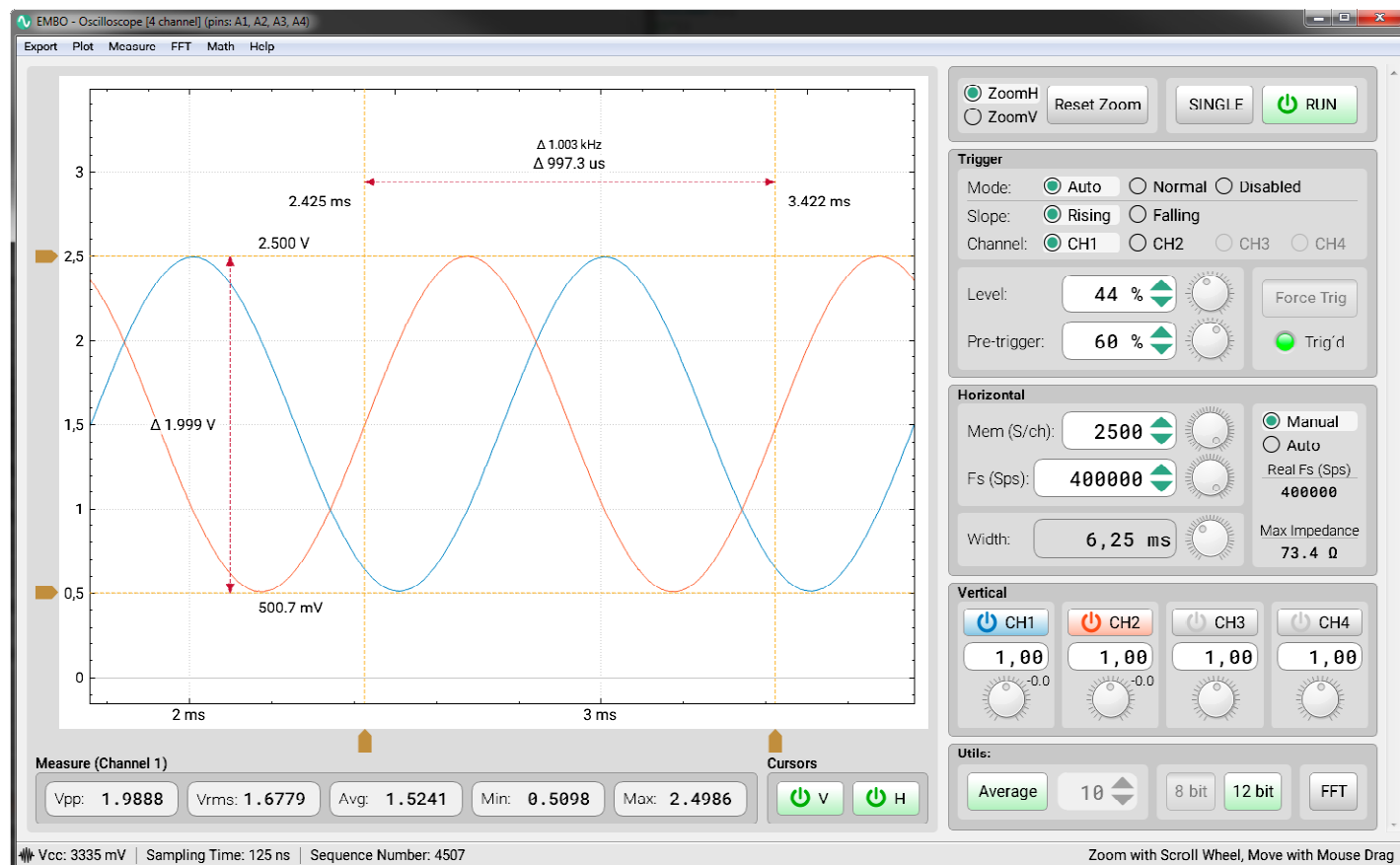
Platforma EMBO

EMBO - Embedded Oscilloscope , pod QT, Windows, Linux

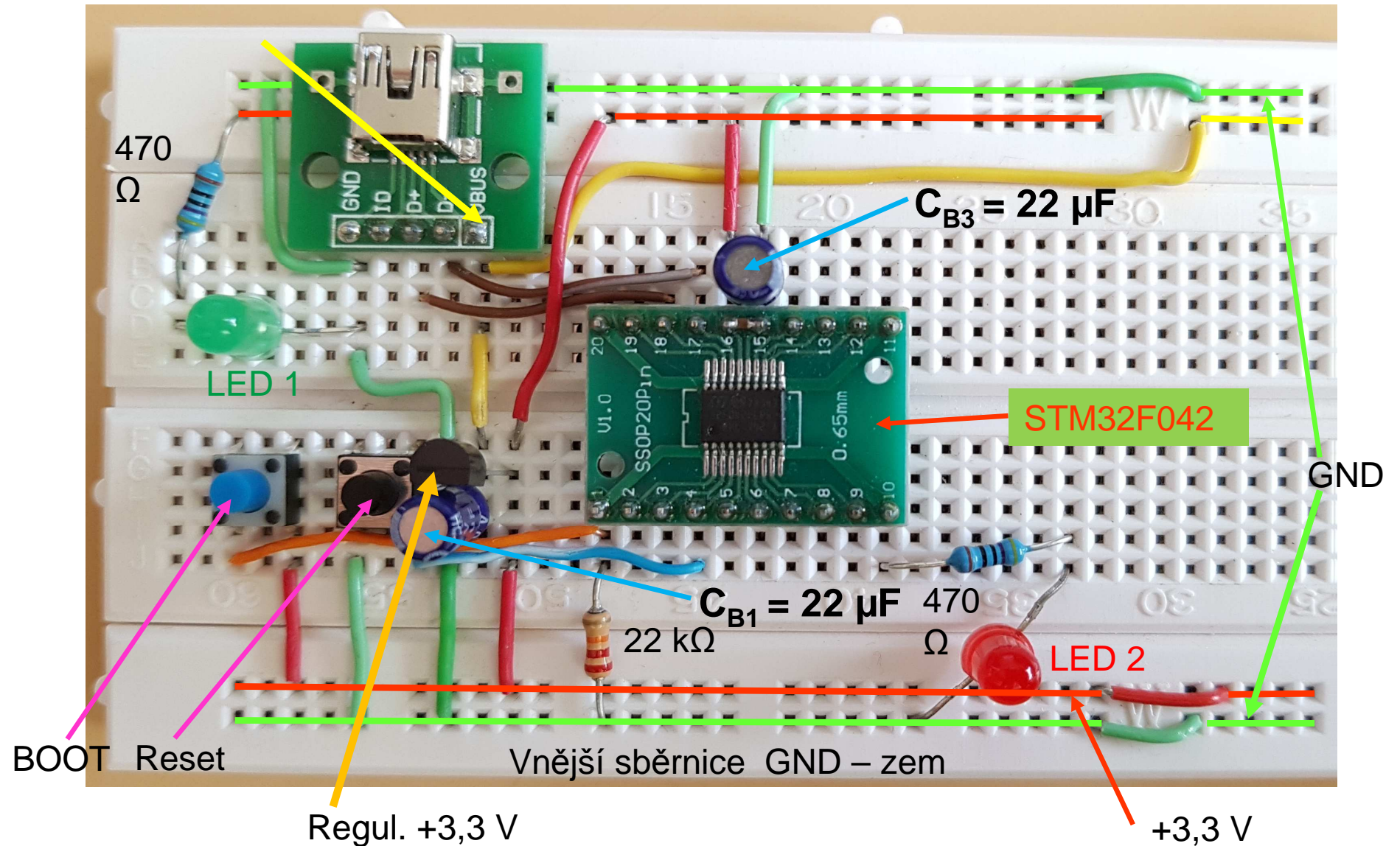
Autor: Ing. Jakub Pařez

Verze pro: **Blue Pill STM32F103C8** a Nucleo **STM32F303RE**

Osciloskop, PWM generátor, čítač, generátor



SDI s STM32F042F6 na nepájivém kontaktním poli



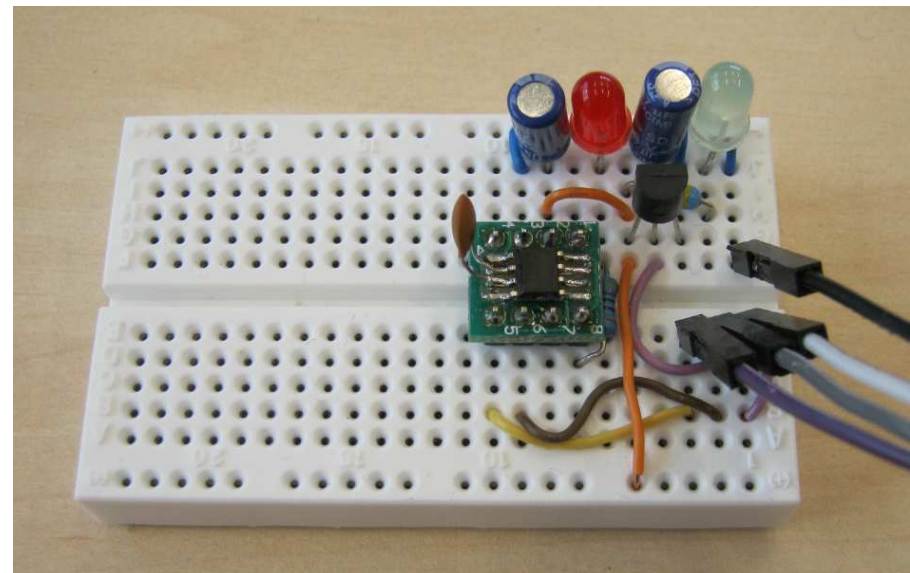
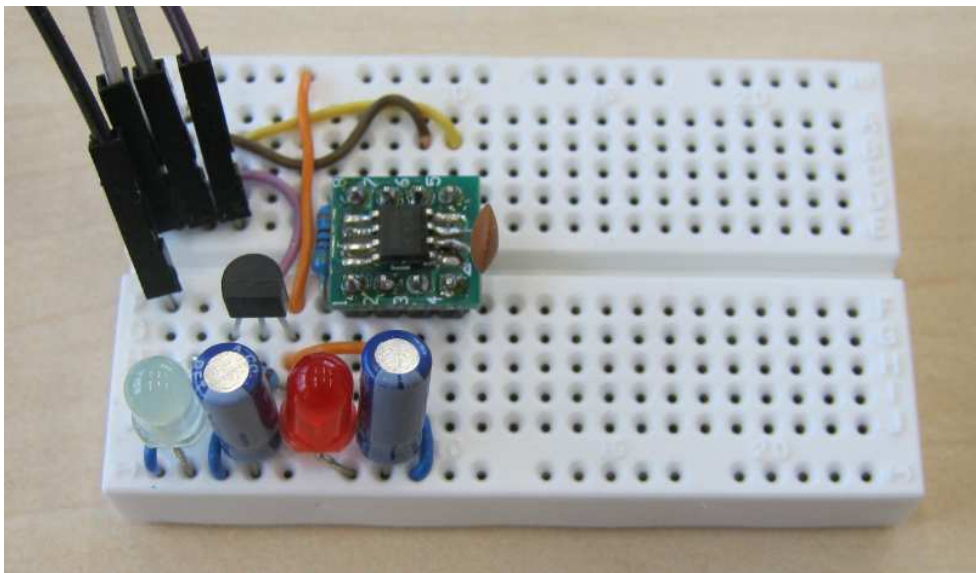
Nejednodušší osciloskop SDI s STM32G030

STM32G030J6M6, 32-bitový MCU, jádro ARM Cortex M0+

Osciloskop až **1x 2 MS/s** (3x 666 kS/s), rozl. 12 bitů, generátor PWM, voltmetr, ... Připojení k PC přes externí převodník **UART/USB**

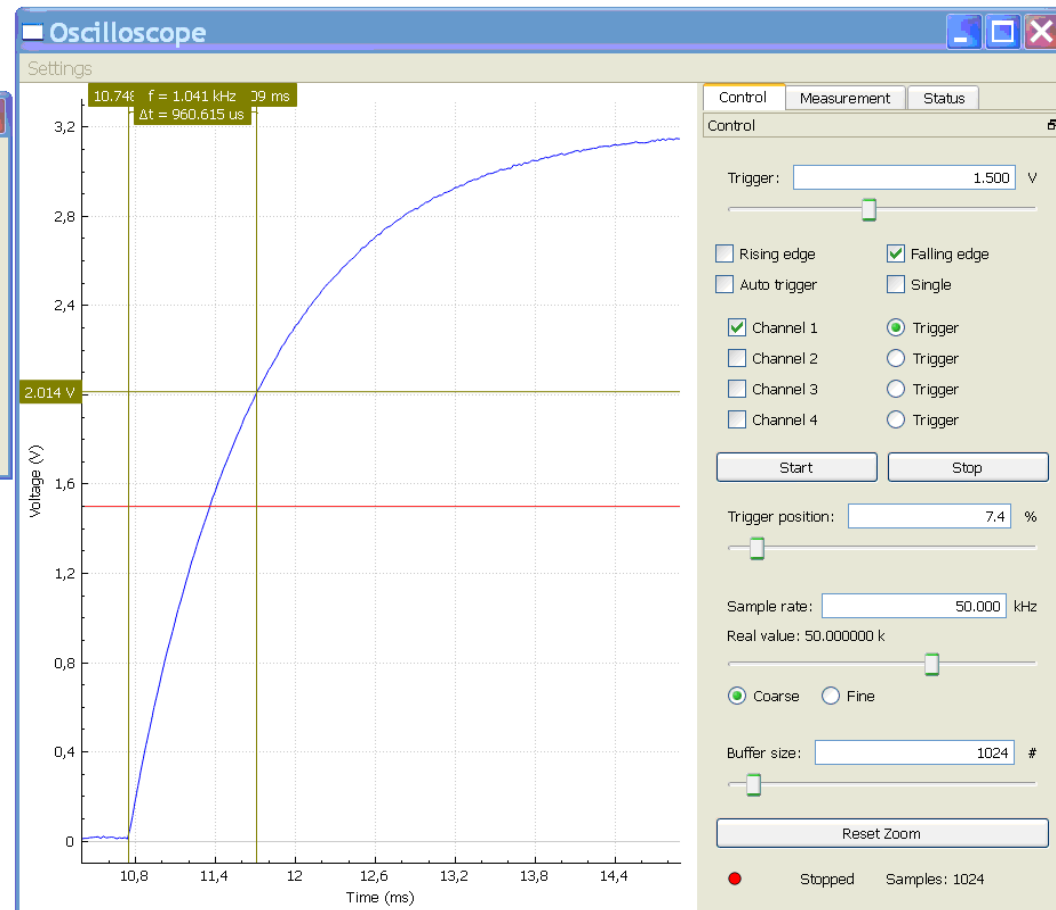
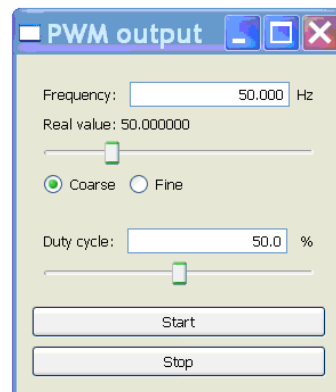
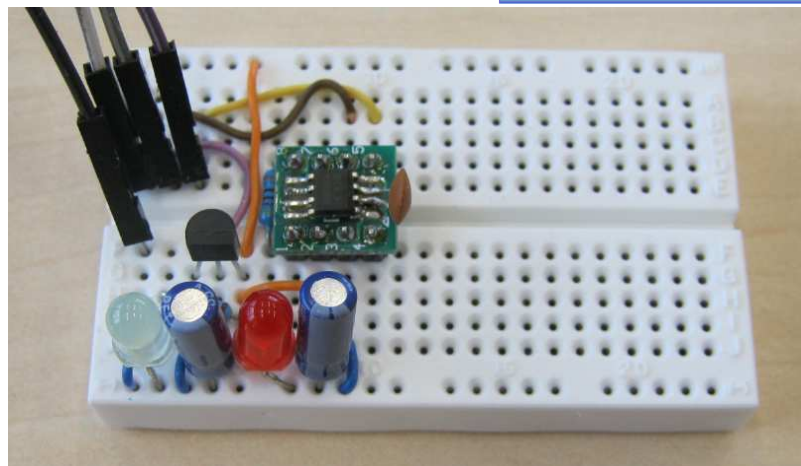
Firmware a PC aplikace **Zero eLab Viewer**, **Ing. Addam Berlinger**,

Modul G030 Lab - označení funkční sestavy s **STM32G030J6M6** - níže



Záznam SDI Osciloskopu s STM32G030

PC aplikace **Zero eLabViewer** pro STM32F042, STM32G030, STM32G431, Blue PILL STM32F103



Záznam přechodového děje článku RC, 10 k, 100 nF

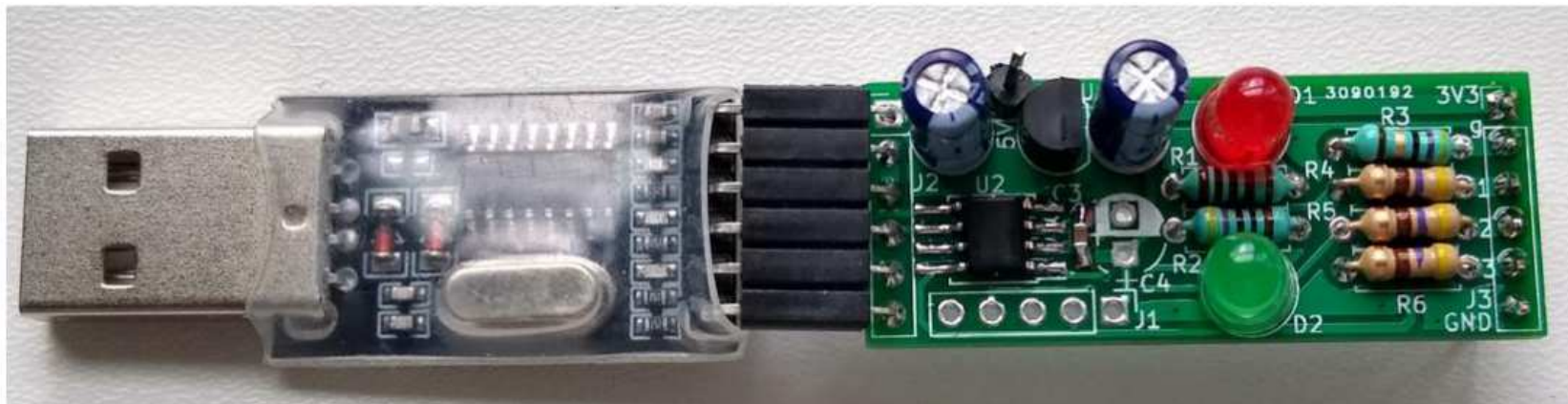
SDI s STM32G030J6M6 – studentská varianta

Varianta TH – s dírami pro osazení studenty v ETC22 klubu

autor [Dr. V. Petrucha](#),

[V případě zájmu – výrobní podklady k dispozici pro SPŠE Ječná](#)

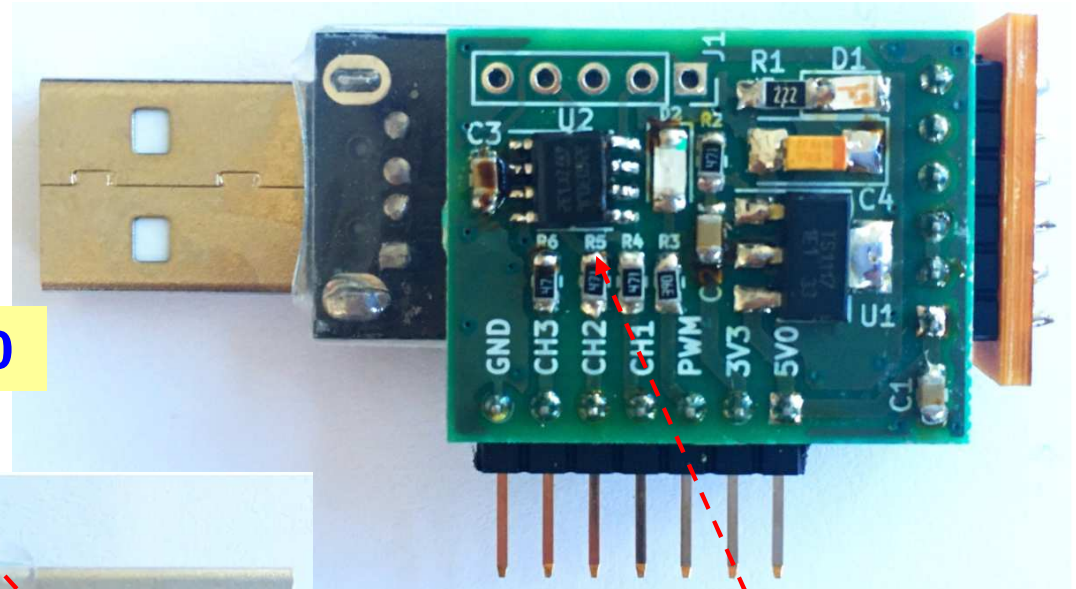
Cíl – naučit se pájet a sestavit si přístroj



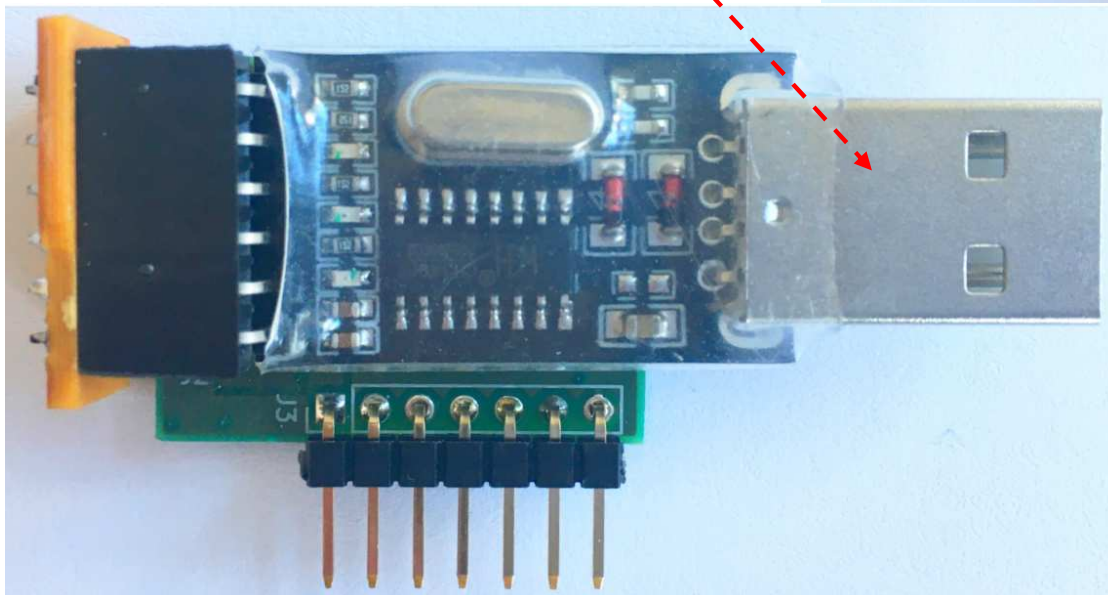
Realizace SDI s STM32G030J6M6

Realizace na desce pro použití s nepájivým kontaktním pole
autor [Ing. Ondřej Fidra](#)

převodník UART/ USB s CH340

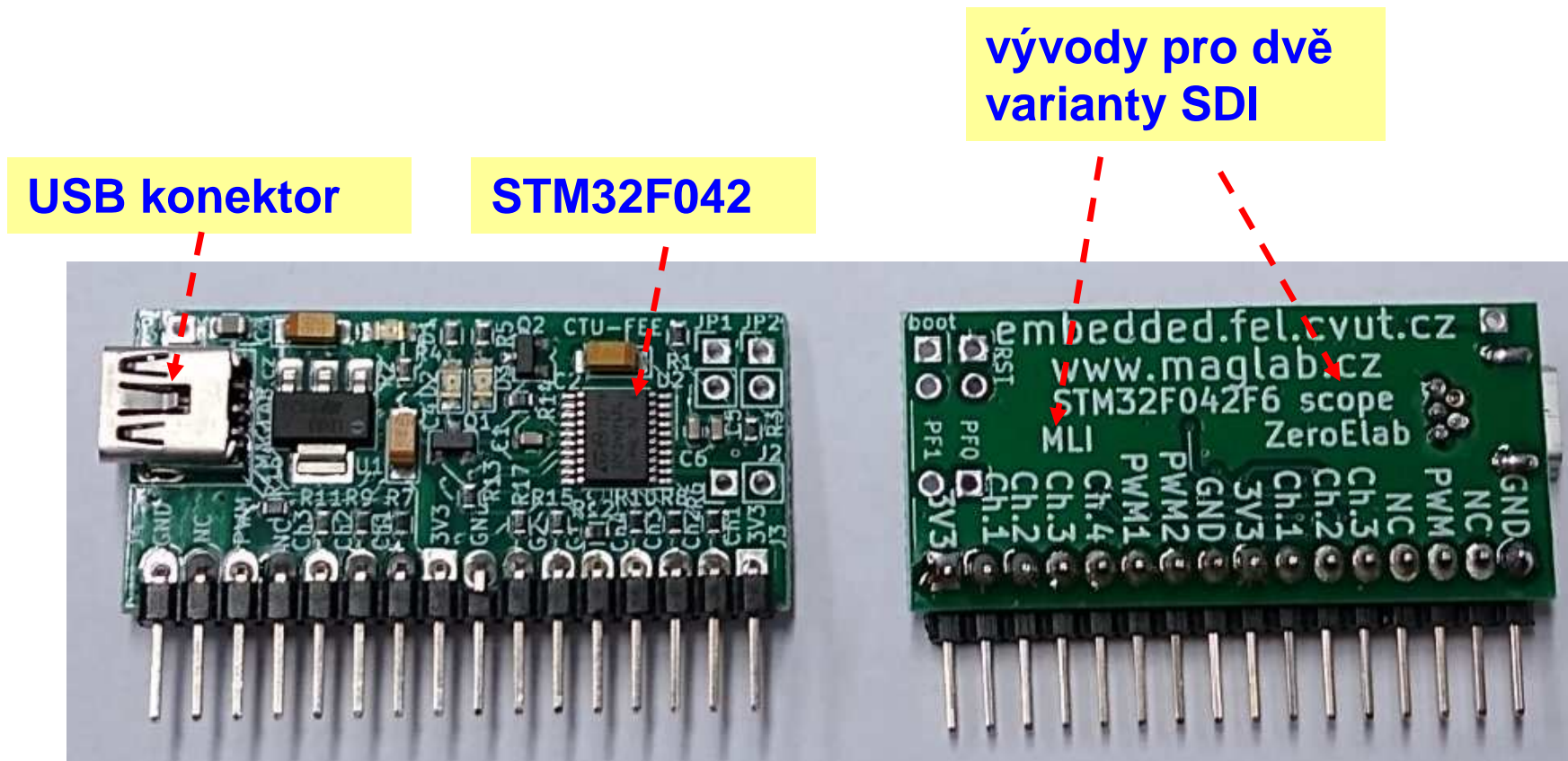


deska s
STM32G030



Varianta SDI s STM32F042 na desce

Pro standardní výuku- vytvořeny i SDI – přístroje osciloskop, voltmetr, impulsní generátor na desce plošného spoje, Návrh **Dr. V. Petrucha**, zakázková výroba 100 ks - Čína



SDI s STM32F042, STM32G030 při hromadné výuce

Celá skupina může řešit **stejnou** laboratorní úlohu

Výuka v poč. učebně: KPE - kurz praktické elektroniky
ETC22 klub pro gymnazisty

Řešení s STM32F042 používáno více než 6 let, více než 500 realizací



úloha - měření rychlosti pohybu

Arduino UNO – možnost použití jako SDI

Mnoho uživatelů Arduina, po řadě výkonných SDI jsme v r. 2021 vyvinuli nejméně výkonný **SDI s Arduino UNO**.

Pro řadu **fyzikálních experimentů** může **postačovat**, „**ukázat princip**“

Přístrojové funkce: voltmetr, záznamník (waveform recorder), impulsní generátor, osciloskop

Využívá stejnou PC aplikaci

Zero eLab Viewer, z čehož

vyplývají některá omezení.

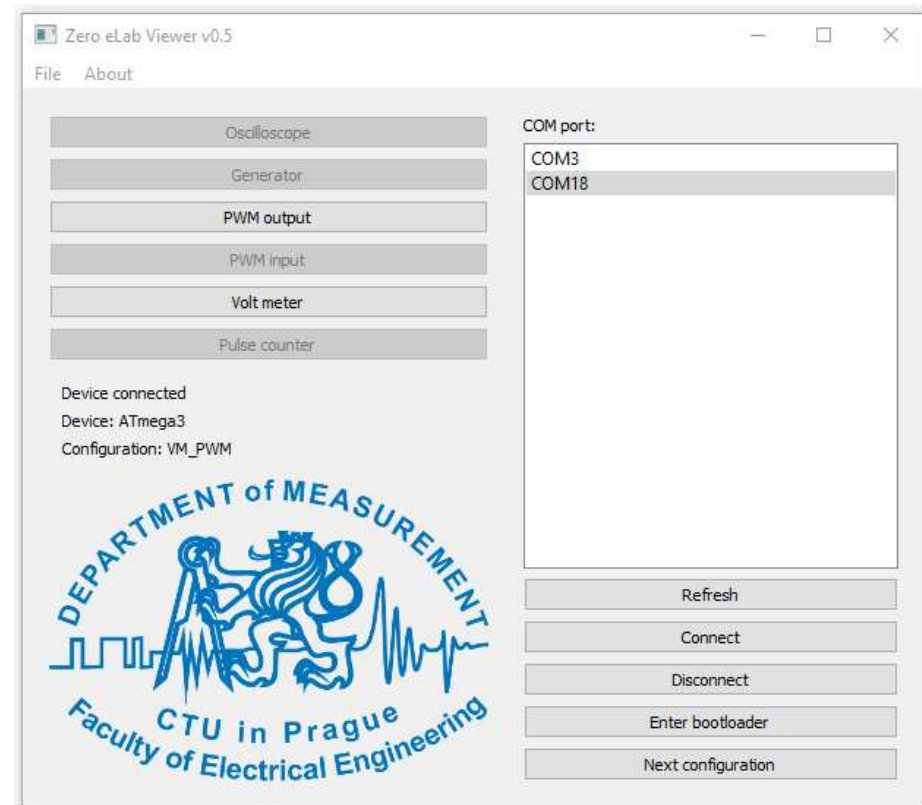
k dispozici

<https://embedded.fel.cvut.cz/SDI>

autoři

firmware: **Bc. Stanislav Novák**

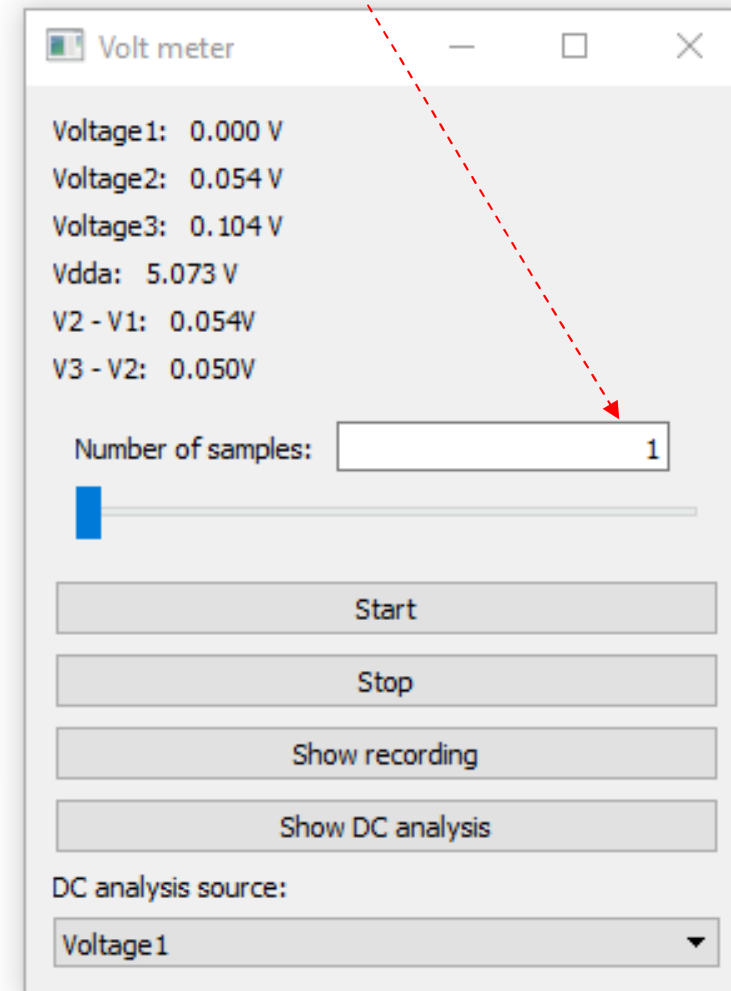
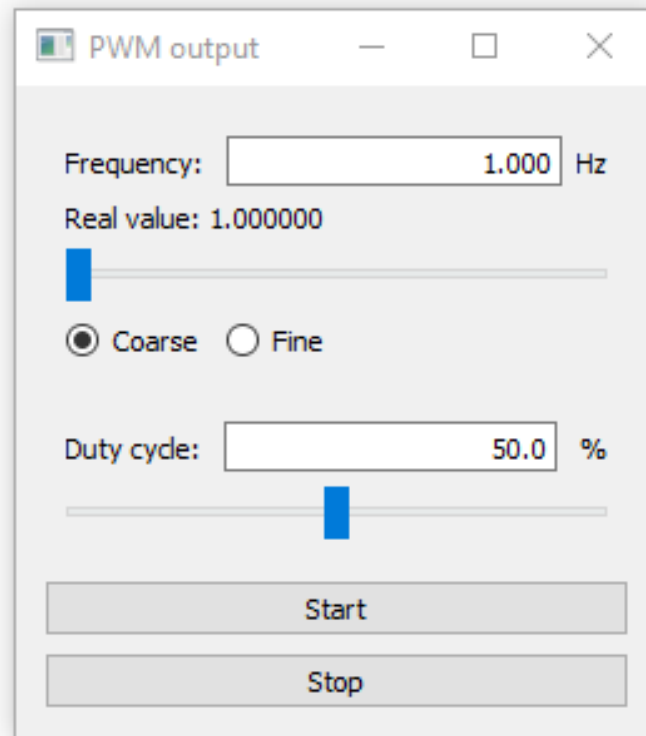
PC aplik. **Ing. Adam Berlinger**



Arduino – voltmetr, záznamník + impulsní generátor

Impulsní generátor PWM + tříkanálový voltmetr

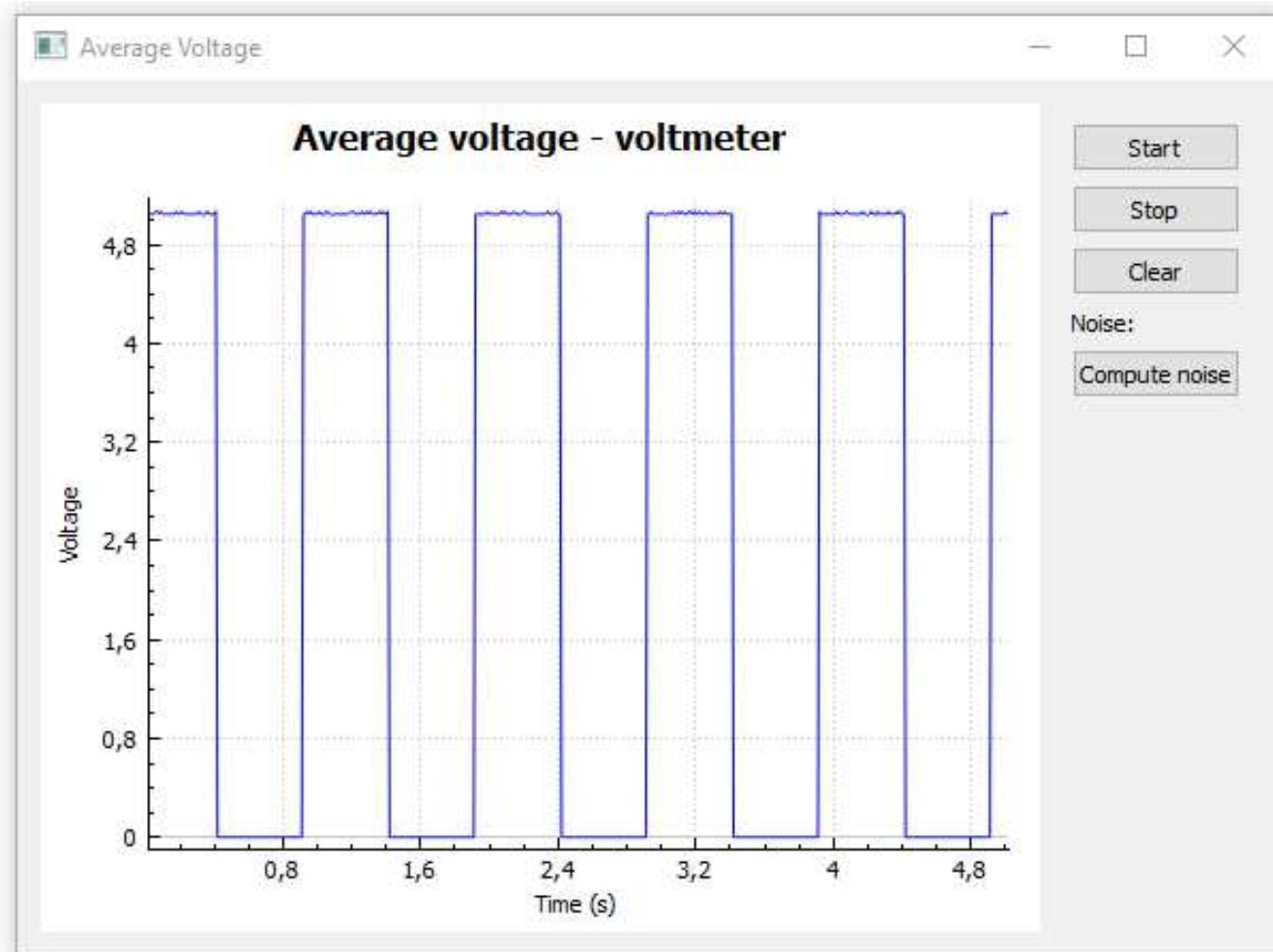
Vzorkování **frekvencí 100 Hz**, možnost **průměrování** pro snížení šumů



Arduino – záznamník

Pro záznam signálu z fyzikálního experimentu (např. signál optické závory u kyvadla, záznam změny teploty, změna osvětlení,...)

Grafické znázornění dat z voltmetru...“ *Recording*“

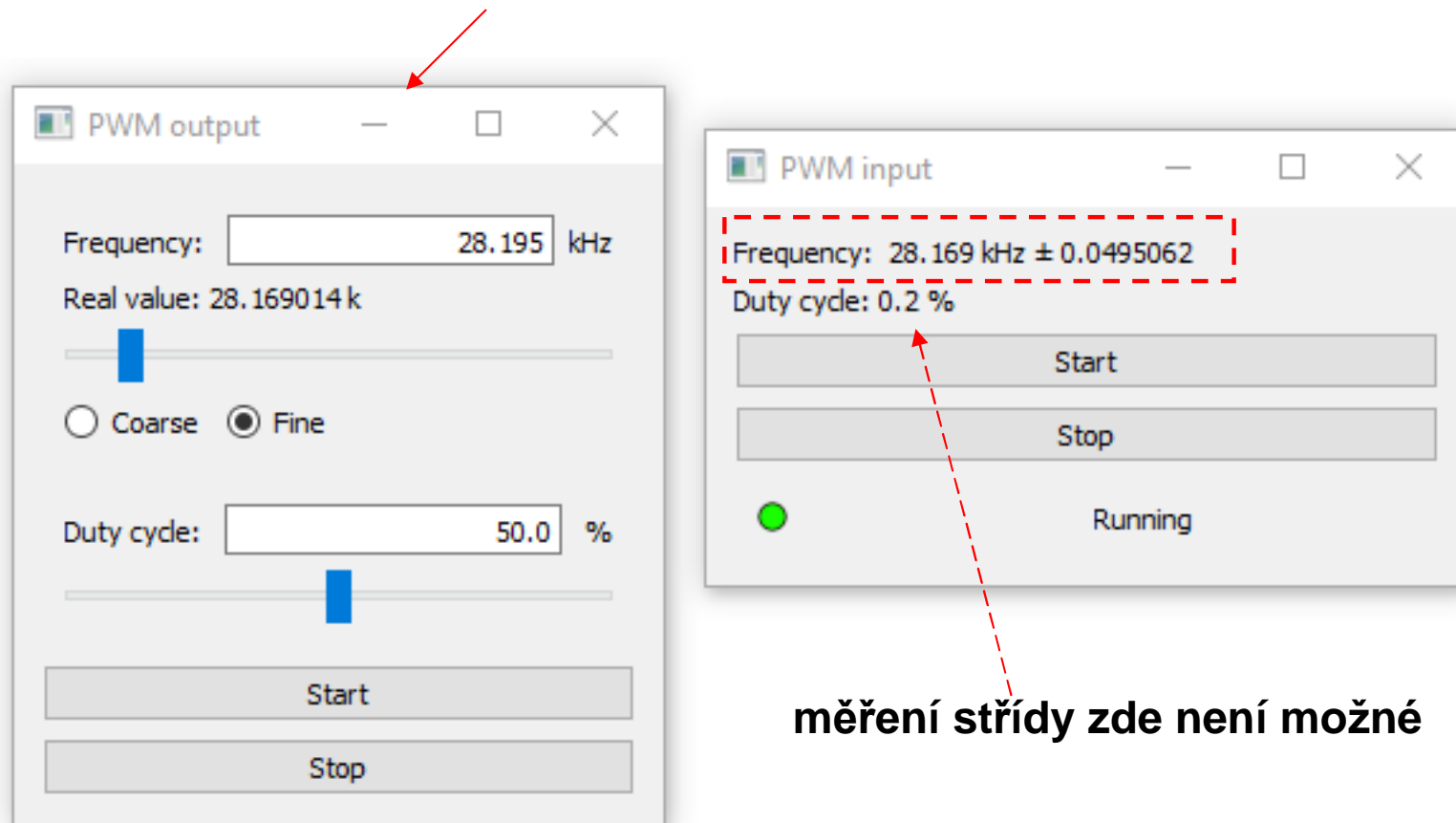


Arduino - čítač

Měření **periody signálu**, z toho výpočet **frekvence** –
reciproční měření frekvence, časové rozlišení **0,125 mikrosekundy**

Pokusy – měření frekvence signálu, určení intervalu impulsů,..

K dispozici též **impulsní generátor PWM** pro testování funkce

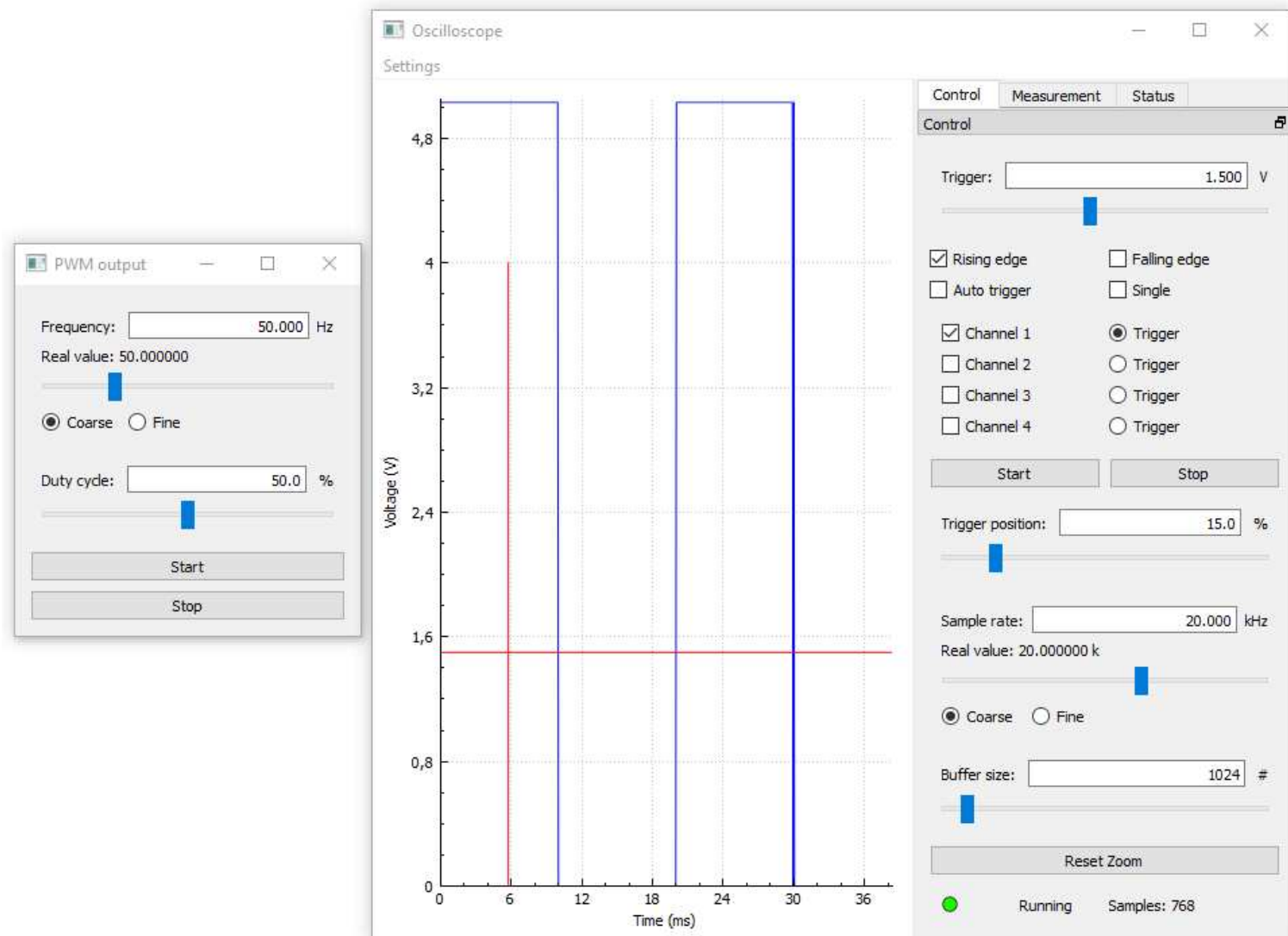


měření střídavy zde není možné

Arduino osciloskop

Impulsní generátor PWM + osciloskop jedno/ dvoukanálový

Vzorkování až **1x 80 KS/s**, až **768 S**, nebo **2x 50 Ks/s** (až **2 x 384 S**)



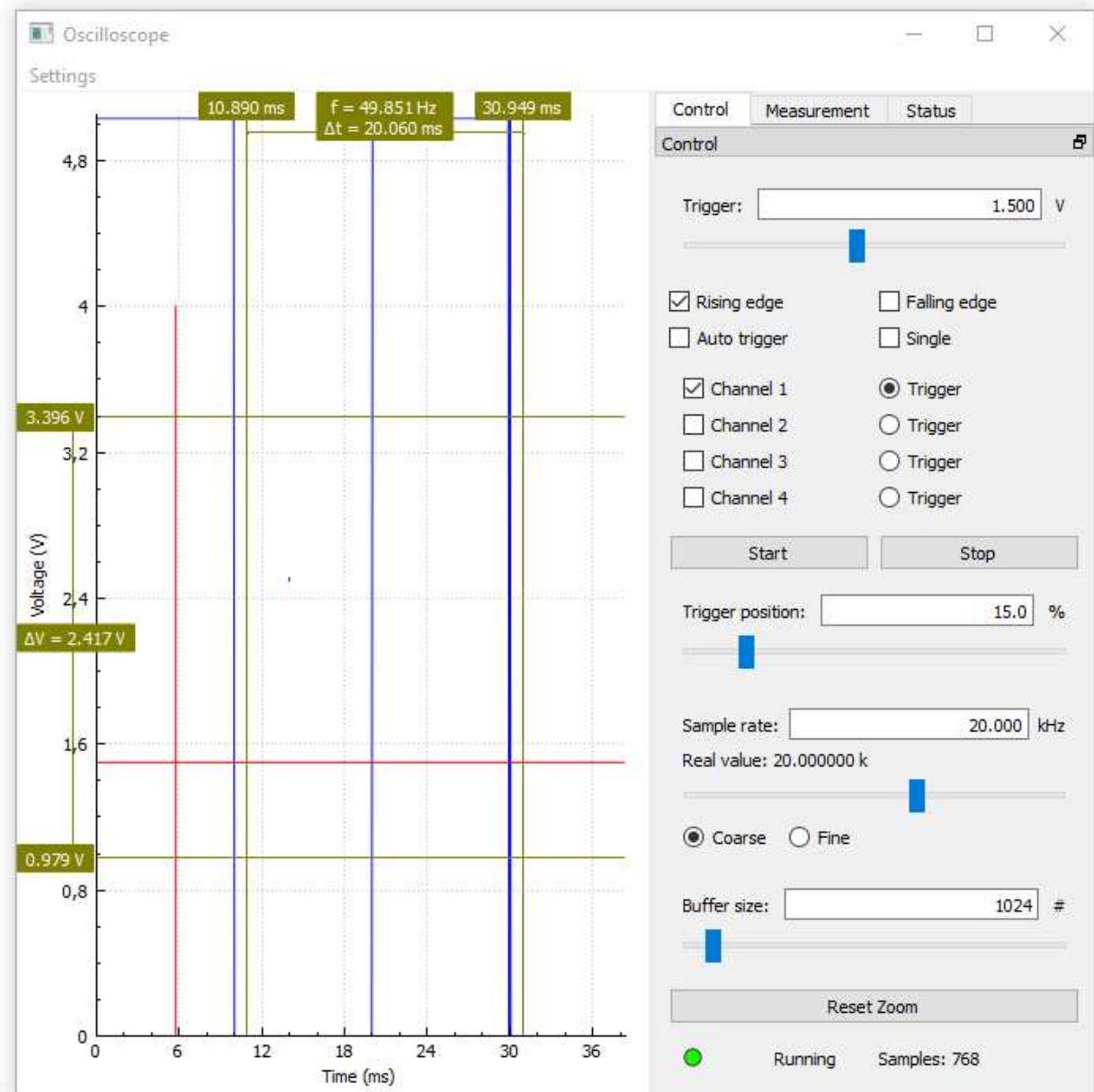
Arduino osciloskop – měření pomocí kurzorů

Kurzory X, Y

Možnost

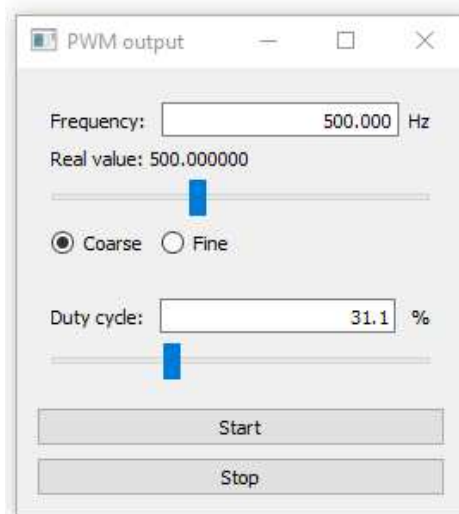
Exportu záznamu

do souboru xxx.CSV

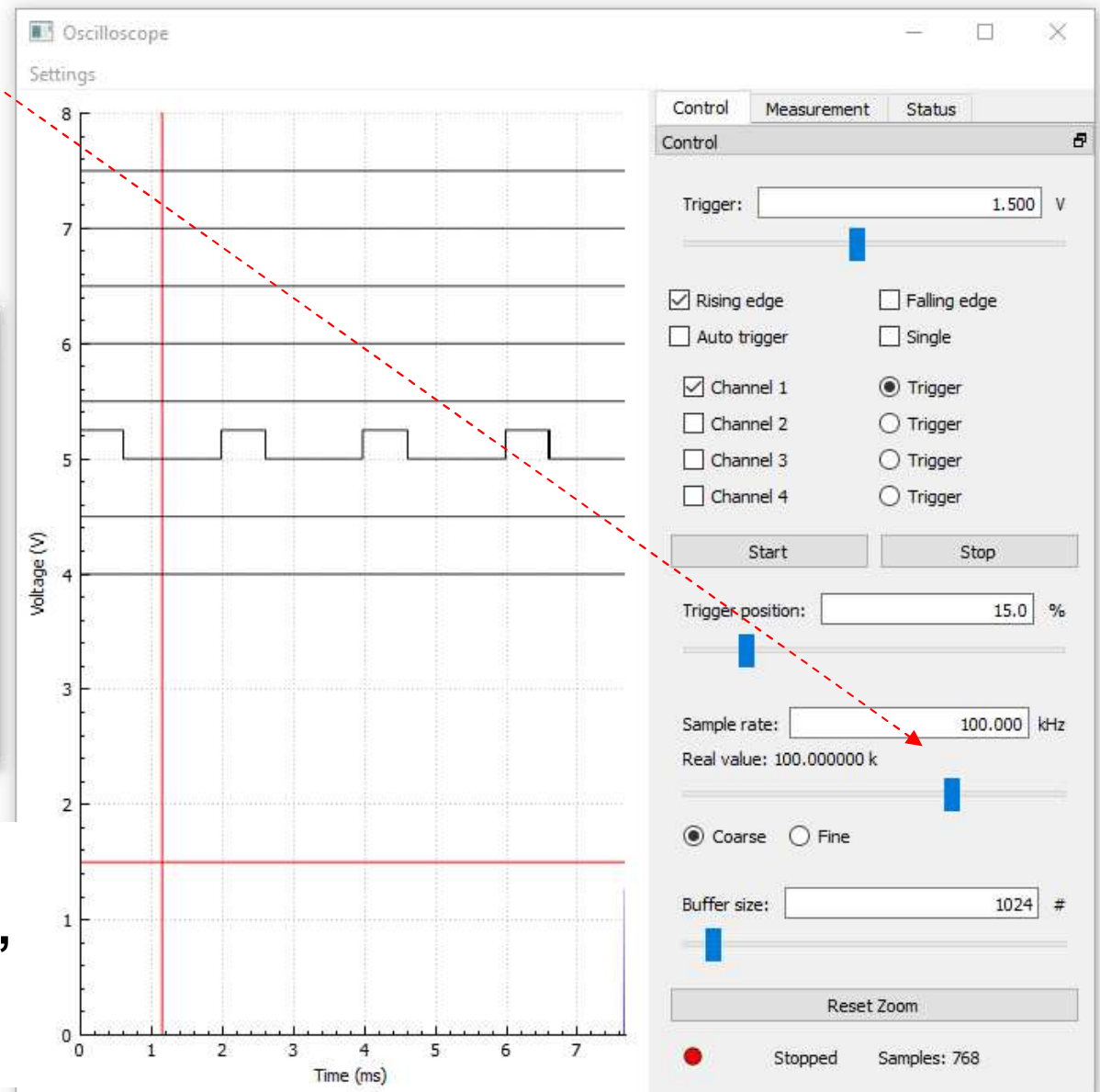


Arduino – logický analyzátor

L.A. 6 kanálů až **100 kS/s**
Délka záznamu- až **768 S**
pro sledování **logických signálů**



Vhodné i do **výuky**
programování mikropočítačů,
možnost sledovat
stav výstupních signálů



Možnosti využití SDI s Arduino

Po řadě experimentů s SDI s Arduino UNO se ukázalo, že se svými omezenými parametry umožňuje více experimentů, než jsme původně očekávali.

„Kdyby studenti ovládali celou oblasti elektroniky a měření, v nichž lze s tímto SDI realizovat experimenty, bylo by to výborné“.

Možná i demonstrace principů vzorkování, vzorkovací teorém, aliasing, vzorkování v ekvivalentním čase – ETS - Equivalent Time Sampling (stroboskopické vzorkování)

Tento SDI v RTS (Real time sampling) 80 kS/s, v ETS až 4 MS/s

Hesla k úlohám: VA charakteristika LED, diferenciální odpor a jeho význam, metoda superpozice, Theveninův teorém, přechodový děj, odezva zesilovače, určení zesílení tranz. zesilovacího stupně, základní zapojení s operačním zesilovačem, sledování zesíleného signálu mikrofonu, generátor signálu s tranzistory nebo op. zesil.,...

Zajímavost - úloha měření malých kapacit (je to 33,2 pF nebo 33,6 pF?)

Problémy tvorby nových SDI - PC aplikace

Tvorba nového SDI – problém je nutné vytvořit **SW pro MCU i PC aplikaci**

Někde je **společná PC aplikace** pro několik našich SDI.

Zero eLab Viever pro **STM32F042, STM32G030, STM32L072, STM32G431, Arduino UNO**

Omezení – nelze postihnout budoucí požadavky na SDI i možnosti MCU.

Jak vytvořit **společný rámec pro tvorbu SDI** – především osciloskopů

Pokus o řešení - **Univerzální zobrazovač dat pro SDI** – „**Data Plotter**“

Možno vyřešit **komplexní možnosti zobrazení** dat i **zpracování signálu**
(FFT spektrální analýza,...)

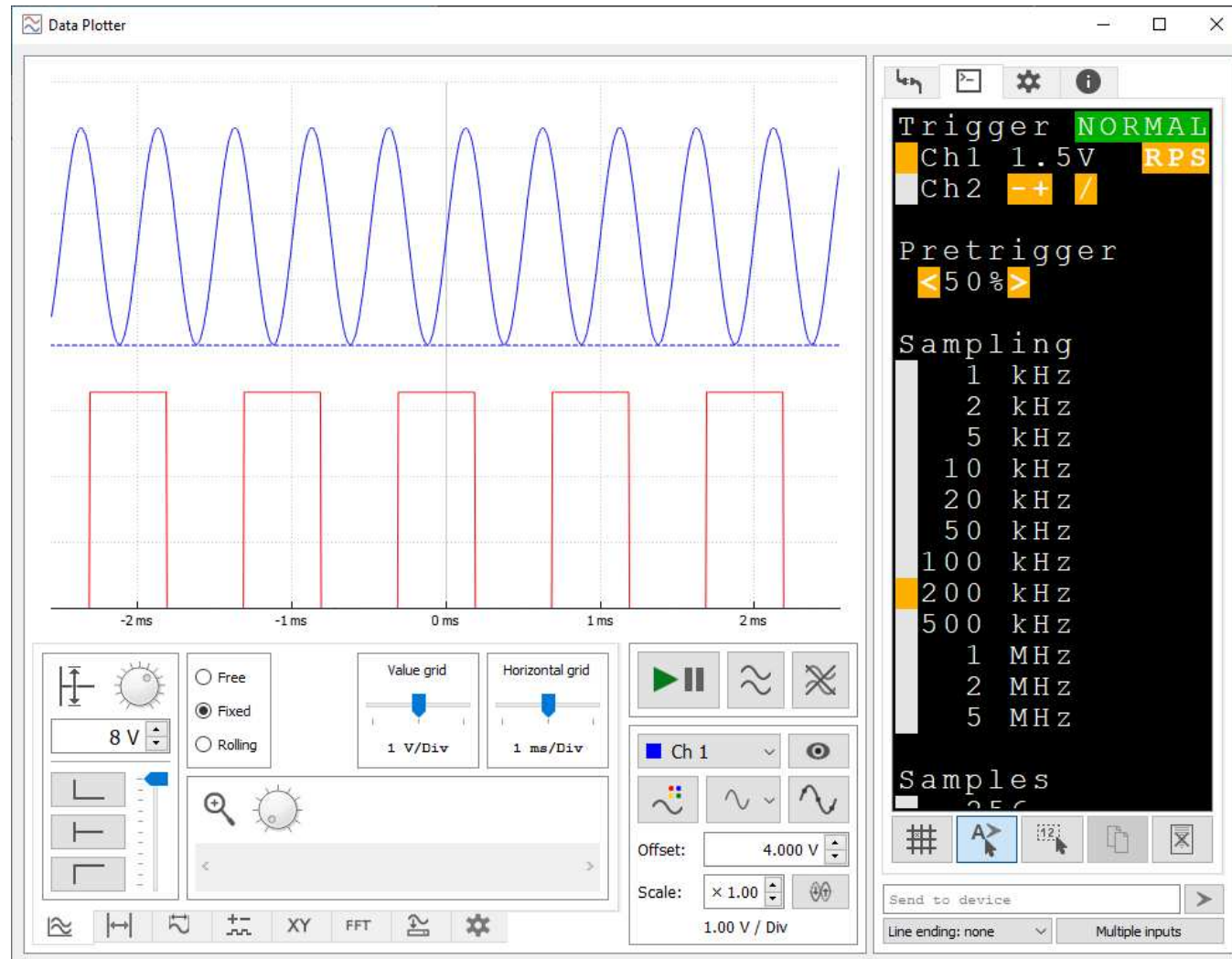
Použití Data plotteru – možné i ve výuce **vestavných systémů** na **SPŠE-realizovat jednoduchý přístroj**, např. i v rámci maturitních prací (??);
není třeba řešit PC aplikaci, ale pouze HW a FW vest. systému

DataPlotter využíváme např. ve výuce B3B38LPE1 - zobrazení signálů ze snímače teploty, zobrazení signálů zachycených pomocí ADC v MCU.

DataPlotter – využít i pro realizaci našich nových SDI (viz dále)

Univerzální zobrazovač dat - Data Plotter

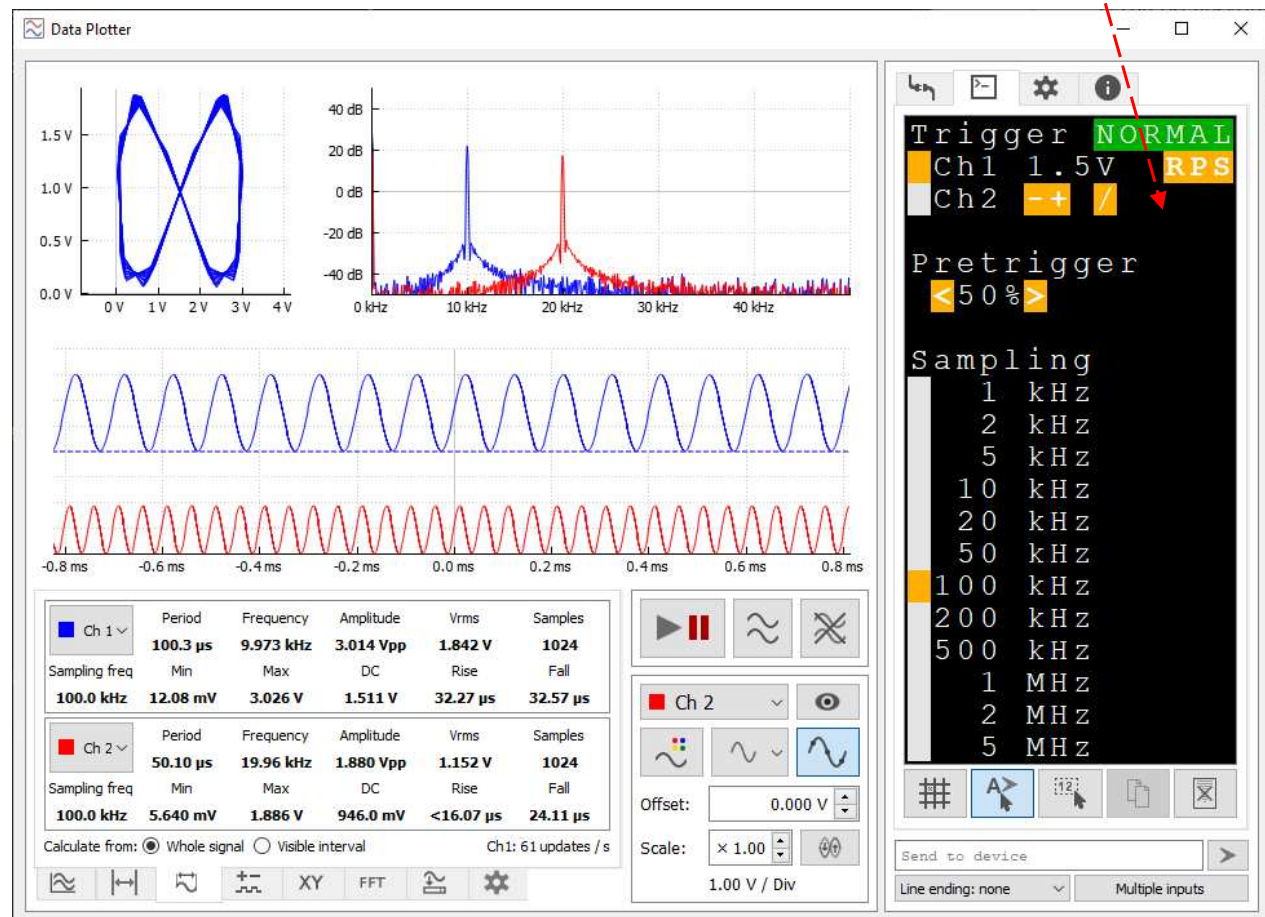
Data Plotter , pod **Windows, Linux**; Autor **Bc. Jiří Maier** (BP 2021, BP je dostupná, včetně SW na embedded.fel.cvut.cz)



Data Plotter- možnosti

PC aplikace jako **Slave**, **MCU** (třeba i Arduino) do ní může **posílat data** v daných formátech, která **se zobrazují jako signály logické, signály analogové** - typicky jako **osciloskop**. **Terminálový panel** – sloužící pro výpis hlášení a ovládání přístroje příkazy zaslanými do MCU

Automatické měření parametrů signálu, FFT,...

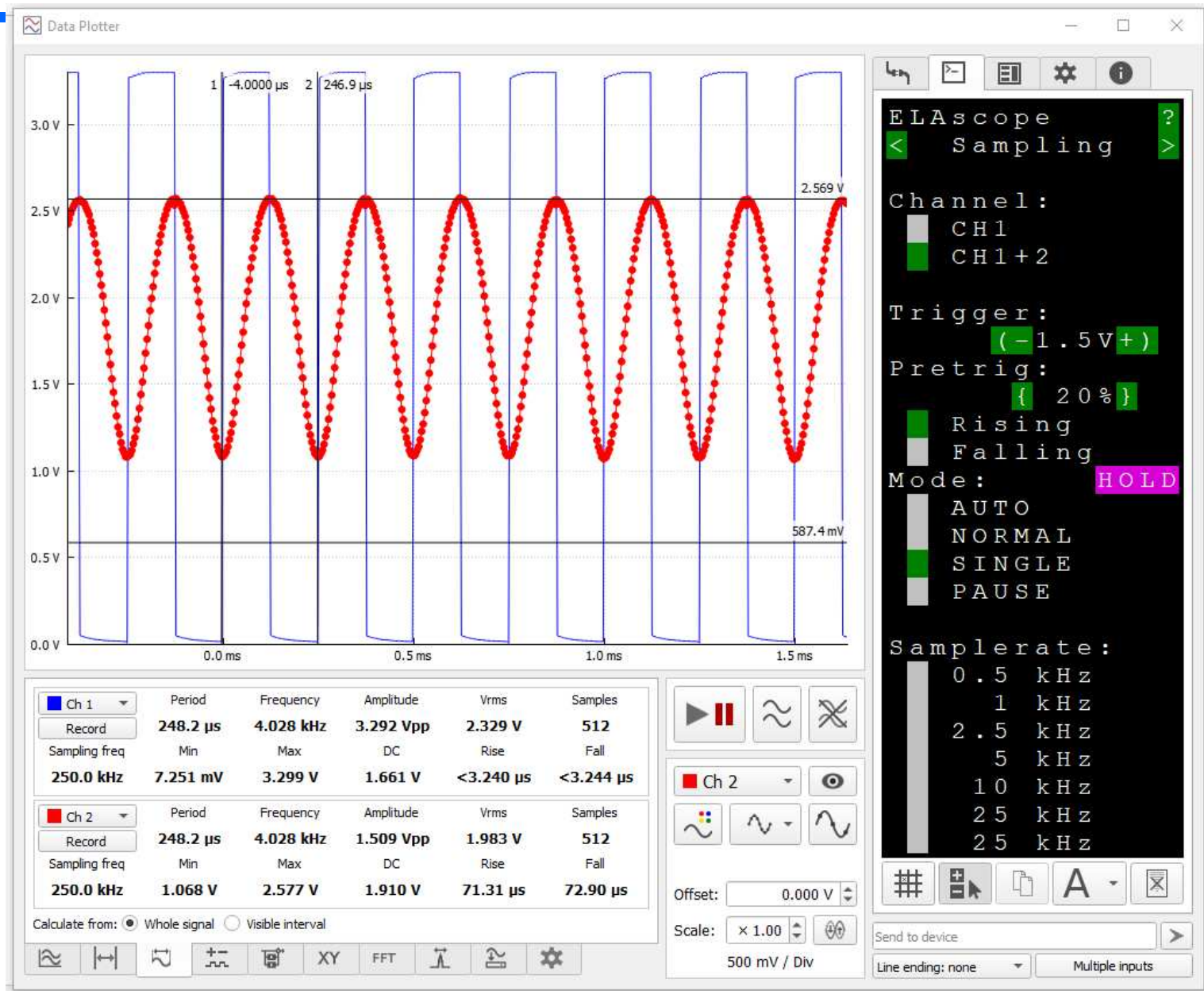


Nastavení barvy zobrazení signálu

Jak to, že druhý signál je červený?? Lze nastavit barvu stopy

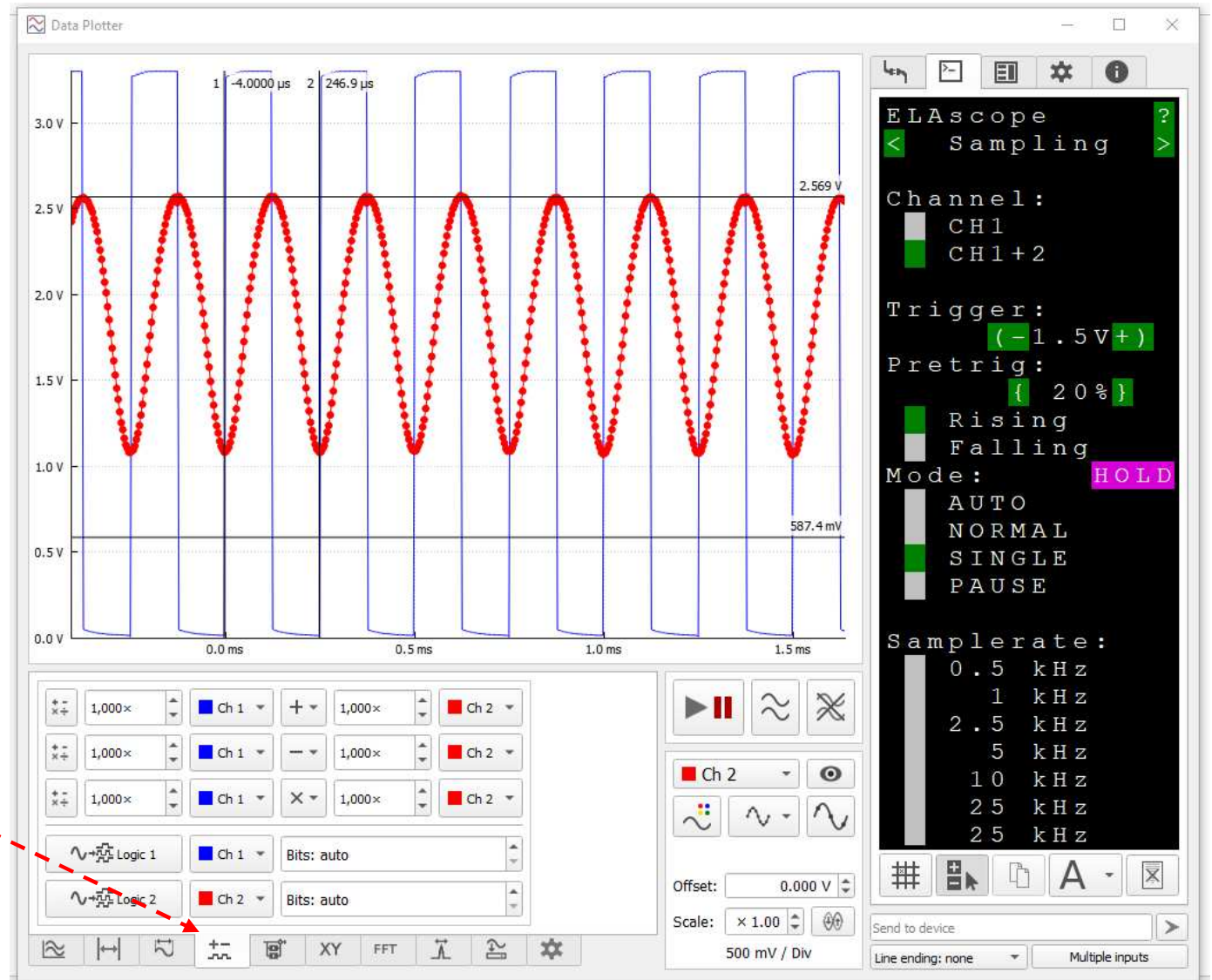
The screenshot displays the ELAScope software interface. The main window shows a signal plot with two channels: Channel 1 (blue) and Channel 2 (red). Channel 2 is highlighted in red, and a red arrow points to the 'Select Color' dialog box. The dialog box shows a color selection interface with a color wheel and a vertical color bar. The color bar is set to red, and the HTML color code is #ff0000. The plot shows a blue square wave and a red parabolic curve. The vertical axis ranges from 0.0 V to 3.0 V, and the horizontal axis ranges from -4.0000 μs to 0.4 ms. The plot also shows a value grid of 500 mV/Div and a horizontal grid of 100 μs/Div. The bottom right panel shows the trigger settings: Channel 1 (CH1) and Channel 2 (CH1+2) are selected. The trigger is set to (-1.5 V+), Pretrigger is { 20% }, and the Mode is HOLD. The Samplerate is set to 2.5 kHz. The bottom left panel shows the vertical scale set to 3.4 V and the horizontal scale set to 500 mV/Div.

Panel měření parametrů signálu

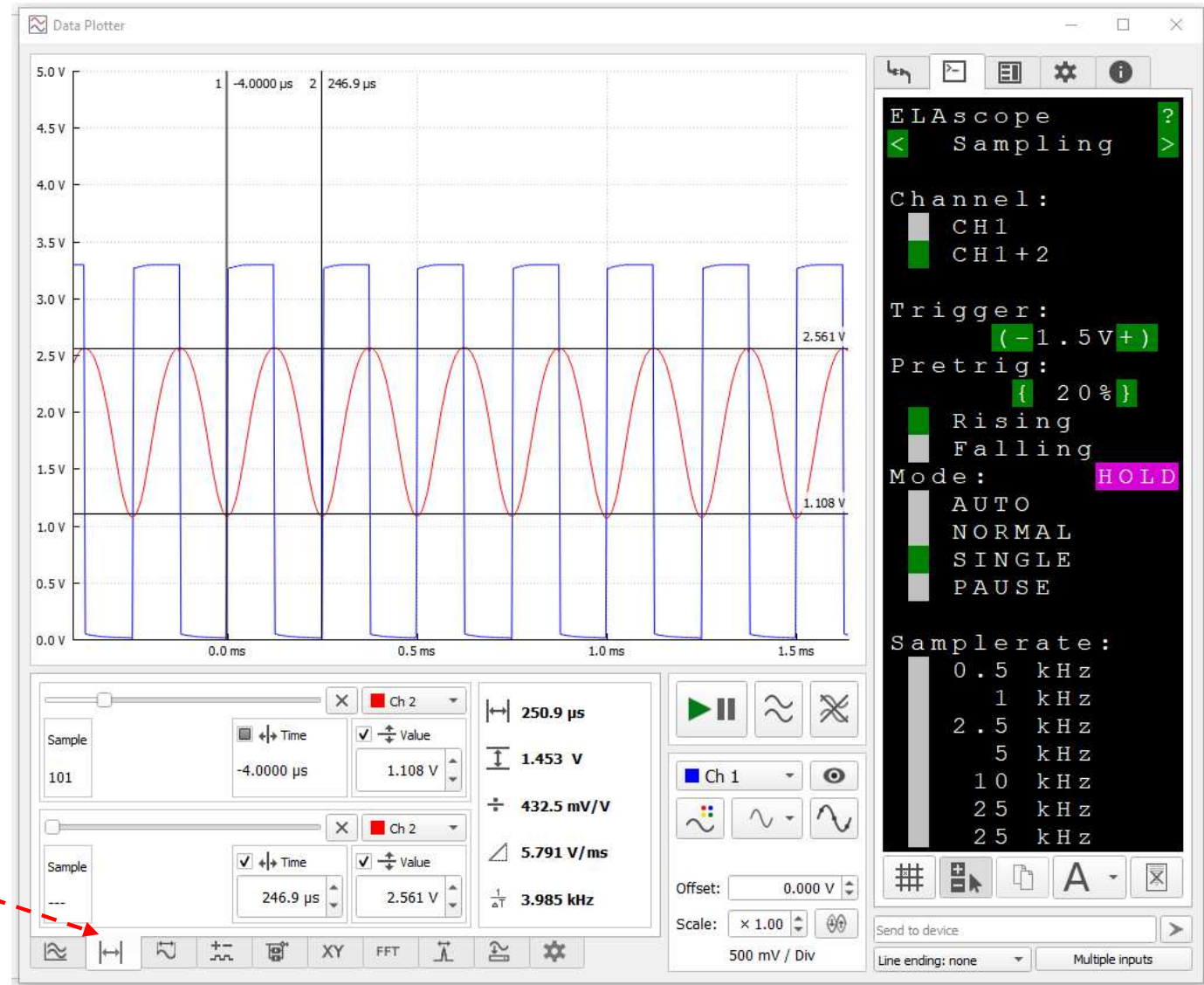


Panel matematických operací se signály

Funkce součet,
rozdíl, součin



Práce s kurzory- „ruční měření“ parametrů signálu

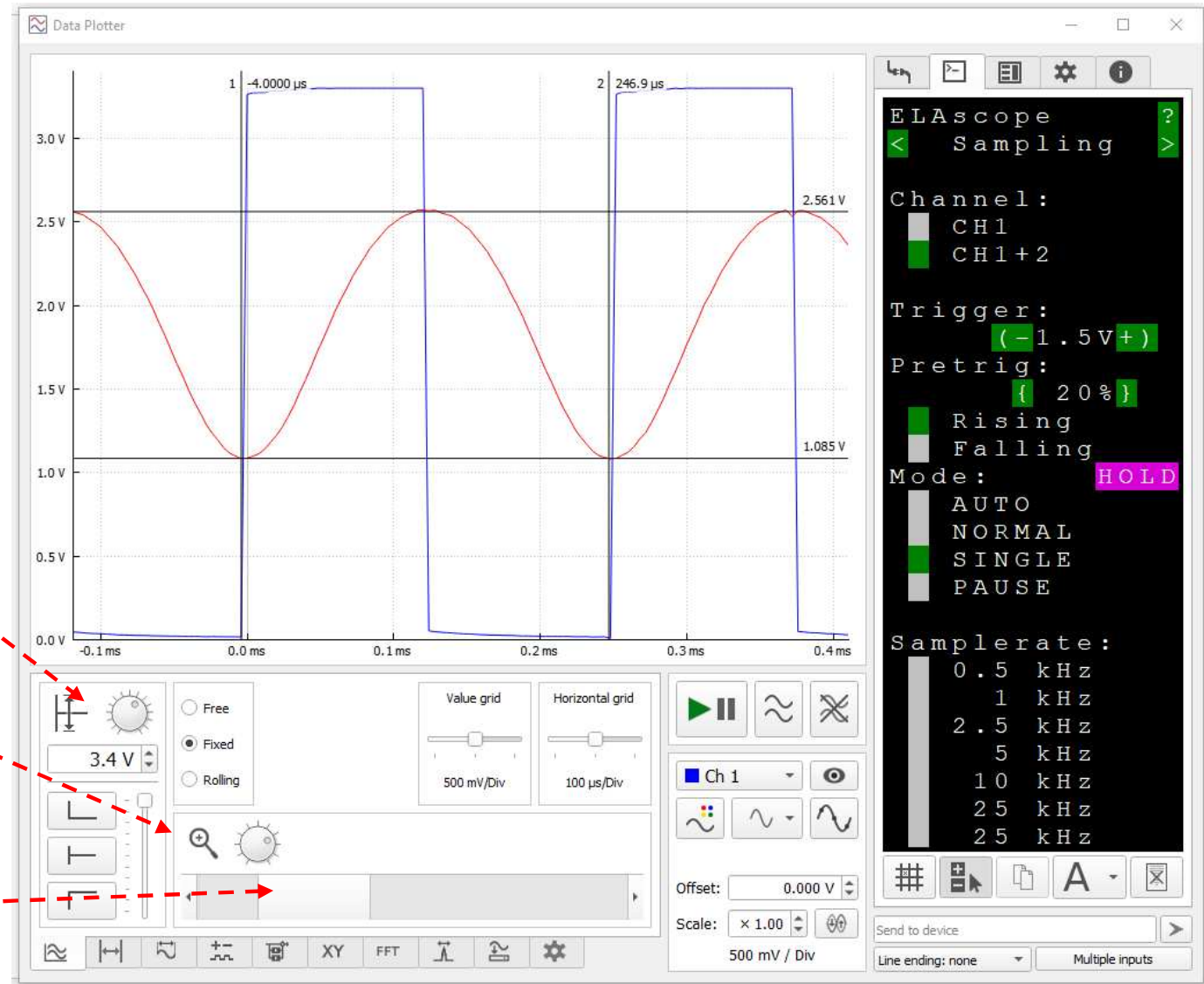


Zoom záznamu, horizontální a vertikální

vertikální zoom

horizontální zoom

horizontální posun



Přístroje s Data plotter – způsob ovládání

Proč tak nezvyklé ovládání přístroje s programem Dataplotter

Aplikace Data plotter je **univerzální** pro všechny možné přístroje

Funguje jako „**slave**“ – **zobrazuje data**, která se aplikaci posílají (v daných formátech). Jsou formáty pro zobrazení analogových dat, digitálních dat,..

? **Jak řešit individuální ovládání přístroje**

Komunikační panel je terminálové okno - textové pole – generuje sám mikropočítač (zde RP PICO). Pod barevnými čtverečky jsou skryta písmena se stejnou barvou (tedy nejsou vidět). Pokud se klikne na daný čtvereček, nebo označený znak, ten se vyše z PC do RP PICO.

Program mikropočítače „ví“ , co má po přijetí daného znaku dělat

Naši studenti s Dataplotter řeší např. **projekty** typu:

- **snímač tepu**
- **improvizovaný elektrokardiograf**

V DataPlotter je možné i kontinuální zobrazení – „běžící signál“

Data Plotter – pro vlastní návrhy SDI

Je možno si **vytvořit vlastní osciloskop s PC a MCU bez potřeby tvorby PC aplikace.**

Komunikace - Virtual Com Port

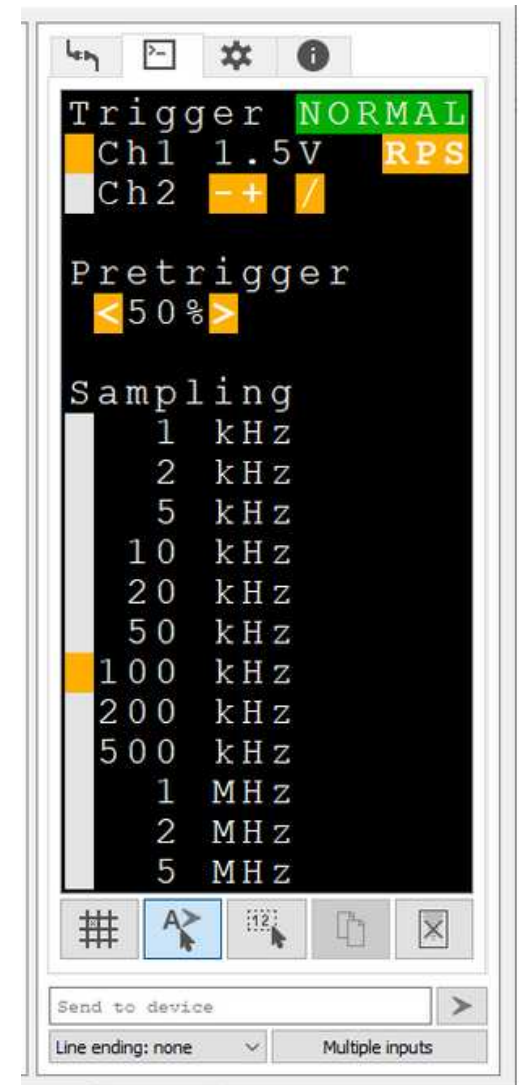
Ovládání přístroje - pomocí **terminálového okna s podporou ESC sekvencí- řízení polohy kurzoru, barvy písma a barvy pozadí**

Možnost **ovládání myši - vyslání znaku označeného myši z PC do MCU.**

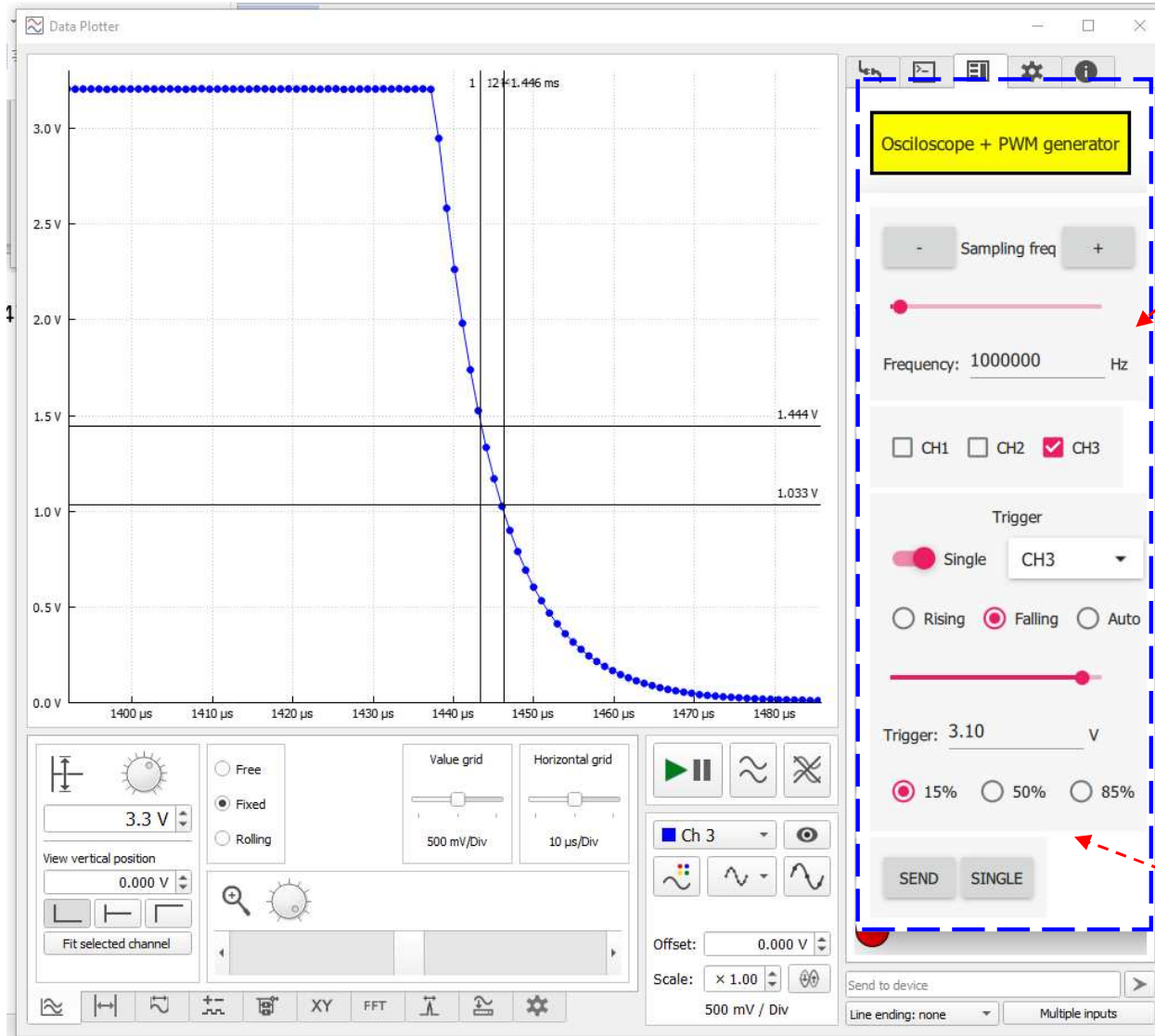
Poslední verze – **podpora QML kódů, grafická podoba komunikačního okna**

V terminálovém lze okně **definovat vlastní grafické objekty** - slidery, okna pro zadávání hodnot

Data Plotter nově využíván pro různé SDI osciloskopy, čítač, funkční generátor,..



Nová verze Data Plotter – podpora grafiky a QML kódů



Podpora QML kódů,
grafická podoba
komunikačního okna

V terminálovém okně lze
definovat
vlastní **grafické objekty**
slidery, okna
pro zadávání hodnot

Příklad – současná DP
Bc. Jan Bittman
SDI s STM32G030

Mikropočítač - Raspberry PI PICO, využití jako SDI

Řídící procesor RP2040

2 MByte externí QSPI FLASH

Cena cca **120 Kč** s DPH

Dvě 32-bitová jádra ARM Cortex M0+

264 kByte SRAM, (**nemá interní FLASH**,

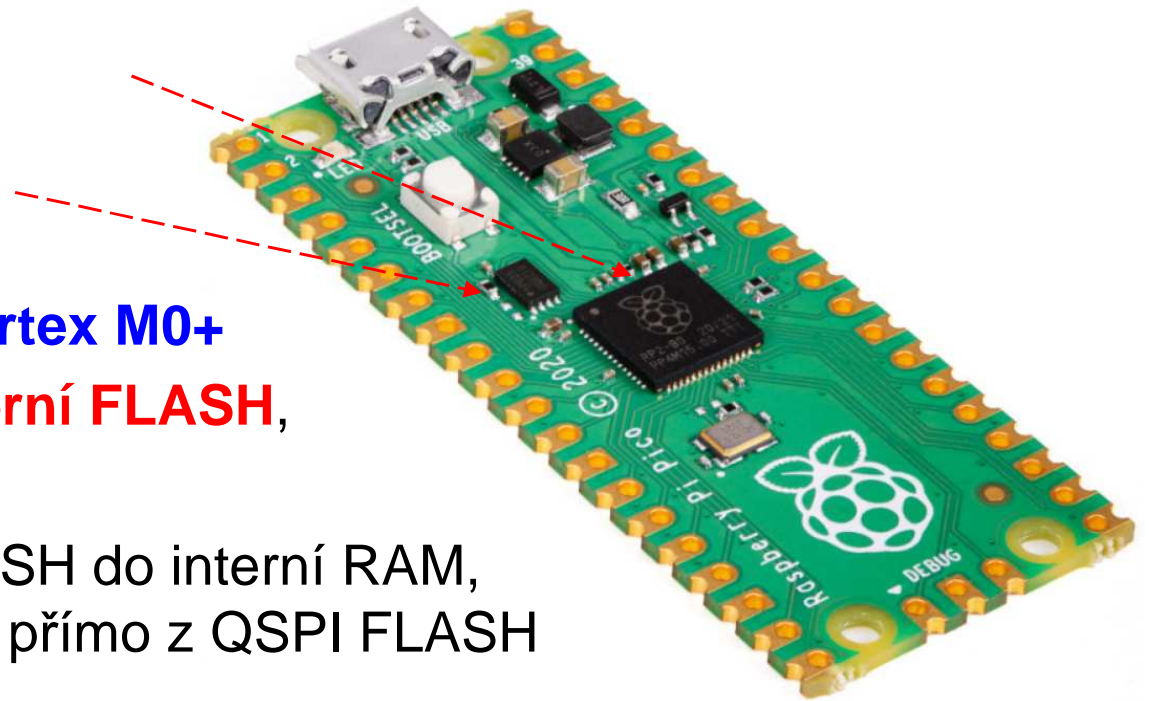
pouze ROM s Boot loaderem,...

Překopírování programu z FLASH do interní RAM,
nebo vykonávání programu přímo z QSPI FLASH
s využitím **bloku XIP**

Hodinový signál procesoru – **133 MHz**

Rozhraní: **USB, UART, I²C BUS, SPI**

Převodník ADC 12 bitový. **Až 500 000 vzorků za sekundu** –
to je zásadní pro realizaci osciloskopu



Informace

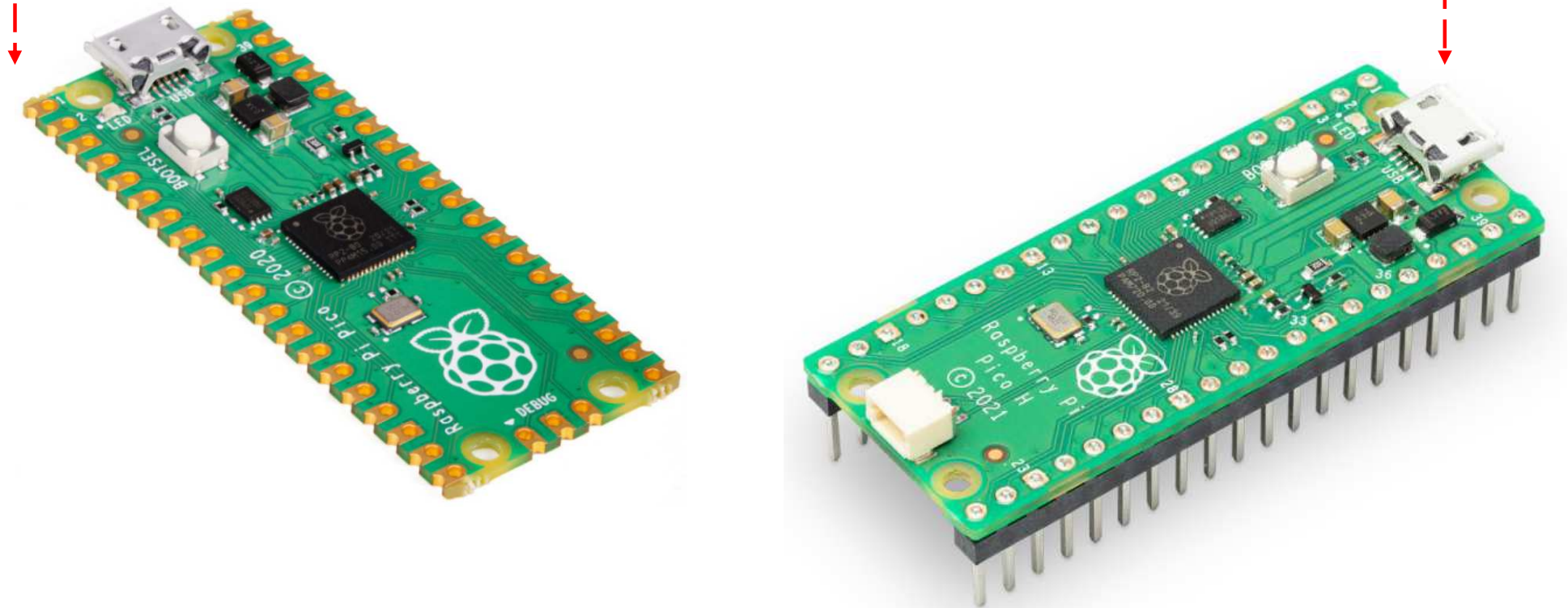
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/>

Raspberry PI PICO - pořízení v ČR, RPI Shop, Č.Budějovice

— <https://rpishop.cz/pico/5117-raspberry-pi-pico-0617588405587.html>

Pokud nechceme pájet headery, koupit již verzi **PICO H**

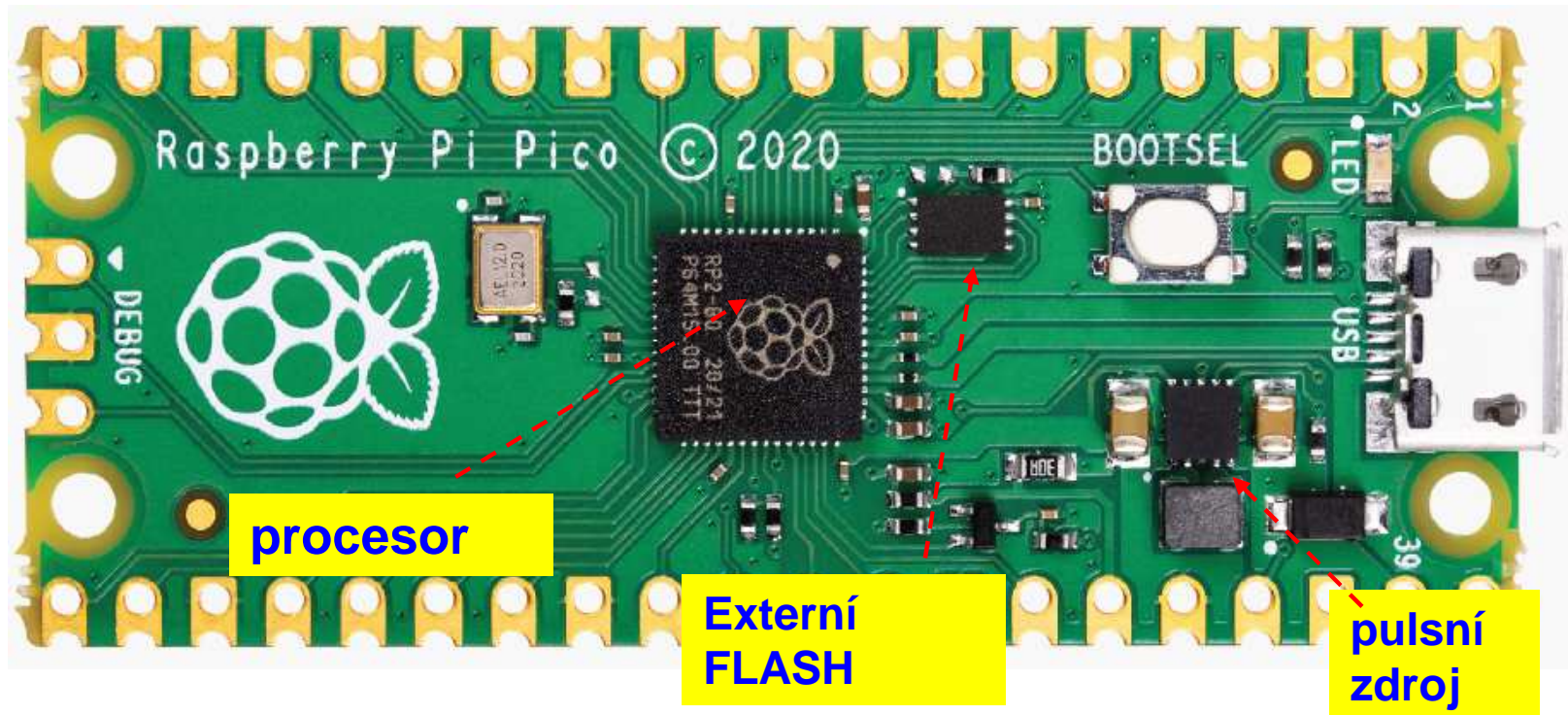
<https://rpishop.cz/raspberry-pi/5069-raspberry-pi-pico-h-5056561803180.html>



Mikropočítač - PI PICO, zdroj

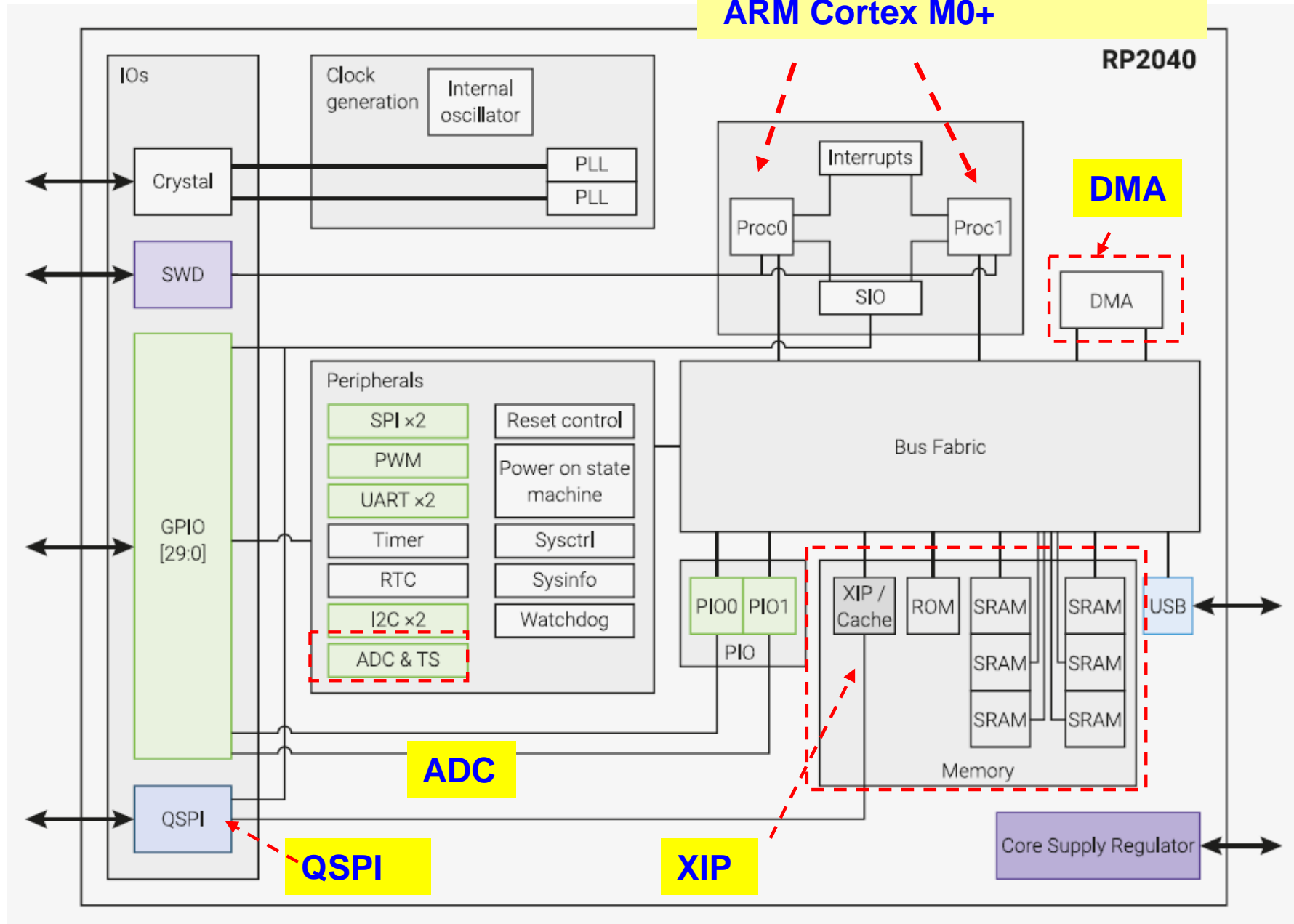
Impulsní zdroj – regulátor typu Buck – Boost, rušení v napájení a částečně i digitalizovaném signálu.

Pro měřicí aplikace (osciloskopy) použít externí **lineární regulátor LD1117-33**, jednoduché zapojení, „**odstavení**“ vnitřního regul., připojení externího lineárního regulátoru k pinům desky

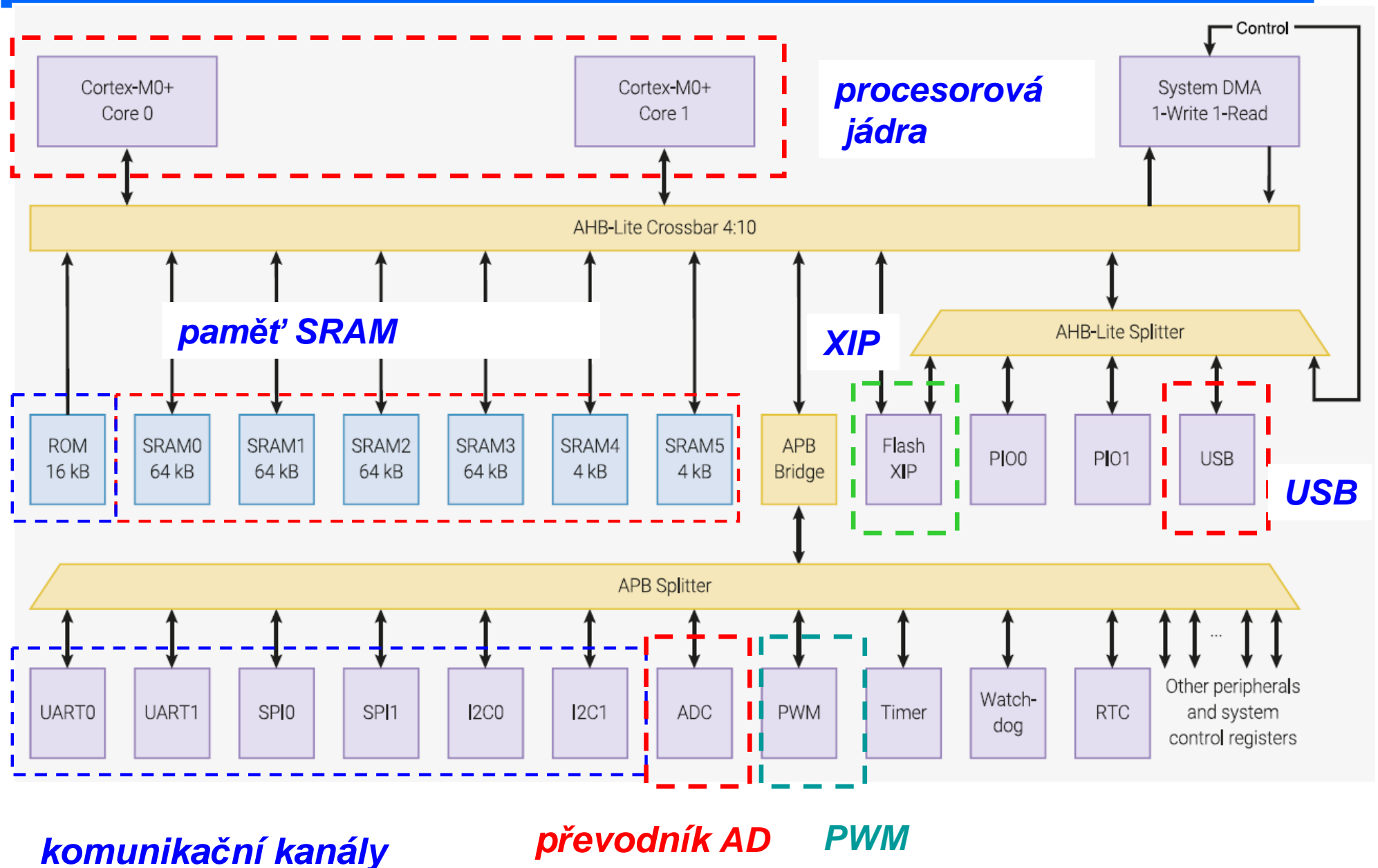


PR PI PICO struktura

dvě procesorová jádra
ARM Cortex M0+



Raspberry PI PICO Paměťové bloky a periferie



Logický analyzátor ELA s Raspberry PI PICO

Logický analyzátor - sledování časového průběhu logických signálů

Záznam log. signálů, rychlost až 40 MS/s, délka záznamu 50 kS

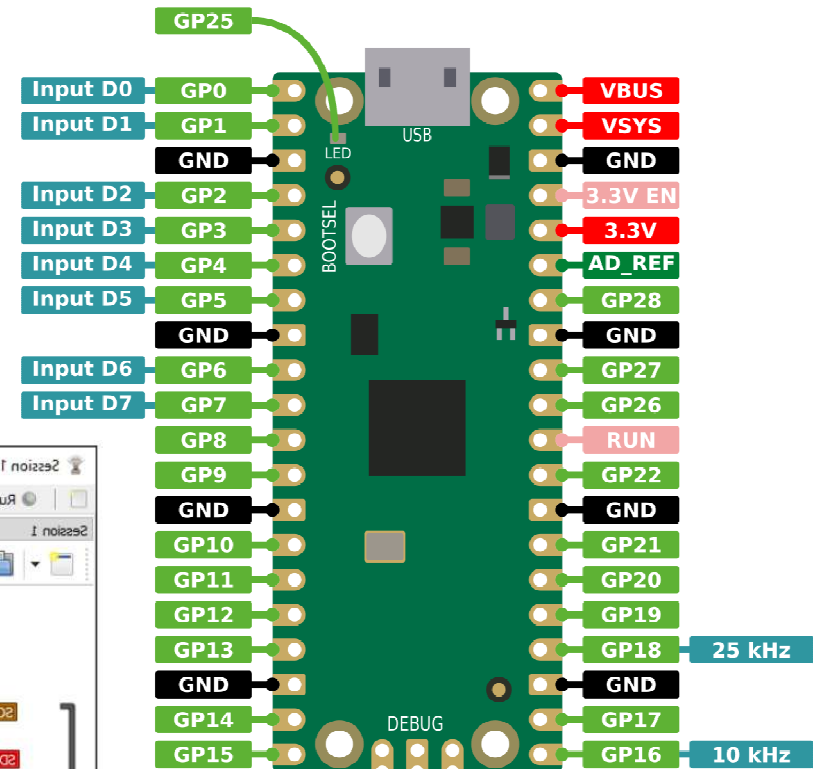
Analýza komunikačních protokolů

(SPI, IIC, UART, Neopixel LED,..)

Využití PC aplikace Sigrok Pulseview

Autor firmware pro PI PICO

Ing. Vít Vaněček



Osciloskop ELAScope s PI PICO a Dataplotter

Funkce - dvoukanálový osciloskop (rozl.12 bitů), PWM generátor

Až **1x 500 kS/s**, záznam **1x 8192 S**, 12 bitů nebo **2x 250 kS/s**, **2x 4096 S**

Možnost **stroboskopického vzorkování** až **48 MS/s** při sledování vlastního signálu **PWM**

Napětí na vstupech

nesmí být záporné,

ani větší než **+3,3 V**

Ochrana – do série se vstupy zapojit **rezistory např. 2k2**

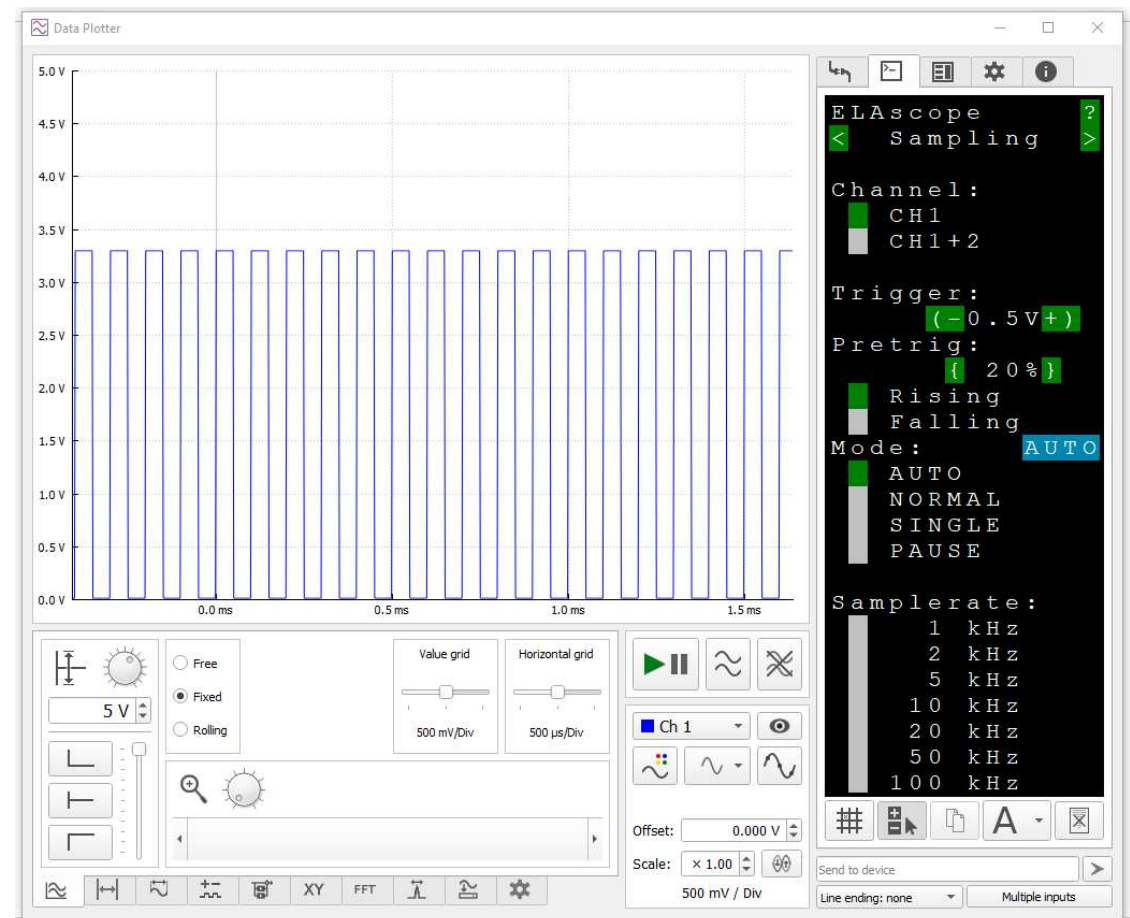
Autoři:

firmware **ELAScope**

Ing. Vít Vaněček

PC Aplikace **Data Plotter**

Bc. Jiří Maier



Elascope - ovládání

Zobrazení signálu

Komunikační a ovládací panel

Několik přepínaných panelů pomocí šipek, klik myší

barevná pole- pro „klikání“ volba funkce nebo parametru

Volba velikosti fontu

„aby se to vešlo“

Panel impulsního generátoru PWM

nastavení střídavy PWM signálu

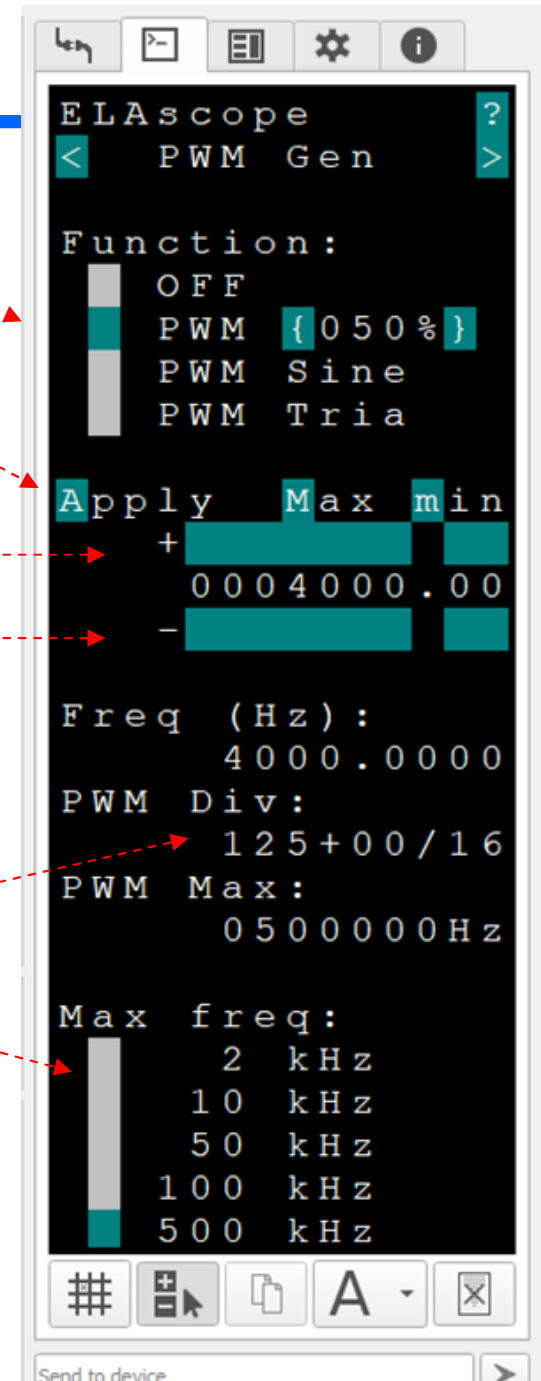
A - vyšli nastavení

+ klikem zvýš digit

- klikem sniž digit

Volba maximální frekvence PWM

dělením číslem 1 až 255 (PWM Div)
se získá požadovaná frekvence



Panel nastavení záznamu v Elascopu

▪

přepínání dalších panelů →

volba 1 nebo 2 kanály →

volba trigger level

+ zvyš hrubě o 0,5 V;) zvyš jemně o 0,1 V

- sniž hrubě o 0,5 V; (sniž jemně od 0,1 V

volba druhu spouštěcí hran →

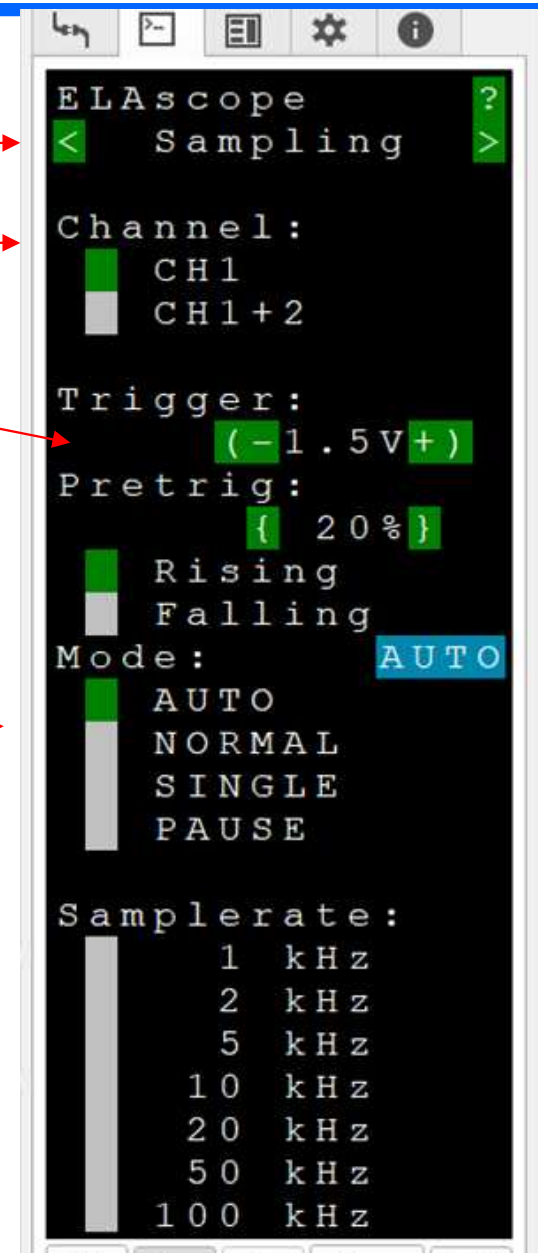
Režim Auto, Normal, Single, Pause →

Auto - pokud se nenajde podmínka, spustí se sám

Normal - čeká, dokud se nesplní trig. podmínka

Single - jednorázový odměr a stop

Pause – stop



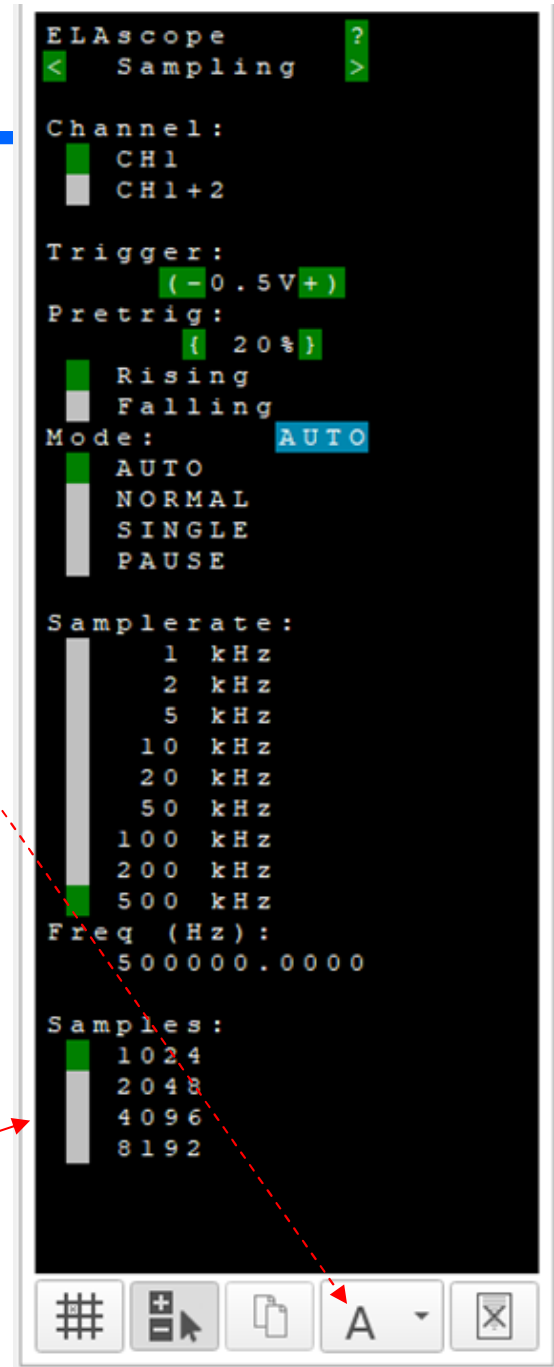
Elascope – celý terminálový panel

Ovládací panel s volbou **menšího fontu**

„**aby se to všechno vešlo**“

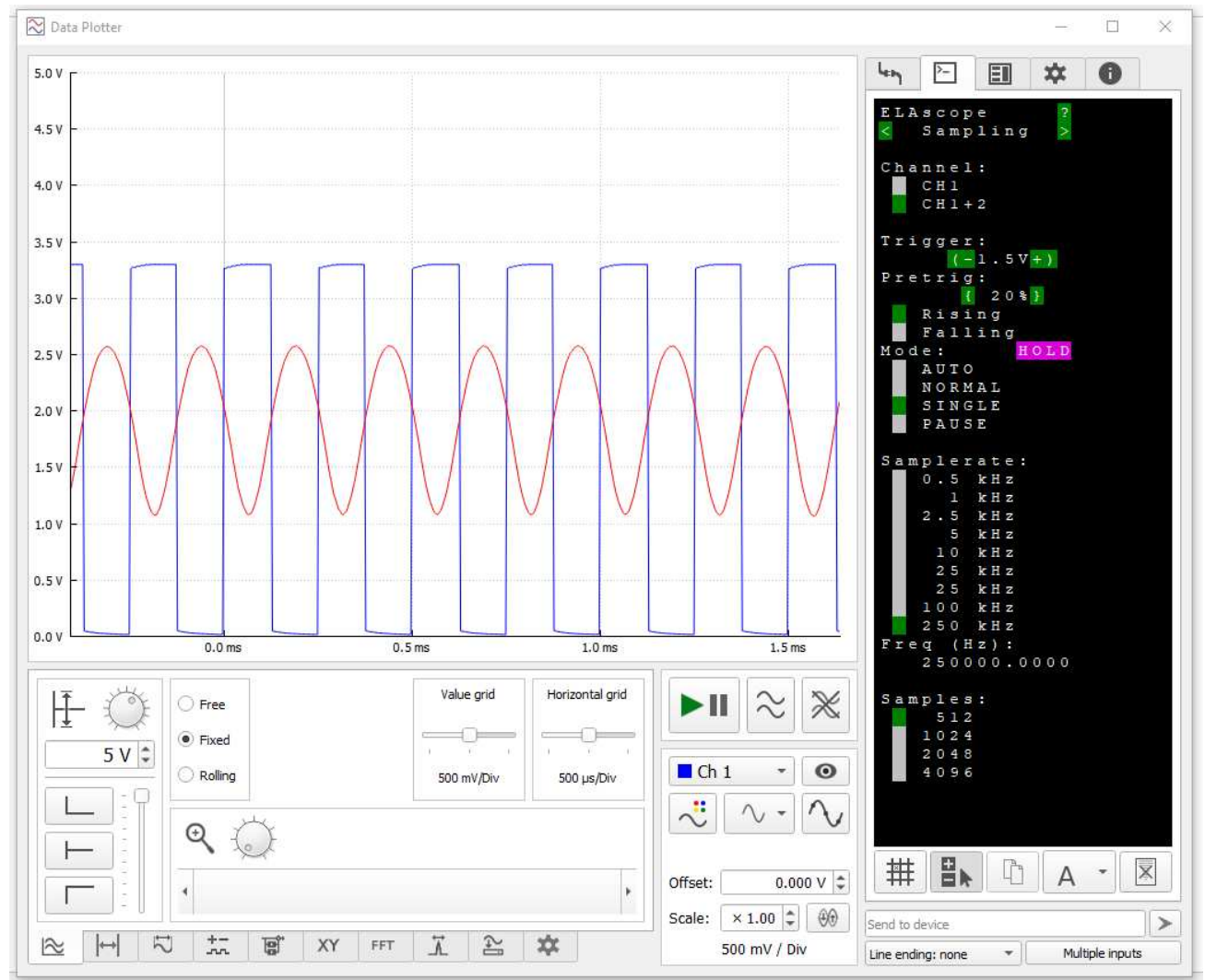
Pokud se text „nevejde“ najednou do terminálového panelu, lze jej myší vertikálně posouvat.

volba délky záznamu



Příklad použití ELAScope – měření rychlosti zvuku

Změna fáze signálu
z mikrofonu
(fázový posuv)
se zvětšením
vzdálenosti
bzučáku od
mikrofonu

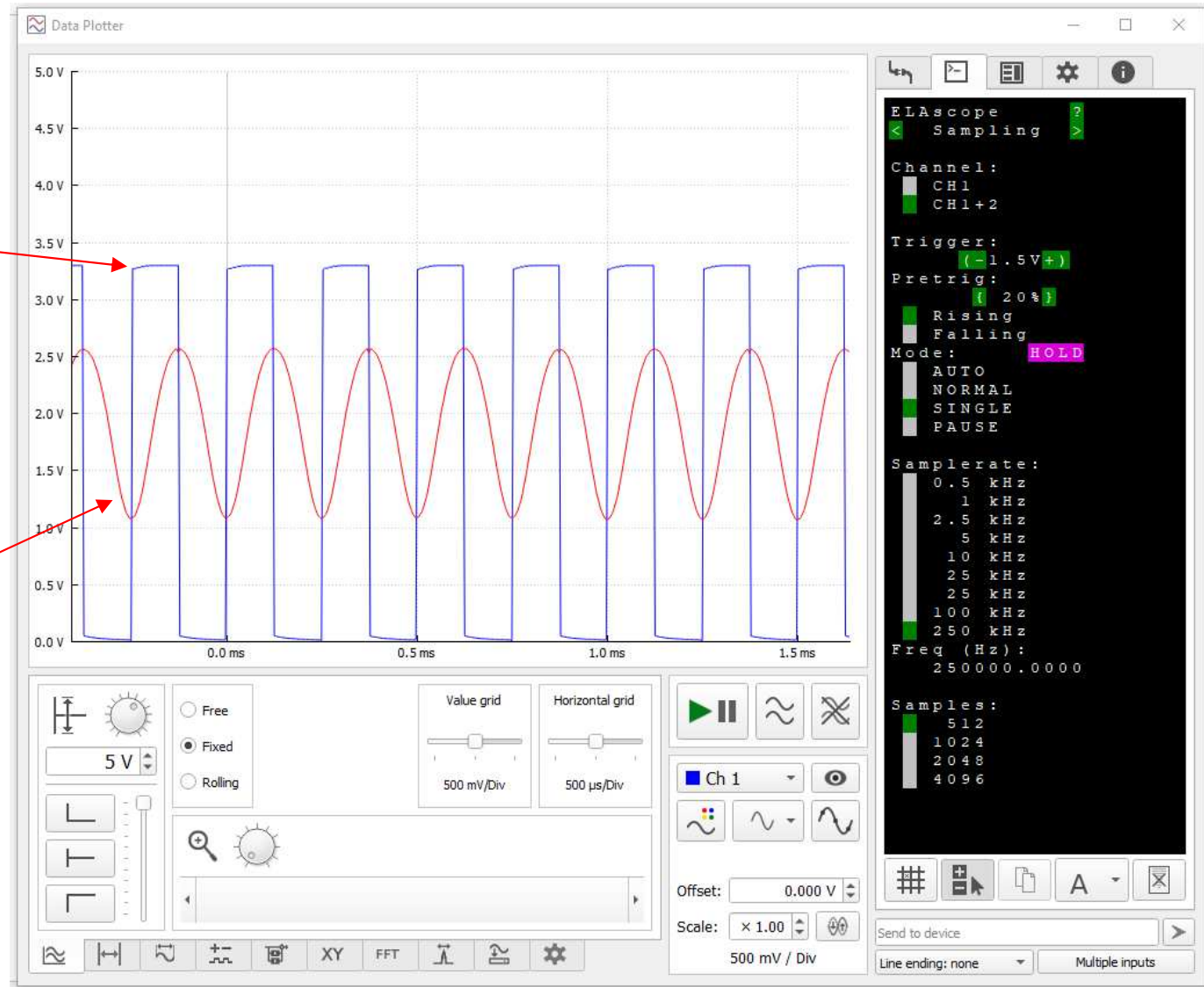


Určit velikost mechanického posuvu pro změnu fáze o 360 stupňů

Signály při experimentu – měření rychlosti zvuku

signál
PWM

zesílený
signál
mikrofonu
(sinus)



Osciloskop WebScope pro Raspberry PI PICO

Osciloskop – až 3 kanály + **generátor PWM**

až 1x 500 kS/s, až 100 kS záznam, 12 bitů rozlišení

Zobrazovací PC aplikace – internetový **WWW prohlížeč**

např. **MS Edge, Opera, Chrome**, které spolupracují s rozhraním **USB**.

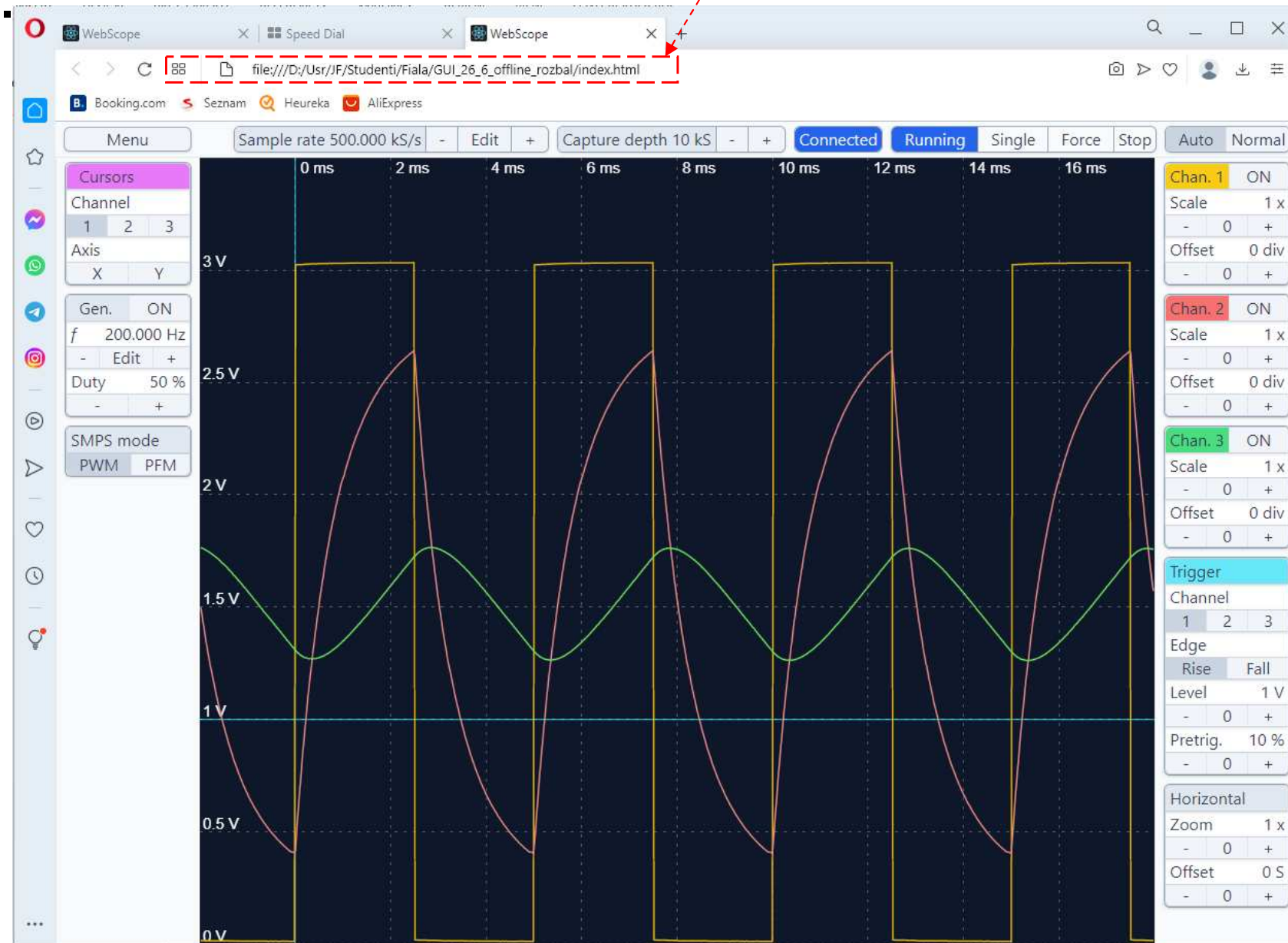
Spuštění – (s připojením k internetu) **otevřít příslušnou www stránku**
(nabízí sám prohlížeč při připojení desky s SW WebScope)

Spuštění lokálně – **otevřít GUI** - jako soubory **www stránky** na místním počítači (nepotřebuje připojení k internetu)

Výhoda použití www prohlížeče - v učebně s přístupem k internetu není třeba řešit instalaci SW

Autor **Bc. Jan Fiala**, aktuálně řešená DP

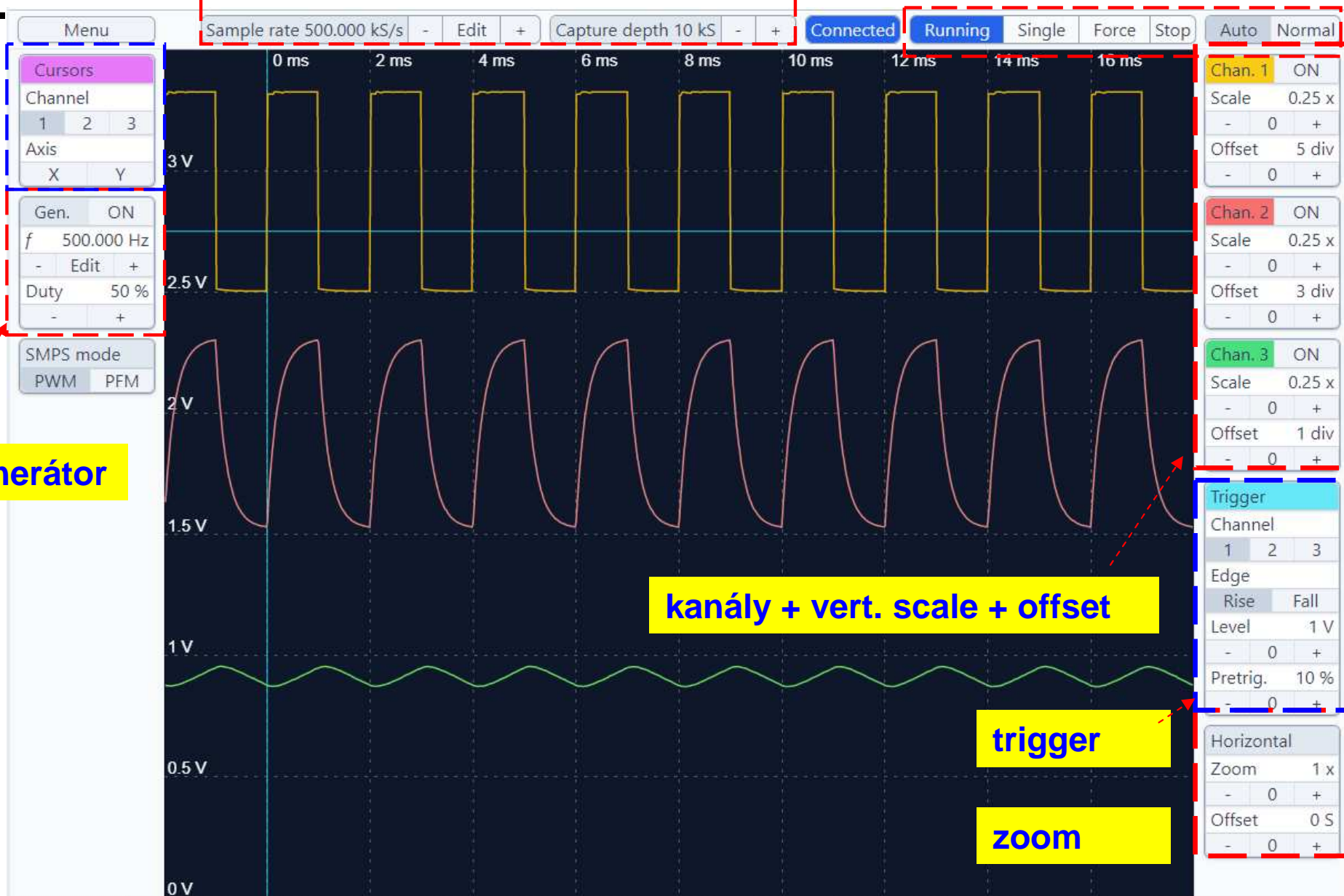
WebScope – lokální spuštění



režim záznamu
RUN, STOP, Single, Auto, Normal

kurzory

rychlost a délka záznamu



generátor

kanály + vert. scale + offset

trigger

zoom

Univerzální čítač **G030 Lab** - STM32G030J6M6

FW Ondřej Hloušek (aktuální BP), PC aplik. **Dataplotter** Bc. Jiří Maier

- Přímé **měření frekvence** až do 31 MHz, gate time 10s; 1s; 0,1s
- Prosté **čítání impulsů** až $4,26 \cdot 10^9$ (pro externí hradlování)
- **Reciproční měření frekvence, periody a střídy** z 1 až 250 period
- Měření **délky impulsu** kladného, záporného, **rozlišení 15,6 ns**
- **Dvoukanálové měření zpoždění impulsů- rozlišení 15,6 ns**
- **Záznam času** příchodu (až 500) **hran** signálu s **rozlišením 15,6 ns**, nejkratší interval mezi hranami – **125 ns**, nejdelší interval až **67 s**, grafická rekonstrukce signálu pro měření pomocí kurzorů - DataPlotter
- **Interní oscilátor RC** tolerance – až 0,2 % (měření 10 ks, pokoj. tepl.)
- Možnost. připojení externího referenčního zdroje hod. signálu **8 MHz**

Pro měření **čas. parametrů neperiodického signálu** jsou k dispozici:

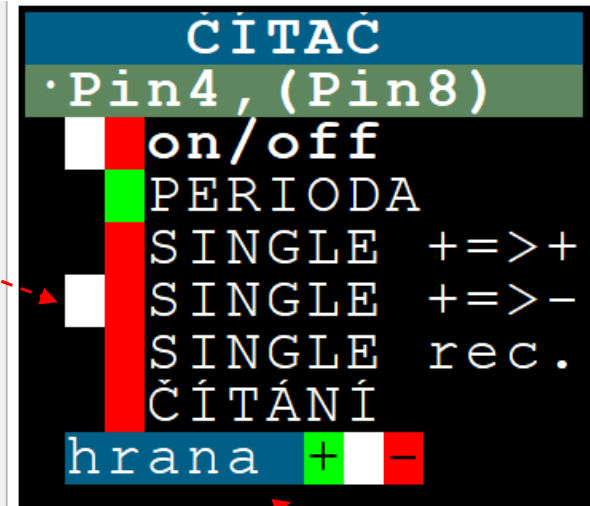
- **Logický analyzátor** až 1x 16 MS/s, délka záznamu 1x 32 KS
- **Osciloskop** až 1x 2 MS/s, délka záznamu 4 kS, rozlišení 8 bitů

Sofistikované řešení čítače s **levným procesorem (cca 30 Kč)**

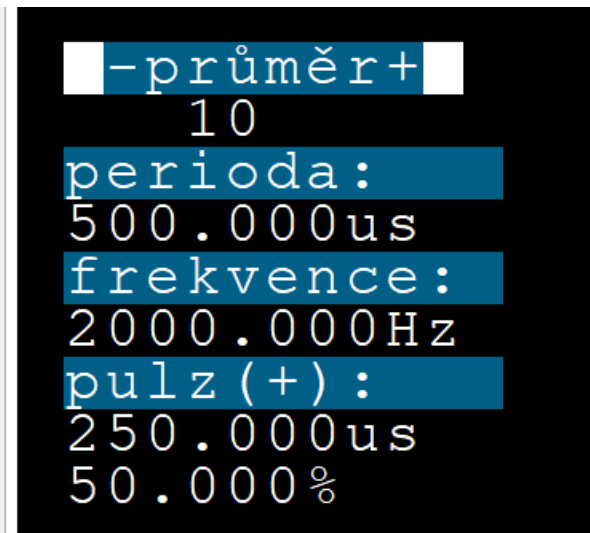
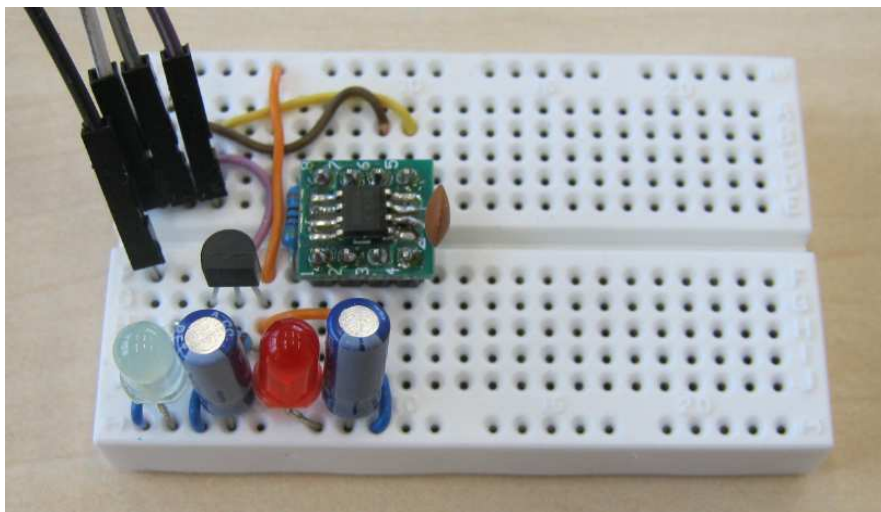
Univerzální čítač – základní funkce

Měření periody a střídy, reciproční měření frekvence z N (průměr) 1 až 250 na sebe bezprostředně navazujících period

volba funkce



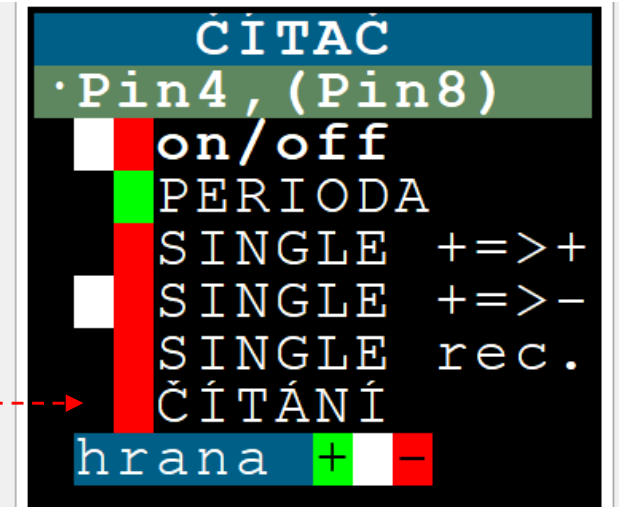
invertování typu akt. hrany



Univerzální čítač – měření frekvence a čítání impulsů

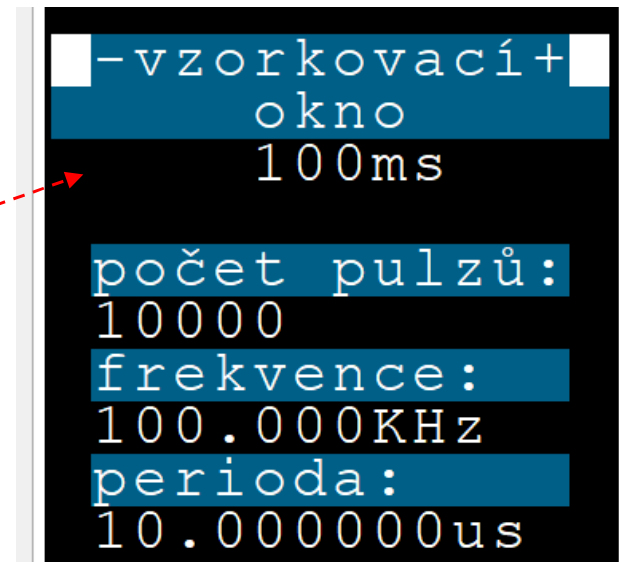
Měření frekvence – až 31 MHz čítáním impulsů po zvolenou dobu (vzorkovací okno- gate time)

volba čítání impulsů



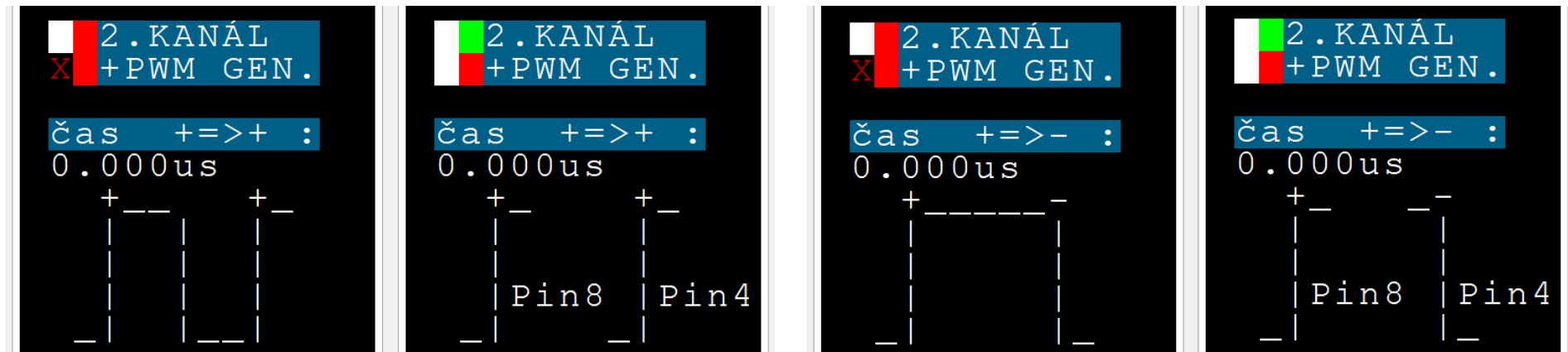
Pro prosté čítání (počítání) impulsů o frekvenci až 31 MHz vzorkovací okno volba „inf“

volba „gate time“



Univerzální čítač – dvoukanálové měření intervalu

Dvoukanálové jednorázové („single“) měření intervalu a zpoždění impulsů (max. interval až 67 s) s rozlišením 15,6 ns



Univerzální tester součástek s G030 Lab

Měření **odporu**, **kapacity**, **ESR**, určení vývodů a prahového napětí **Si diod**, **LED** (+parametry do modelu - Shockleyho rovnice)

Test bipolárních tranzistorů, určení h_{21E} , test **MOSFET**

Rozlišení vývodů LED, fotodiod a fototranzistorů

Minimalizované obvodové řešení – pouze **STM32G030J6M6** + dva rezistory **470 R** a **39 k**

Napájení z USB, zobrazení na **PC** pomocí **terminálového programu (PuTTY,...)**

```
COM18 - PuTTY
Testovani 2 pinovych polovodicu Vdd 3,214 V
Tester soucastek pro STM32G030J6

[+] -|>|- (-) Anoda na + svorce
Dioda
Ud = 655,9 mV @ 4,800 mA R1
Ud = 544,0 mV @ 68,34 uA R2
Parametry modelu
n = 1,009 , Is = 58,59 fA

(p) - navrat do hlavniho menu
(u) - aktivace univerzalniho testu
Katedra mereni
```

Další orientace na mikrořadiče z hlediska SDI

Pro další vývoj SDI z hlediska volby MCU – dvě linie

- **A Orientace na výkon**
- **B Orientace na jednoduchost, dostupnost, nízkou cenu, možnost hromadného nasazení ve výuce**

A – Nucleo F303RE, modul s **STM32G431KBT6**, možnost použití nejen jako **SDI**, ale i pro **výuku vestavných systémů**.

B – STM32G030 v různých pouzdrech (SO8, TSSOP20, LQFP32) použití jako **SDI** i při **programování pomocí Keil Studio ON line** překladače

Raspberry PI PICO- nízká cena, dostupnost v ČR; použití jako **SDI**, možnost výuky programování v Micropython;

Možnosti programování STM32G030

STM32G030

programování pomocí Keil Studio ON line,
možnost programování i jako **Arduino** (pro střední školy)
grafické programování - Ardublock pro děti,

Bc. S. Novák vytvořil jeden společný „*samorozbalovací*“ programový balík (soubory na **embedded.fel.cvut.cz**), který obsahuje nástroje pro programování **STM32G030** jako Arduino; dále grafické programování – Ardublock i nástroj Cube programmer využitý v módu CLI

Vytvoření programu + překlad a automatické nahrání do MCU

prostřednictvím **UART** a boot loaderu a spuštění programu v MCU je „na jedno kliknutí“. Celý proces překladu, nahrávání do FLASH MCU a start programu je pro **uživatele transparentní**.

První využití – v klubu ETC22 na ČVUT FEL pro gymnazisty bez znalostí elektroniky a programování

SDI závěrem – obecné možnosti

SDI pro experimenty v oblasti fyziky, elektroniky a měření

Výuka mikroprocesorové techniky (vestavných systémů) - generace různých signálů pro programovaný procesor a sledování odezvy.

Možnosti podpory SPŠE ze strany ČVUT- FEL v oblasti SDI.

Které typy z našich SDI jsou pro SPŠE zajímavé?

Jak můžeme pomoci? Poskytnutí kitů Nucleo F303RE pro laboratoř

Lze organizovat i workshop pro seznámení s konkrétním SDI

Můžeme poskytnout vzorky pro realizaci a ověření možností SDI

Všechny prezentované SDI vznikly v laboratoři videometrie na katedře měření ČVUT – FEL v rámci studentských projektů (tomu také někdy mohou odpovídat některé nedokonalosti).

Programy jsou k dispozici na stránkách

embedded.fel.cvut.cz/sdi