
Kurz praktické elektroniky, D2

Katedra měření, ČVUT – FEL, Praha 29.8. – 2. 9. 2022

5.9 – 9. 9. 2022

**prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí Katedry měření**

**doc. Ing. Jan Fischer, CSc.
prezentující**

**Tento materiál je určen pouze pro studenty ČVUT–FEL,
účastníky kurzu praktické elektroniky, organizovaného
Katedrou měření, ČVUT–FEL v Praze v září 2021.**

29. 9. – 2. 9. 2022 turnus 1 Studenti KyR + BIO

5. 9. – 9. 9. 2022 turnus 2 Studenti KyR + EK

Nesmí být zveřejněn jinou formou a na jiných www stránkách.

Den 2 – náplň

**Číslicový osciloskop („Digital oscilloscope“), základní princip,
32-bitový mikrořadič (procesor) STM32F042 s jádrem ARM
Cortem – M0**

Realizace přístroje F0–Lab s mikrořadičem STM32F042

Základní oživení STM32F042 na kontaktním poli

Funkce přístroje F0–Lab v režimu voltmetr, osciloskop, generátor

Ovládání a použití osciloskopu s F0–Lab

Digitální osciloskop

Digitální multimetr – měří **stejnoseměrné napětí**, použitelný i pro **velmi pomalu proměnné** napětí. Odměr, zápis hodnoty, vynesení do grafu, záznam **průběhu** napětí zdroje, teploty objektu,

Podstata – digitalizace hodnot napětí, jejich záznam, následné zobrazení časového toho napětí

Digitální záznamník zvuku, záznam řeči v mobilním telefonu – podobný princip – digitalizace signálu a záznam těchto hodnot.

Zvuková karta – také možnost digitalizace signálu se vzorkovací frekvencí řádu **10–tek kHz**. Existují programy PC, umožňující zobrazení **průběhu signálu** zaznamenaného **zvukovou kartou**.

Digitální osciloskop, specializovaný přístroj pro **digitalizaci a záznam signálu s vysokou vzorkovací frekvencí a jeho zobrazení** (příp. přenos do PC).

Dig. osc. – přístroj **pro znázornění průběhu napětí (signálu) v čase**.

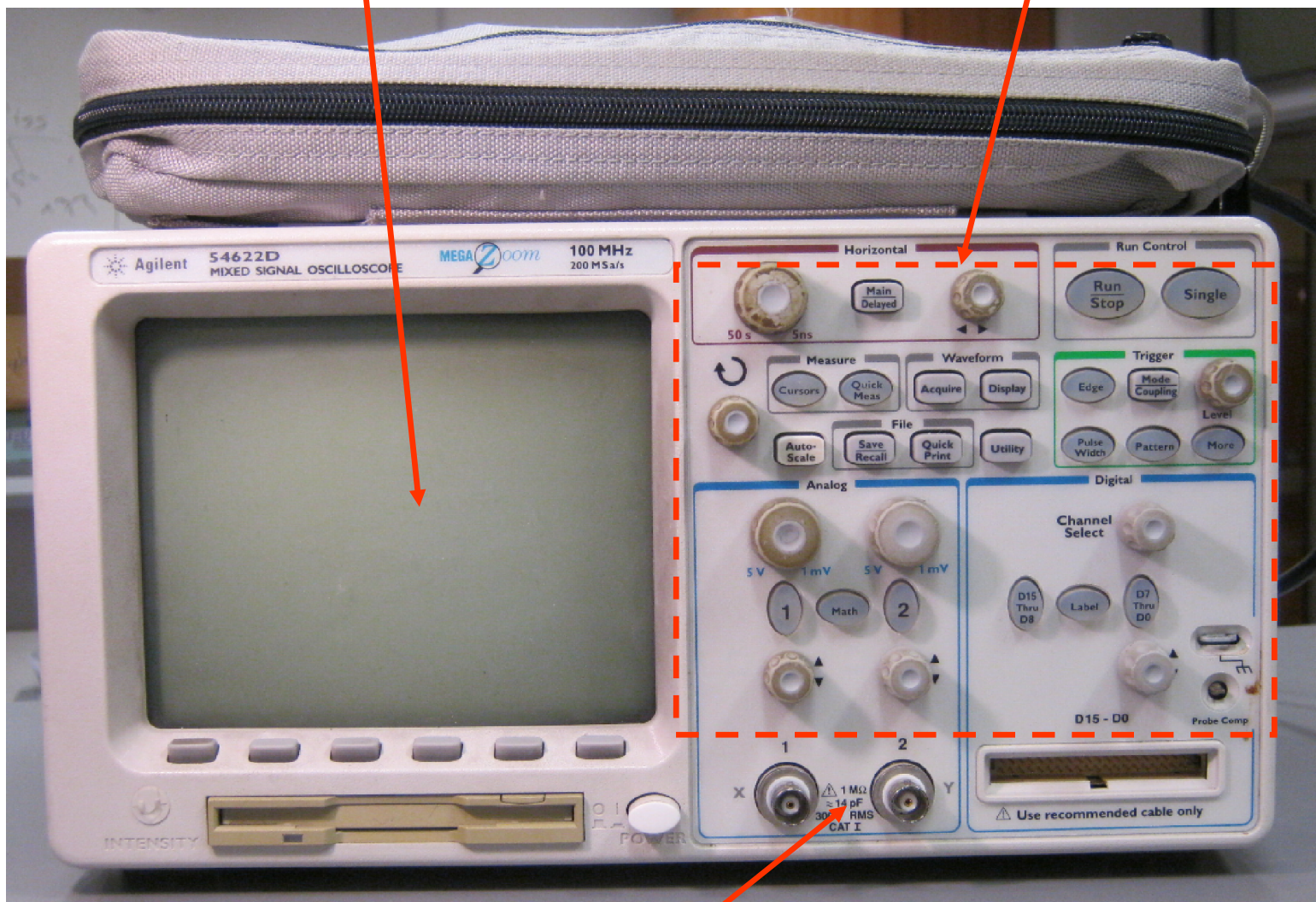
Podstatné – rychlý převodník ADC a rychlá záznamová paměť.

ADC = Analog to Digital Converter

Digitální osciloskop HP Megazoom, HP54622 D

Obrazovka pro zobrazení průběhu signálu

Ovládací prvky



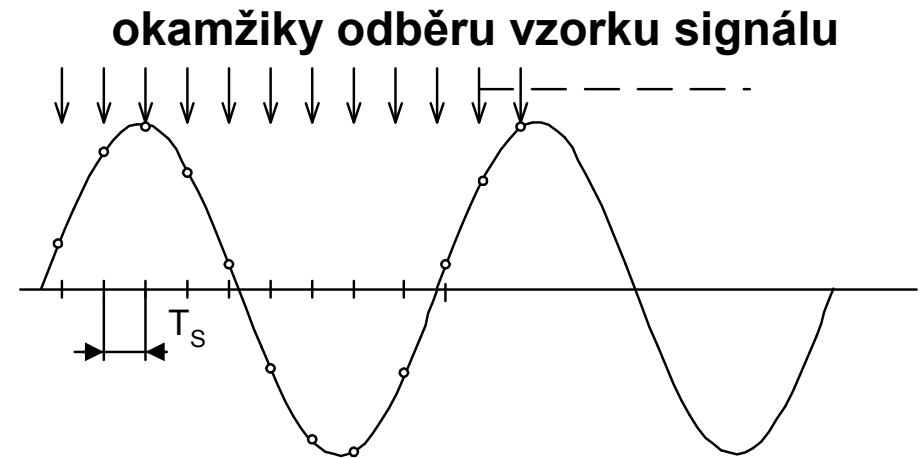
Vstupy signálu

Vzorkování signálu

Odběry vzorků signálu s periodou T_S

Vzorky equidistantně – se stálým intervalem, ukládání hodnot vzorkovaného napětí do paměti

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$



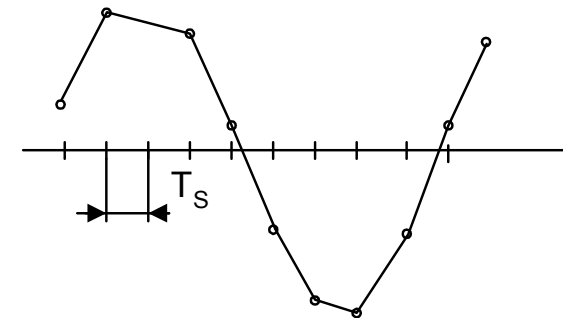
Rekonstrukce signálu – nejjednodušší způsob - spojením bodů (i našem F0-Lab).

Současné osciloskopy používají podstatně sofistikovanější zůsoby, využití interpolace, (sinc filter,..)

Možnost rekonstrukce sinus ze čtyř bodů

Osciloskop Megazoom- viz. laboratoř.

rekonstrukce signálu



Digitální osciloskop

Časová základna – (time base) nastavení **rychlosti záznamu signálu** – **vzorkovací frekvence**, (počet vzorků signálu za sekundu)

Důležité parametry: **rychlost vzorkování**, max. **počet vzorků** zaznamenaných **do paměti**.

HP Megazoom HP54622 až 200 Ms/s = 200 mil. vzorků/s

Kapacita záznam. paměti, 2 Ms (megasample) = 2 mil. vzorků.

Tedy **plnou rychlostí** zaznamená časový úsek **10 milisekund**

Současné dig. osciloskopy, vzork. frek. až řádu GHz (gigaHertzů)

Paměť – jednotky až stovky Ms

t_z doba záznamu, f_s vzorkovací frekvence, M počet vzorků v paměti

Vzorkuje se buď **velmi rychle a krátkou dobu**,
nebo **pomaleji a delší dobu**.

$$t_z = \frac{M}{f_s}$$

Digitální osciloskop

Synchronizace, spuštění záznamu osciloskopu

(analogie „fotopast“ – spustit záznam, až když je k dispozici hledaná událost)

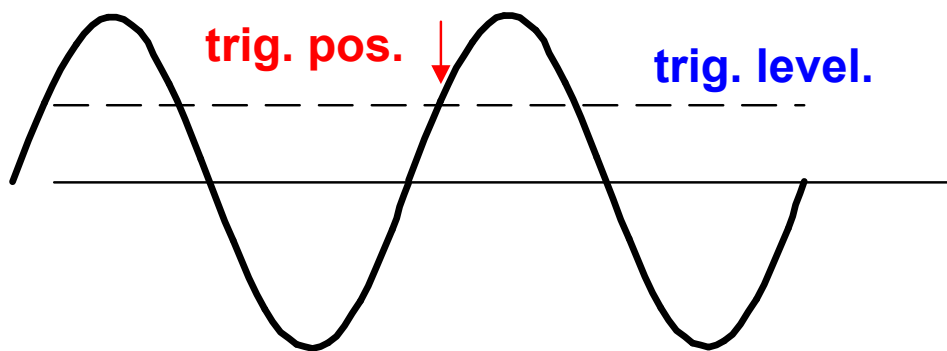
Zpuštění záznamu ve vhodnou dobu, resp. danou událostí

„**trigger**“ – volba spuštění záznamu **vybranou hranou signálu**

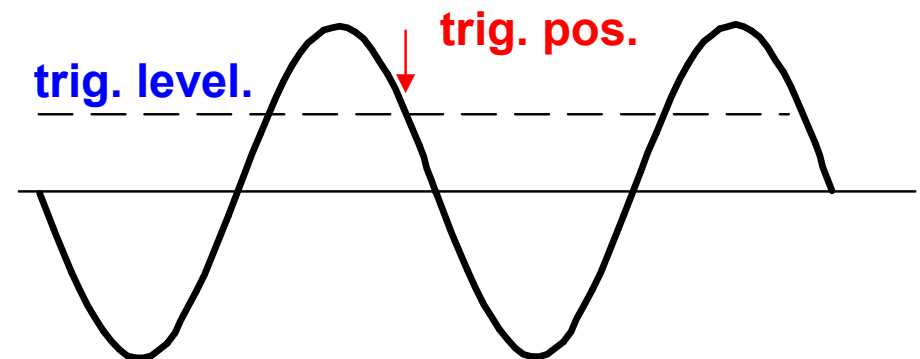
Oblast **trigger**, volba **edge** (hrana) **náběžná** nebo **spádová hrana signálu**

Zobrazení spouštěcí události – uprostřed obrazovky, případně posun do požadované polohy

spuštění **náběžnou** hranou



spuštění **spádovou** hranou



Realizace **F0–Lab** – s mikrořadičem

F0–Lab jednoduchý laboratorní přístroj nahrazující velmi omezeně funkce **voltmetru, osciloskopu a impulsního generátoru**

Mikrořadič STM32F042F6P6

Procesorové jádro ARM Cortex – M0, 32-bitový procesor

obsahuje paměť programu FLASH, paměť RAM, sběrnice, vstupně výstupní brány, čítače-časovač, **převodníky ADC** - analogo/ číslicový převodník s rozlišením 12 bitů

Vstupem jenapětí, výstupem jsou binární čísla

0000 0000 0000 až 1111 1111 1111

(což představuje **0 až 4095** dekadicky)

Rozsah převodníku ADC je určen napětím V_{DDA}

pokud je $V_{DDA} = 3,3 \text{ V}$ pak je krok (kvantum) převodníku přibl. **0,8 mV**

Rozlišení – srovnatelné s multimetrem

Bloková struktura mikrořadiče STM32F031

STM32F031

Z rodiny STM32F0xx

(jako náš
STM32F042)

oproti němu však
jednodušší a nemá
USB,

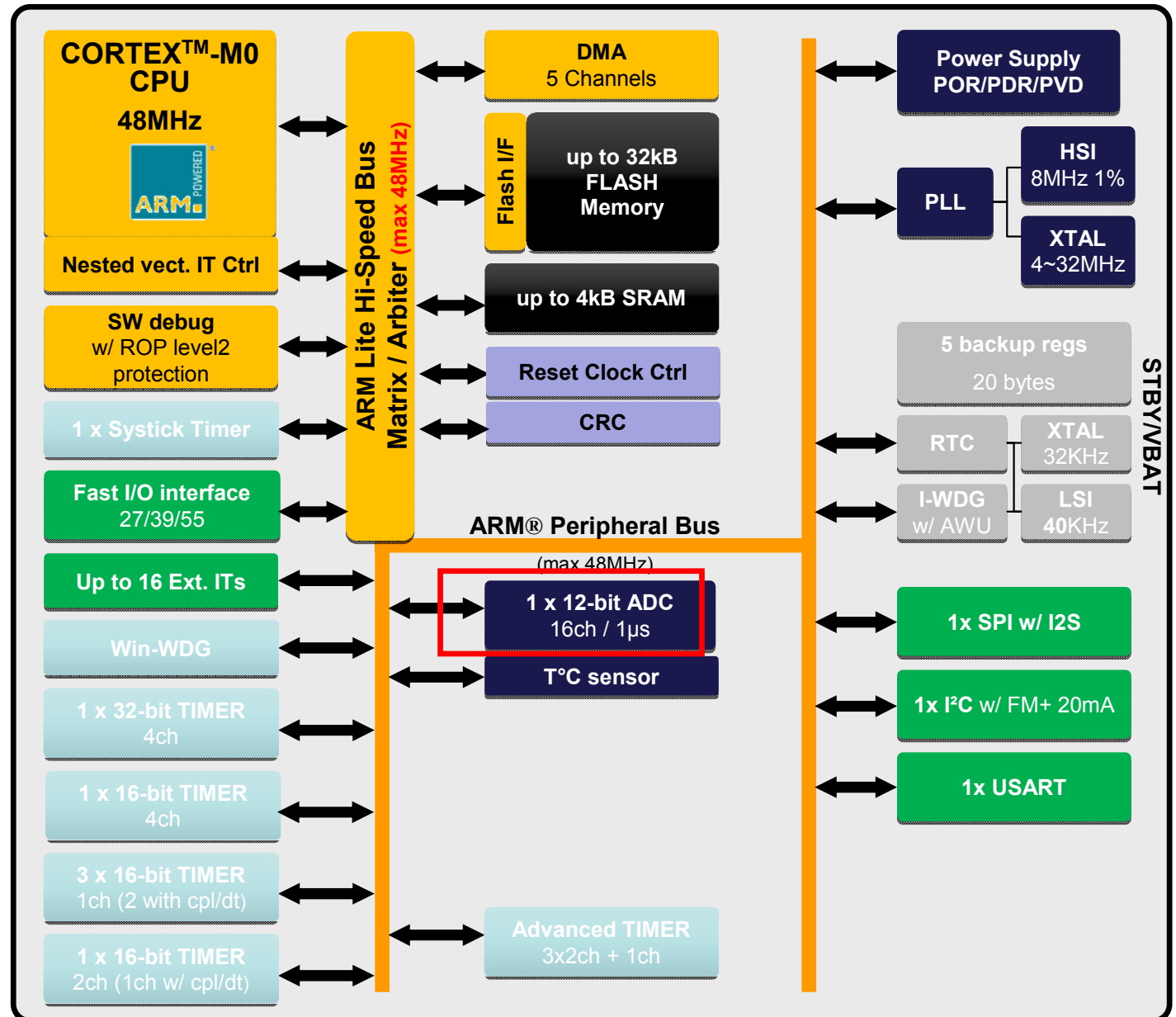
zde uveden
pro názornost
obrázku

Vše, co má

STM32F031

má i STM32F042

a další věci navíc



Struktura STM32F042

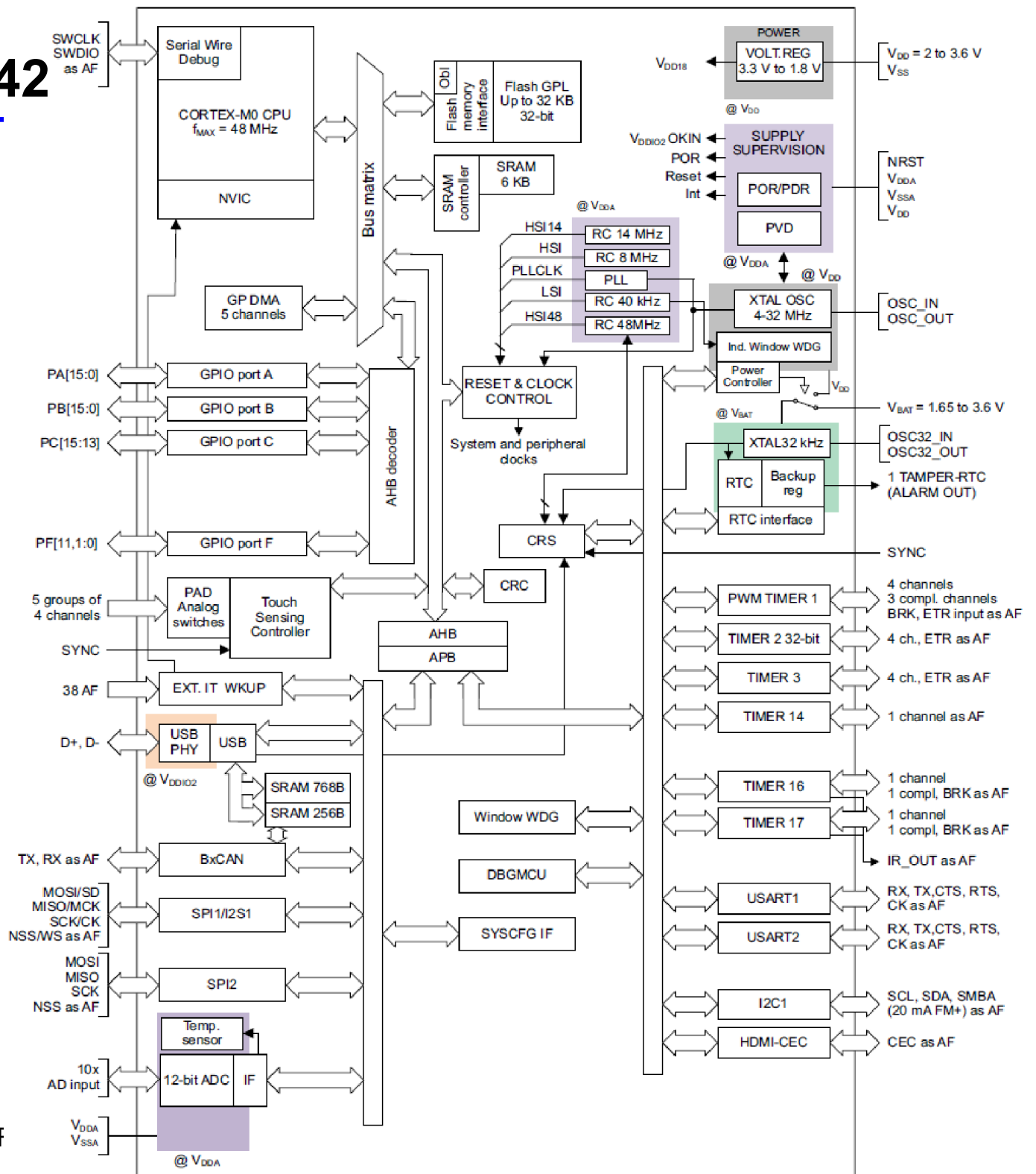
Struktura

STM32F042

komplexní obvod

mnoho periferních bloků

Podstatně složitější než
ATMega 328 v Arduino



Limity napětí na STM32F042, *aneb jak to nespálit*

Obvod STM32F042 je vyroben technologií CMOS (stejně jako drtivá většina ostatních procesorů) a z toho **vyplývají omezení**

Napájení V_{DD} a V_{SS} GND se nesmí přepólovat = otevře se substrátová dioda a poteče velký proud omezený napájecím zdrojem. Obvod bude „topit“.

Na vstupech nesmí být **záporné napětí** (nižší potenciál, než na V_{SS})
na V_{DD} **zapojit 3,3 V** (může být i menší až **2,4 V**).

Na vstupy voltmetru **nesmí** být přivedeno napětí větší než napájecí (V_{DDA}), otevřely by se přechody PN na vstupu a tekla by proud přes tuto diodu do napájení – a může se poškodit vstupní struktura (tedy na vstup procesoru bez napájení se nesmí přivést žádné napětí!!!)

Jak řešit ochranu? Do série se vstupem zapojit ochranný rezistor alespoň 470 Ohmů, kterým se omezí velikost proudu!!!

V modulu s STM32F042 jsou napájecí piny V_{DDA} a V_{DD} propojeny

STM32F042 – limity napětí

Table 18. Voltage characteristics⁽¹⁾

Symbol	Ratings	Min	Max	Unit
$V_{DD}-V_{SS}$	External main supply voltage	-0.3	4.0	V
$V_{DDIO2}-V_{SS}$	External I/O supply voltage	-0.3	4.0	V
$V_{DDA}-V_{SS}$	External analog supply voltage	-0.3	4.0	V
$V_{DD}-V_{DDA}$	Allowed voltage difference for $V_{DD} > V_{DDA}$	-	0.4	V
$V_{BAT}-V_{SS}$	External backup supply voltage	-0.3	4.0	V
$V_{IN}^{(2)}$	Input voltage on FT and FTf pins	$V_{SS}-0.3$	$V_{DDIOx} + 4.0^{(3)}$	V
	Input voltage on TTa pins	$V_{SS}-0.3$	4.0	V
	Input voltage on any other pin	$V_{SS}-0.3$	4.0	V
$ \Delta V_{DDx} $	Variations between different V_{DD} power pins	-	50	mV
$ V_{SSx}-V_{SS} $	Variations between all the different ground pins	-	50	mV
$V_{ESD(HBM)}$	Electrostatic discharge voltage (human body model)	see Section 6.3.12: Electrical sensitivity characteristics		-

1. All main power (V_{DD} , V_{DDA}) and ground (V_{SS} , V_{SSA}) pins must always be connected to the external power supply, in the permitted range.
2. V_{IN} maximum must always be respected. Refer to [Table 19: Current characteristics](#) for the maximum allowed injected current values.
3. Valid only if the internal pull-up/pull-down resistors are disabled. If internal pull-up or pull-down resistor is enabled, the maximum limit is 4 V.

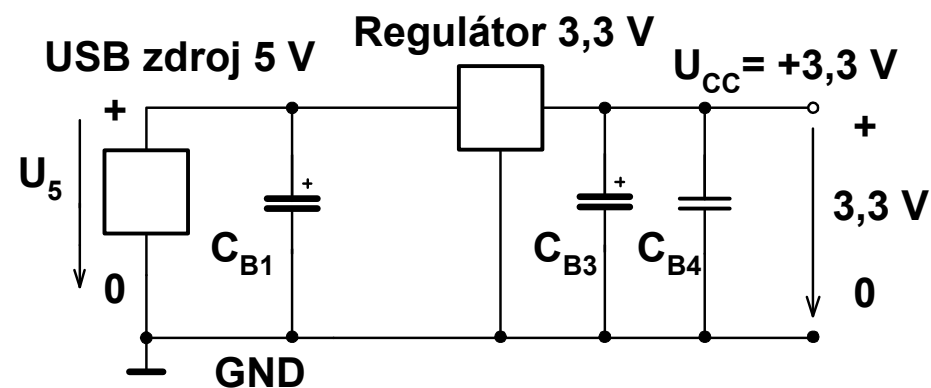
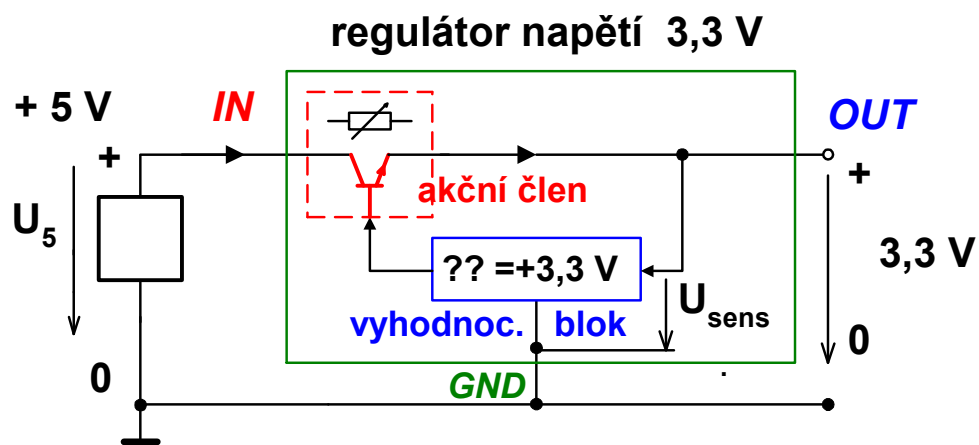
Zdroj +3,3 V

Pro napájení mikrořadiče (mikroprocesoru) – potřeba napětí 3,3 V

Regulátor napětí, (stabilizátor – poskytuje na výstupu stabilizované napětí nezávisle na změnách napětí na vstupu), **z většího vyrábí menší napětí**

Zpětnovazební regulátor – porovnání napětí U_{SENS} s žádanou hodnotou 3,3 V „**je menší – přidej**“, „**je větší – uber**“ pomocí akčního členu (analogie – redukční ventil, tempomat v autu, regulátor topení...)

Záporná zpětná vazba – základ všech regulátorů



Třísvorkový regulátor napětí HT7533

HT7533 Regulátor (stabilizátor) **napětí + 3,3 V**,
tolerance výroby – **hodnoty 3,2 V až 3,4 V**
proud až 100 mA

Pouzdro **TO92** – stejné, jako tranzistor BC546
pozor na **záměnu** s **BC546** i s jinými regulátory
např. **LE33** – **odlišné** rozložení vývodů

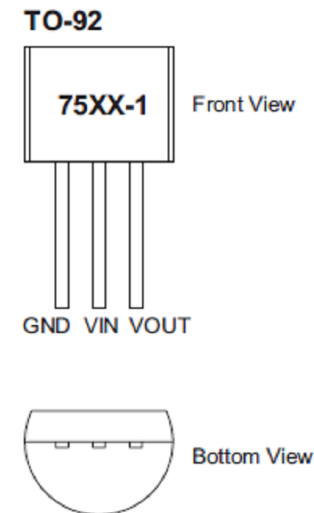
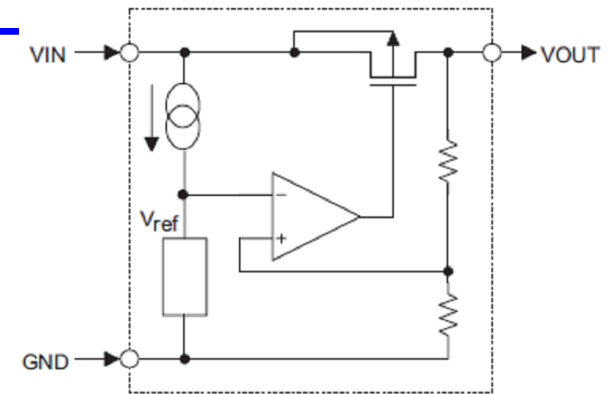
Pozn.: V katalogu u HT7533 uvedeno
„100 mA Low Power LDO“,

Low power míní se, že má malou vlastní spotřebu
proudu pro vlastní činnost (režie)

LDO - „**Low Drop Output**“, postačuje malý spád (drop) na
až v textu je uvedeno **„three-terminal.... regulator“**

Pozor na zkrat na výstupu, z USB napětí +5 V

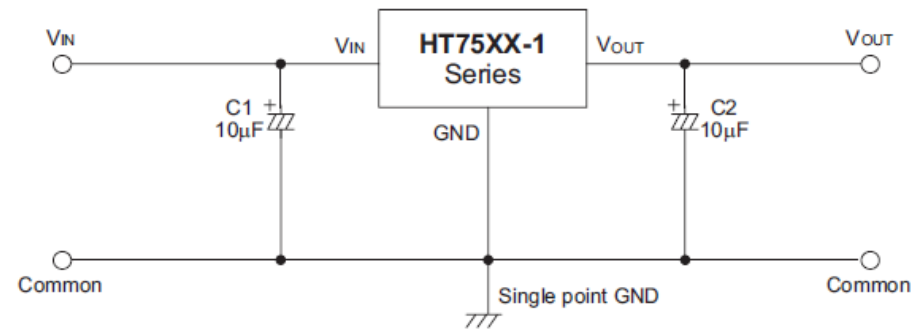
$P = U \times I = 5 \text{ V} \times 0,1 \text{ A} = 0,5 \text{ W}$ – ohřátí regulátoru
omezení proudu na 100 mA



Experiment zapojení regulátoru napětí 3,3 V

Na kontaktním poli zapojit regulátor napětí HT7533

Použít **blokování** pomocí elytů 22 uF (45 uF) příp. i keramických kondenzátorů 100 nF na vstupu i výstupu



HT7533-1, +3.3V Output Type

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage Tolerance	5.5V	I _{OUT} =10mA	3.201	3.3	3.399	V
I _{OUT}	Output Current	5.5V	—	60	100	—	mA
ΔV _{OUT}	Load Regulation	5.5V	1mA ≤ I _{OUT} ≤ 50mA	—	60	150	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	100	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	5.5V	No load	—	2.5	5	µA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 24V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	5.5V	I _{OUT} =10mA 0°C < T _a < 70°C	—	±0.5	—	mV/°C

Materiál na realizaci kitu

Nepájivé **kontaktní pole** + vodiče

Modul s STM32F042F6P6 s blokovacím **kondenzátorem 100 nF**

USB mini – konektor

HT7533 regulátor (stabilizátor) napětí **+3,3 V**

LED 2x, rezistor **470 Ohmů 2x**;

Tlačítko 2x

Kondenzátory: 2x elektrolytický **22 uF (22 uF, 33 uF, 47 uF)** velikost není kritická, hlavně tam musí být nějaký elyt zapojen

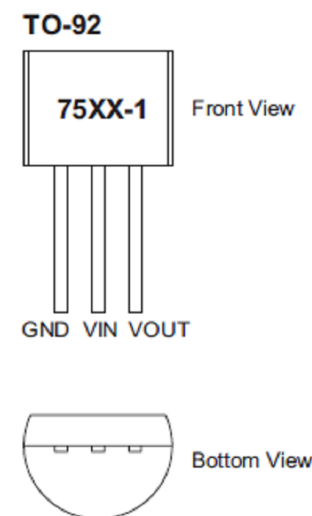
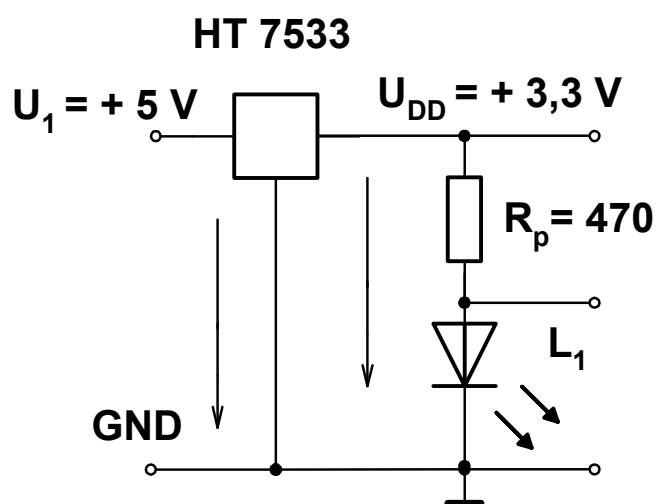
keramický kondenzátor **100 nF**

Zapojení stabilizátoru

Zapojit stabilizátor napětí **+3,3 V**, připojit indikační **zelenou difúzní LED** s rezistorem **470 Ohmů** a multimetrem **zkontrolovat** správnou velikost napětí **$U_{DD} = +3,3 V$**

Stabilizátor **HT7533** má pouzdro **TO92**, stejné, jako tranzistory, např. **BC546** používané v dalších úlohách, **pozor** na nechtěnou **záměnu!**

Katoda LED na zem – GND (ground).



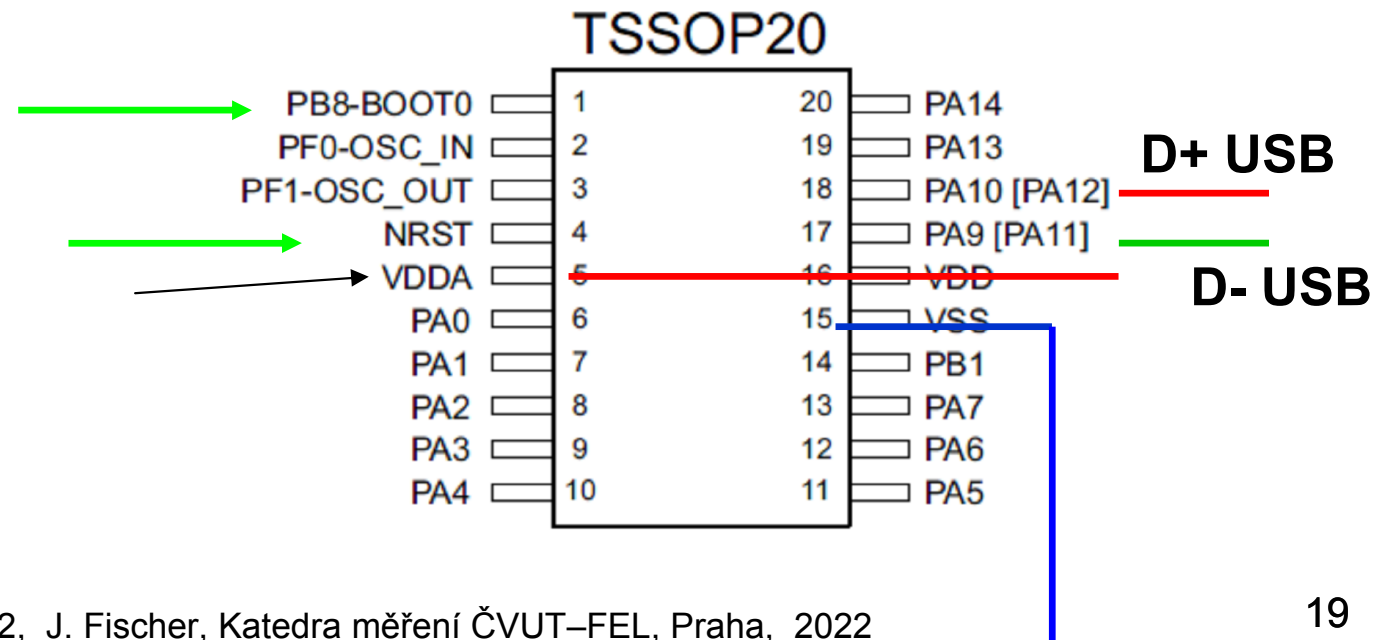
Signály procesoru, zapojení

Obvody procesoru zapojovat až po kontrole správnosti napětí

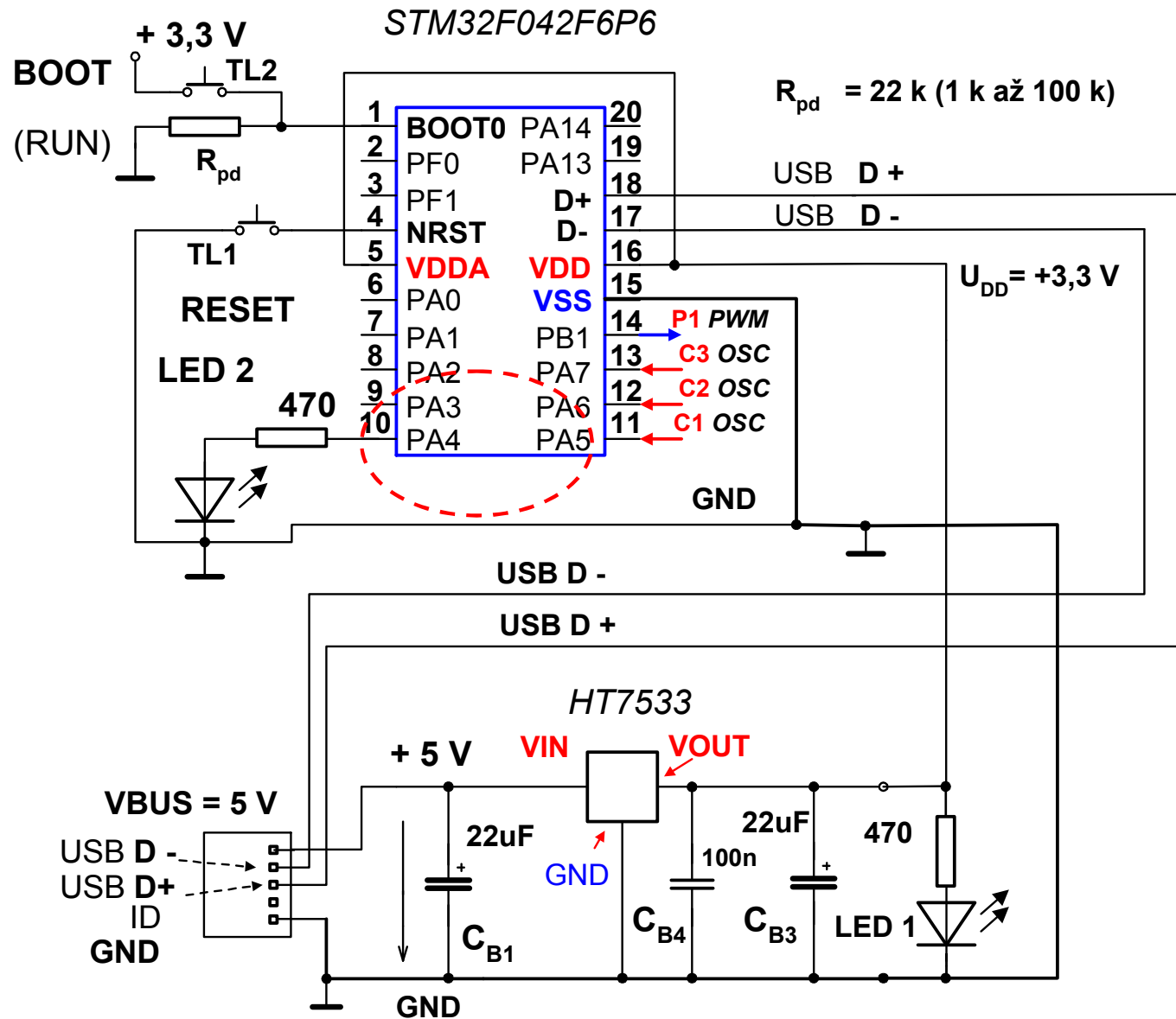
$U_{DD} = 3,3 \text{ V}$ (Zapojovat při odpojeném napájení)

Na desce procesoru je **propojka** mezi pinem č. 5 (V_{DDA}) a pinem č. 16 (V_{DD})

Na **desce procesoru je zapojen** blokovací keramický kondenzátor $C_{B4} = 100 \text{ nF}$ mezi pinem č. 15 V_{SS} a pinem č. 16 V_{DD} , není jej tedy třeba zapojovat na poli.

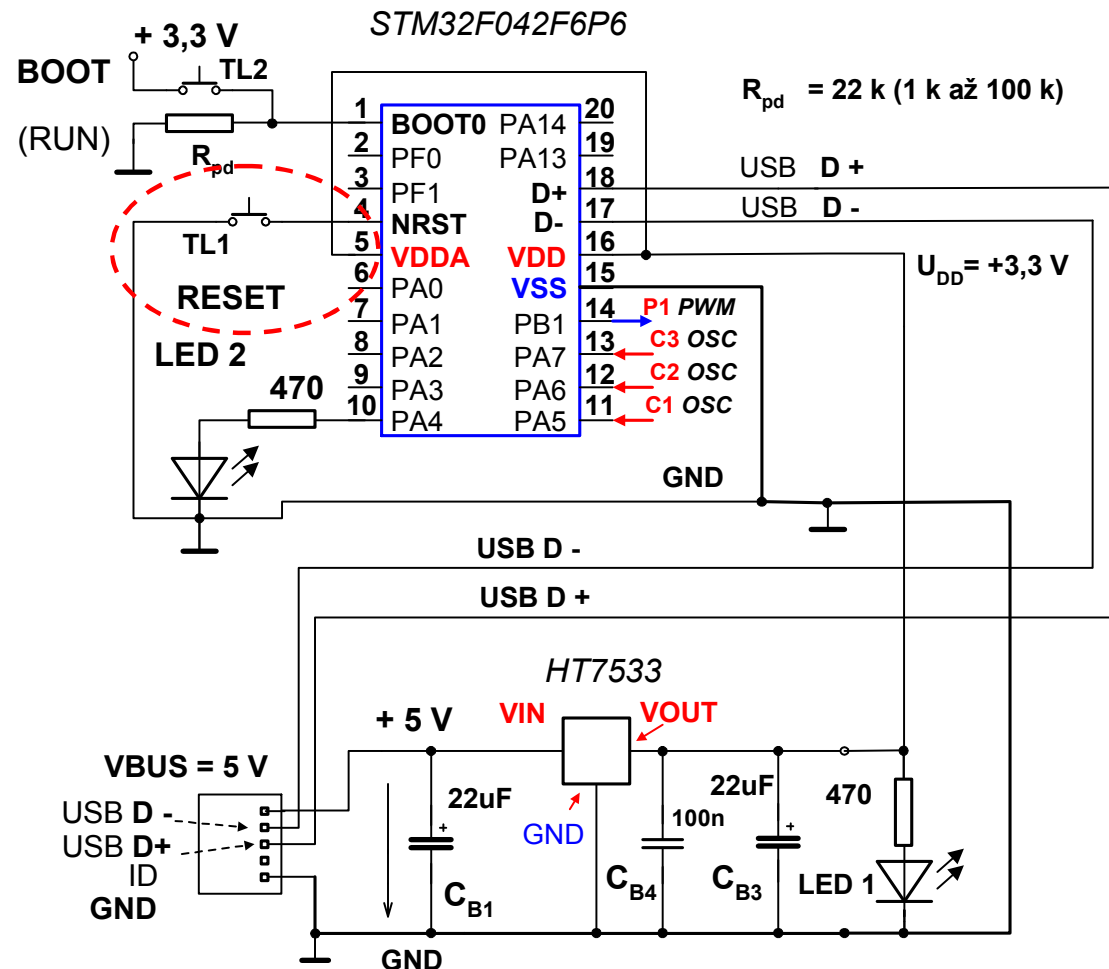


Zapojení kitu F0-Lab

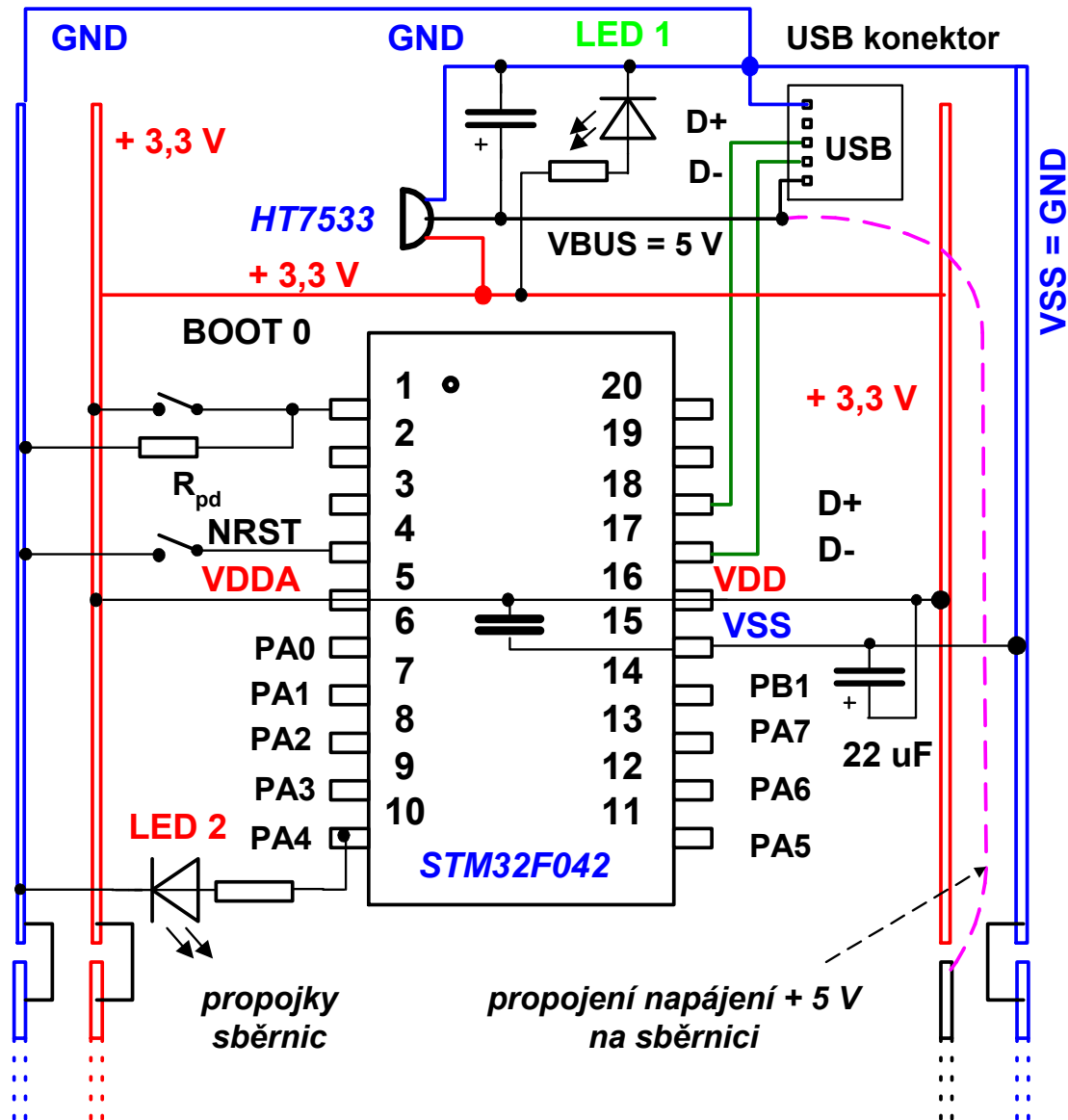


Poznámka k zapojení vstupu NRST

Při práci a manipulaci s kitem může občas dojít k **nechtěnému vyvolání resetu** procesoru. Toto se poněkud omezí, pokud se použije **keramický kondenzátor 100 nF**, který se připojí **mezi vstup NRST a zem – GND**.



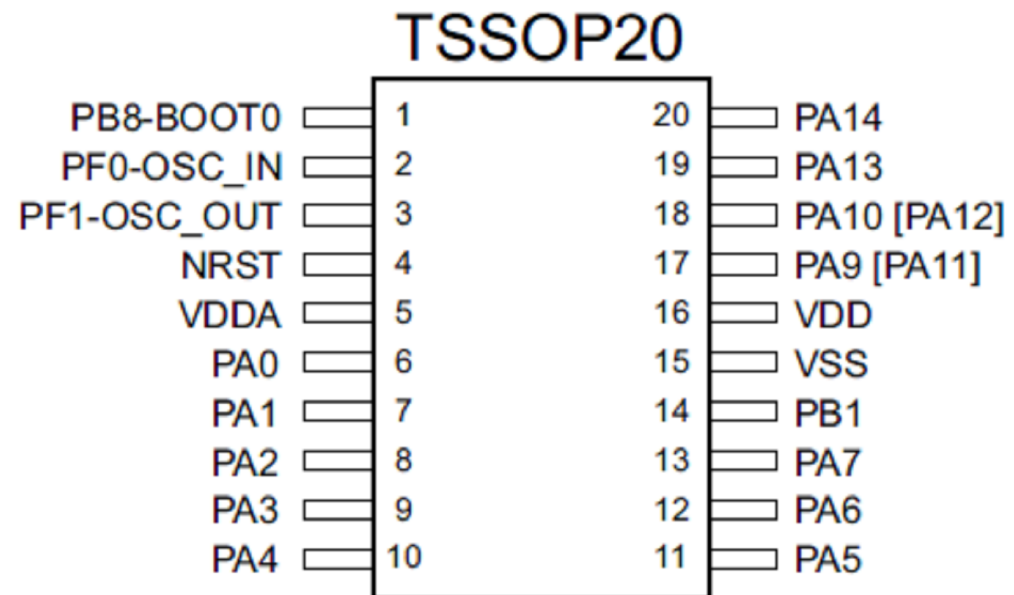
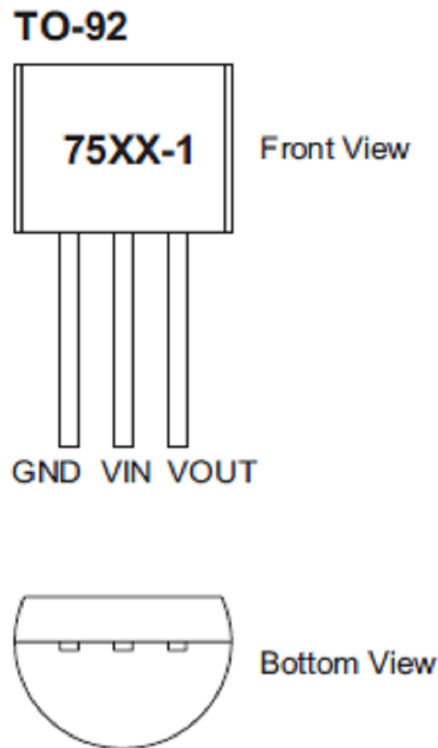
Uspořádání na kontaktním poli



Součástky pro zapojení STM32F042

**Stabilizátor + 3,3 V
HT7533**

**Procesor
STM32F042F6P6**



Postup sestavení kitu

Sestavovat kit na kontaktním poli postupně

Orientace pole – výstupky na poli na straně s konektorem USB

Zachovat uspořádání součástek dle doporučení

Zapojit:

Konektor **USB**, regulátor napětí HT7533 **+3,3 V**,

indikace napájení **+3,3 V** pomocí **LED 1** (s rezistorem 470 Ohmů).

Zkontrolovat správnost napětí **+3,3 V**

Zapojit modul se **STM32F042**, tlačítko **BOOT** +

pull down rezistor (10k nebo 68 k),

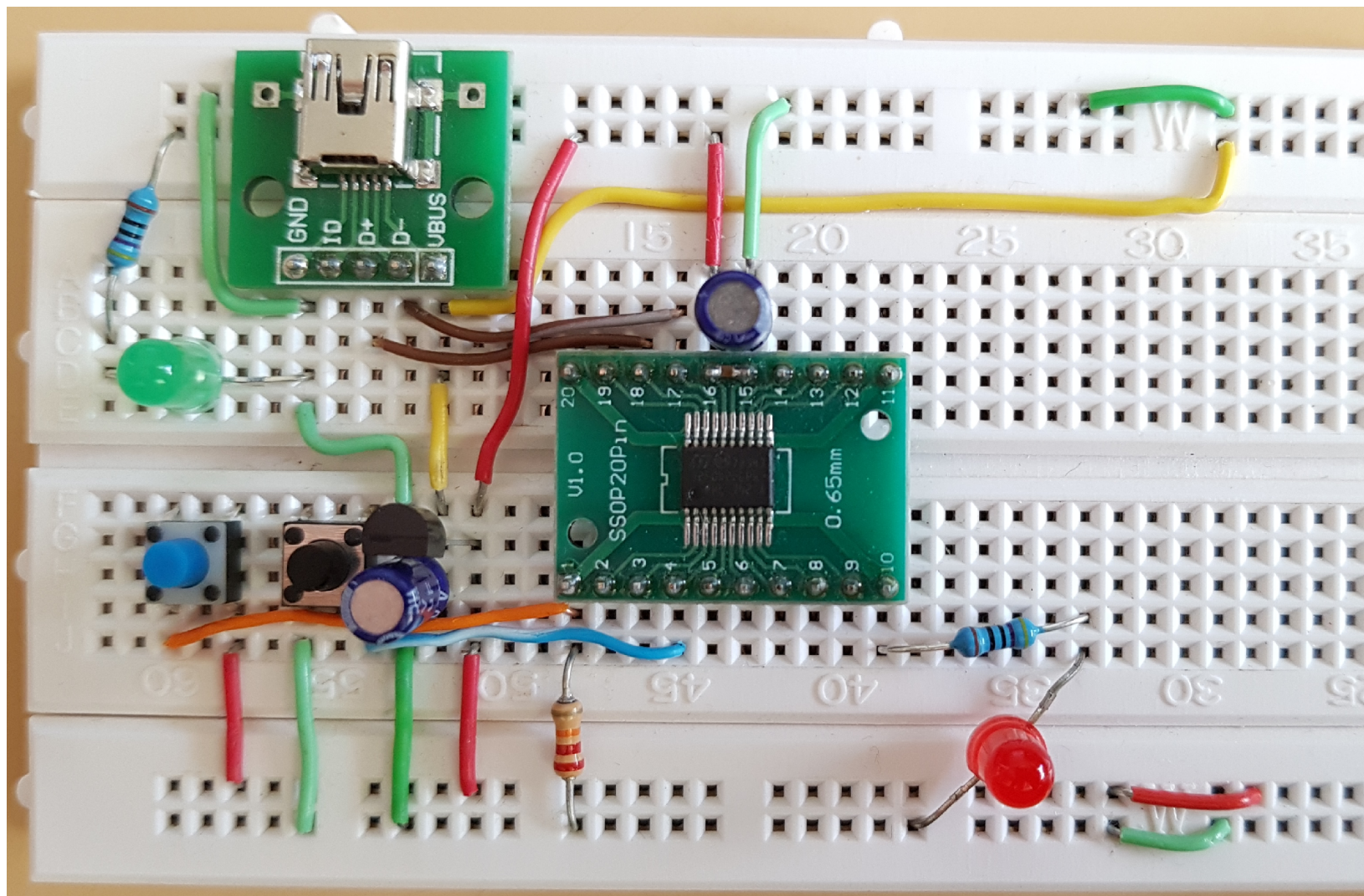
reset tlačítko,

LED na pin č. **10** přes rezistor **470 Ohmů**.

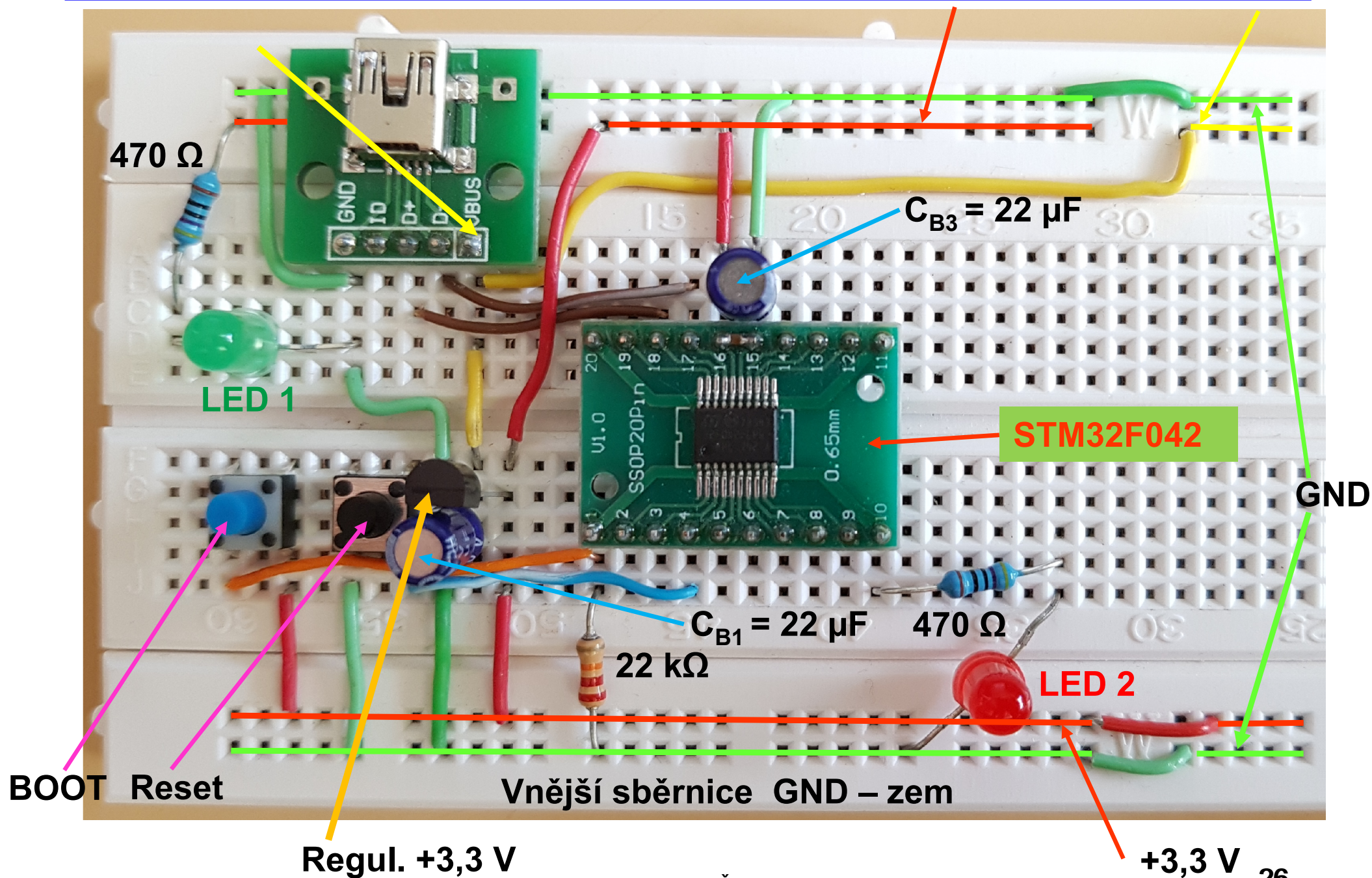
Zapojovat vodiče podle schématu, ne podle fotografií !!!

(Snímky využít jen pro inspiraci rozložení součástek.)

Pole osazené modulem s STM32F042F6



Pole osazené modulem s STM32F042F6 + popis



Postup oživení kitu

Kontrola funkce regulátoru napětí HT7533 **+3,3 V**, **indikace napájení +3,3 V LED 1** (s rezistorem 470 Ohmů). **Zkontrolovat** správnost **napětí +3,3 V**

Zapojit modul se **STM32F042**, **tlačítko pro BOOT + pull down rezistor**, reset tlačítko, LED na pin 10 přes s rezistorem.

Základní kontrola funkce mikrořadiče STM32F042 – stisk a uvolnění RESET, spuštění (*našeho námi dříve nahraného*) **programu v mikrořadiči – LED 2 na pinu 10 (PA4) – dvakrát blikne**, zhasne a mikrořadič pokračuje programem osciloskop (pokud je připojen přes USB k PC s ovládačem a s příslušnou PC aplikací).

Na PC je třeba **ovládač USB – VCP** a program **Zero e_labviewer v0.5**.

Kontrola funkce mikrořadiče STM32F042 a USB

stisk tlačítka „**BOOT**“, stisknout **reset**, uvolnit **reset**, uvolnit **BOOT** spustí se **vnitřní program „boot loader“** v **STM32F042** a hledá rozhraní, prostřednictvím kterého by mohl **nahrát nový firmware**.

(„**Boot loader**“ je nahrán ve zvláštní části paměti již z výroby a zůstává v ní stále. Aktivuje se pouze v režimu „boot“).

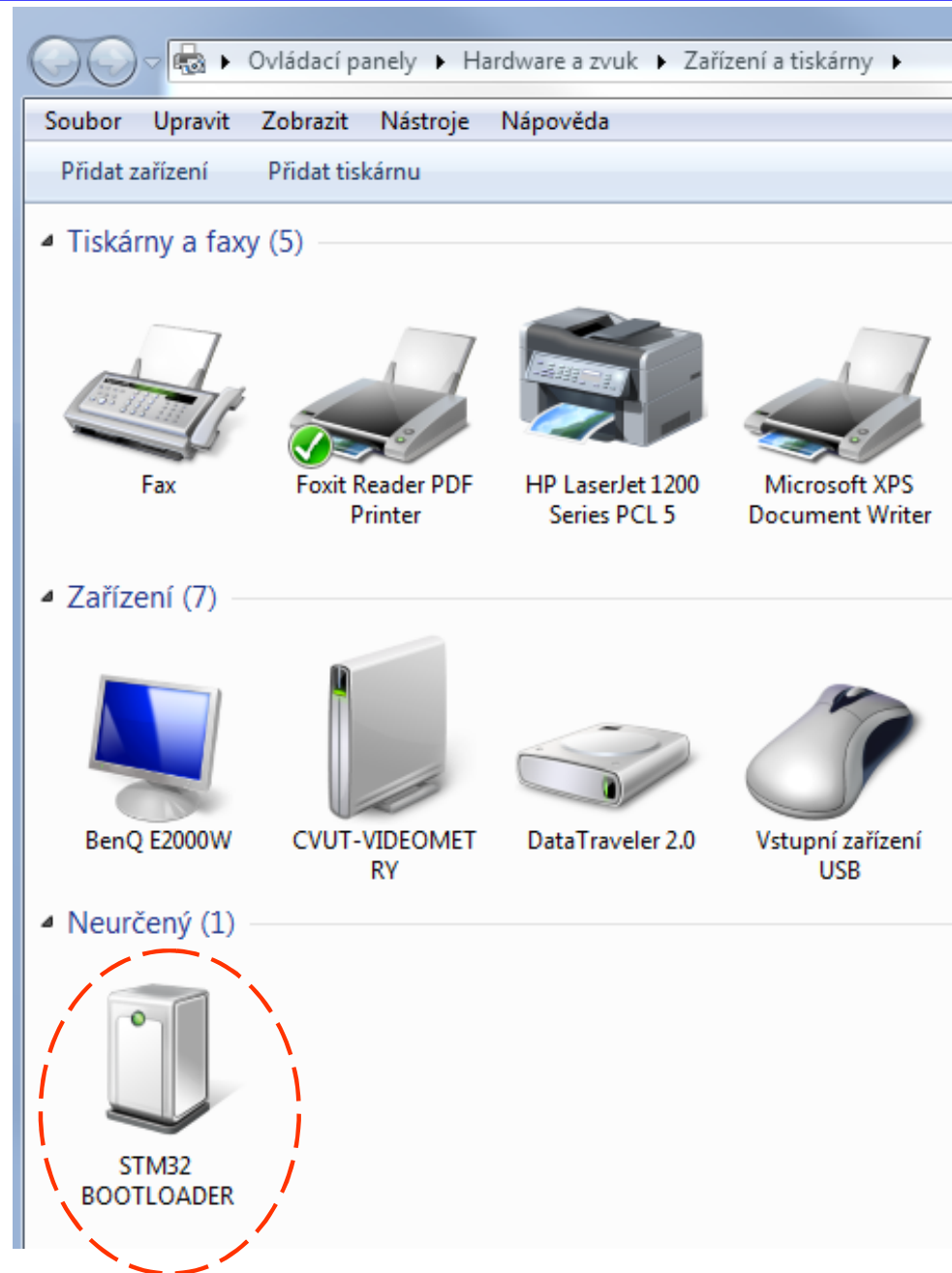
Mikrořadič připojený **na USB v režimu „boot“ (tlačítko boot stisknuto)** se projeví jako zařízení

STM32 Boot loader

Toho je možno využít pro **kontrolu funkčnosti** (i **nenaprogramovaného**) **mikrořadiče** a jeho spolupráci s rozhraním USB.

Při stisku **RESET** zařízení **STM32 Boot loader** „zmizí“, po uvolnění **reset** se opět objeví.

STM32F042 jako zařízení (v režimu BOOT)



Kontrola funkce mikrořadiče STM32F042 a USB

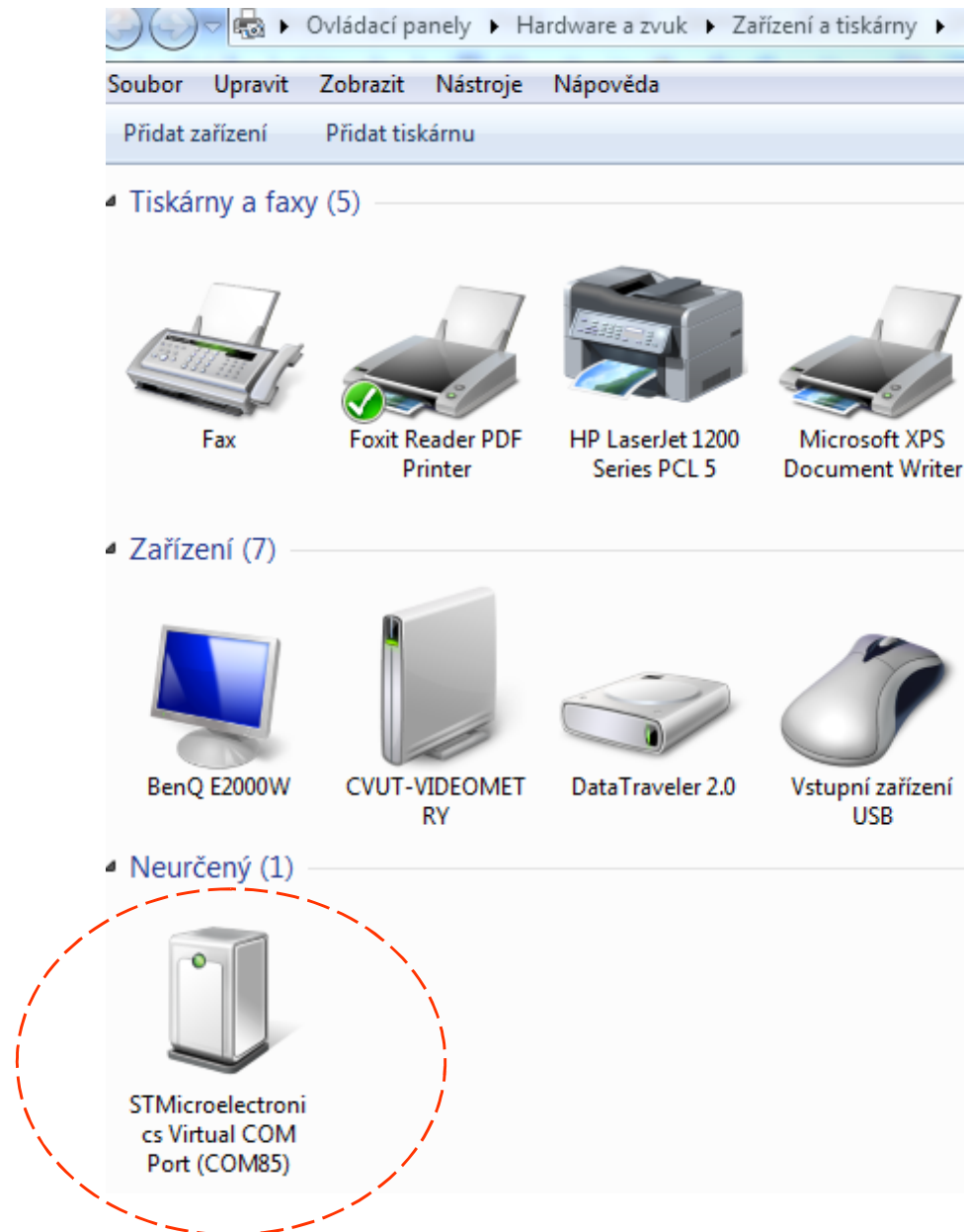
Na počítačích v laboratořích je nainstalovaný potřebný **ovládač USB VCP (Virtual Com Port)** pro mikrořadiče STM32 a PC aplikace **zero_elabviewer_v0.5** (příp. starší verze).

Stisknout **reset**, spustí se firmware (nahraný dříve) v STM32F042, **LED blikne 2x a mikrořadič začne prostřednictvím USB komunikovat s PC.**

V PC se mikrořadič projeví jako zařízení **Com port** (Virtual Com Port).

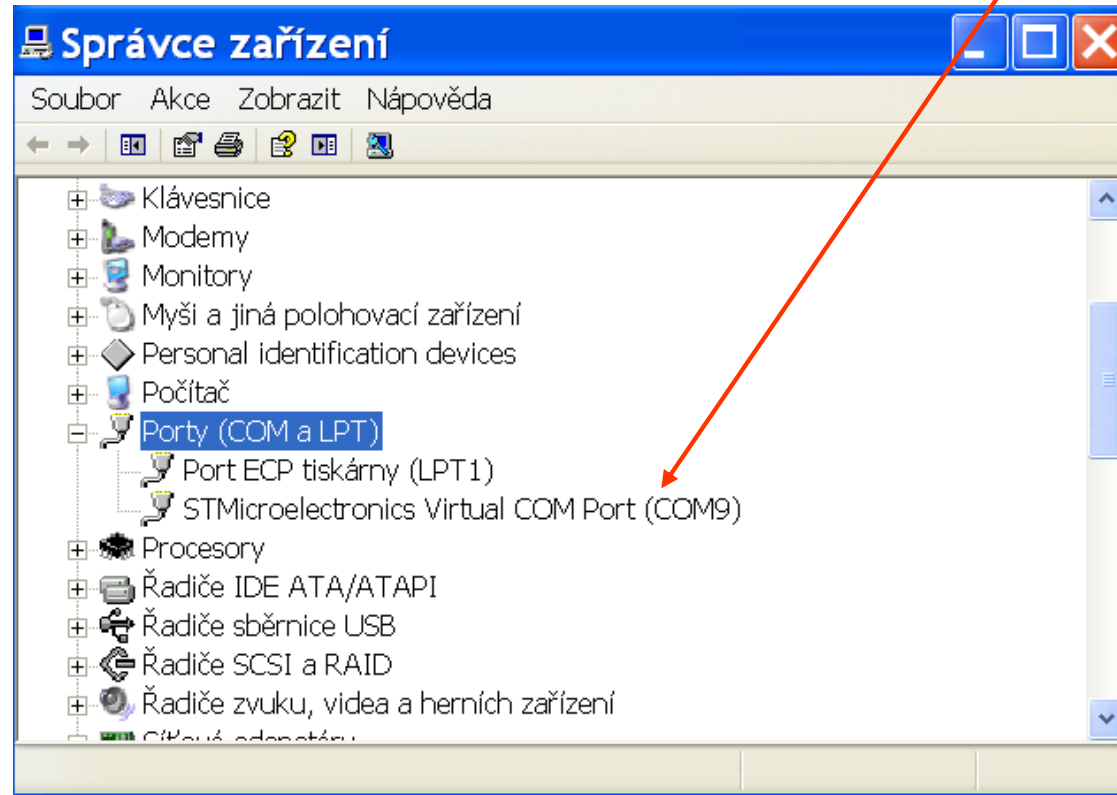
Podmínkou toho je, že STM32F042 je naprogramován příslušným firmware a je též správně nainstalovaný ovládač USB VCP

STM32F042 jako zařízení VCP – v režimu běhu programu F0–Lab



STM32F042 jako zařízení (v režimu běhu programu F0–Lab)

Po spuštění firmware F0–Lab se v zařízeních objeví



Oživení přístroje F0–Lab s funkcí osciloskopu

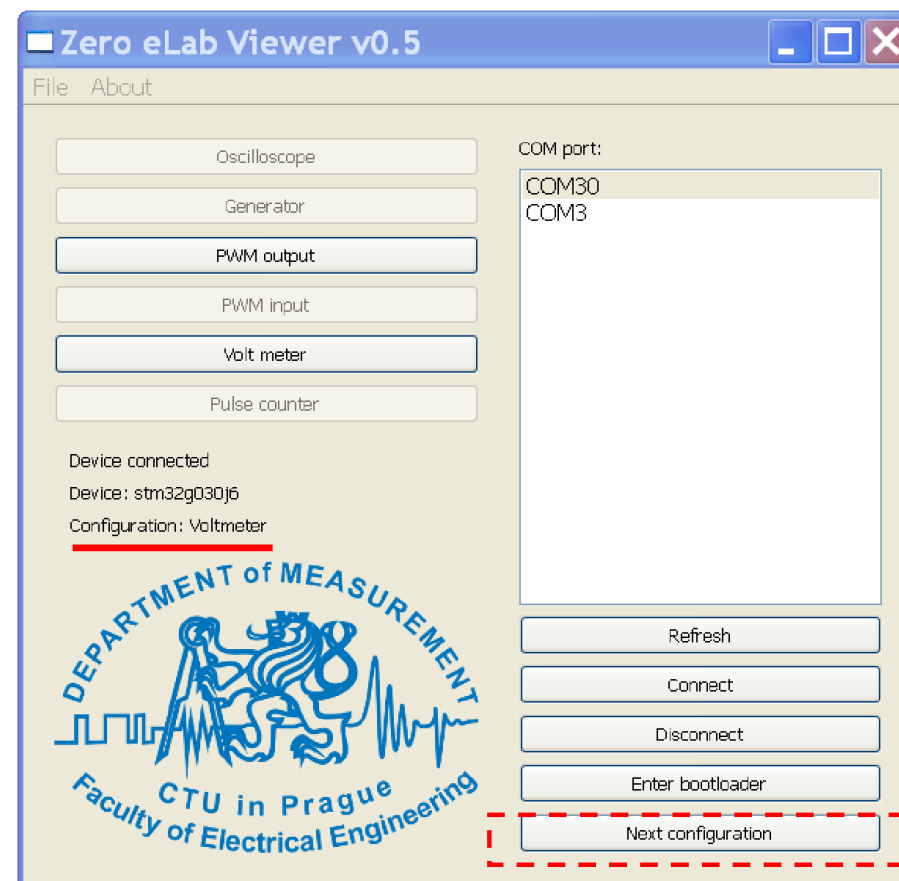
Na počítačích v laboratořích je nainstalovaný potřebný ovládač USB VCP (Virtual Com Port) pro mikrořadiče STM32 a PC aplikace `zero_elabviewer_v0.5` (příp. starší verze).

Přepínač do „**RUN**“, stisknout reset, spuštění firmware, **LED** blikne **2x**,
Na PC spustit `zero_elabviewer_v0.5`
Vyhledat COM porty a připojit se k příslušnému COM portu.

Spuštění F0–Lab s programem s voltmetr – osciloskop

Přepínání konfigurace „*Next configuration*“

**PWM output + Voltmetr, nebo PWM output + Osciloskop
nebo PWM output + Osciloskop + Logický analyzátor**



Piny – Voltmetr, osciloskop

Mikrořadič STM32F042 ve velmi zjednodušené formě nahrazuje
voltmetr, osciloskop, impulsní generátor

Parametry:

Voltmetr rozsah 0 až 3,3 V, 100 odměrů /s, možnost průměrování,
rozlišení 0,8 mV.

Osciloskop vzorkování až 600 kS/s (600 000 vzorků/s) – pro 1 kanál
délka záznamu **1152 S** (vzorků) pro 1 kanál

pro více kanálů se rychlost a délka záznamu **snižuje** podle počtu kanálů

Impulsní generátor PWM impulsy 0 V a 3,3 V, nastavení frekvence
a střídý PWM (poměr délky impulsu vůči periodě impulsu)

PWM out pin 14 generátor PWM – pro funkci voltmetr i osciloskop

CH1 pin 11 pro funkci voltmetr i osciloskop

CH2 pin 12 pro funkci voltmetr i osciloskop

CH3 pin 13 pro funkci voltmetr i osciloskop

(Logický analyzátor vstupy: piny 6, 7, 8, 9, 10)

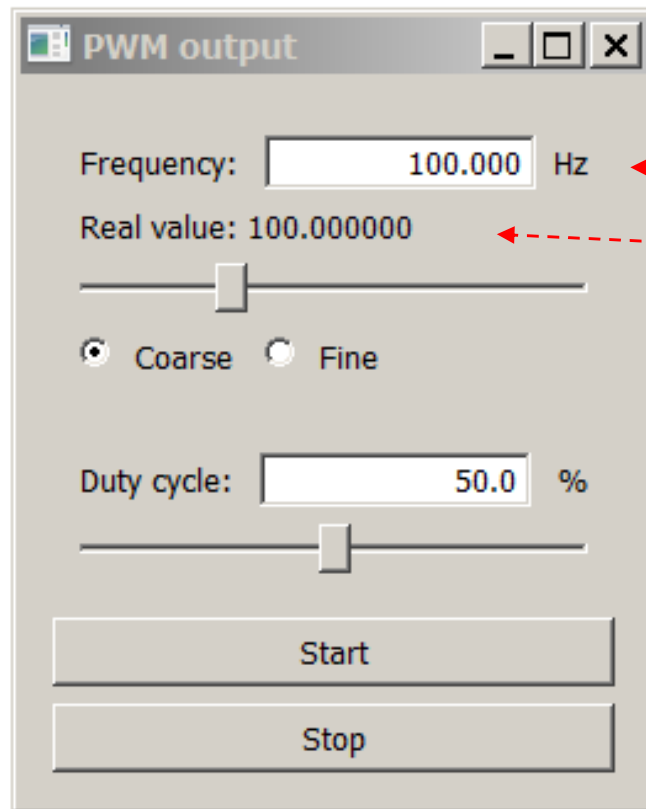
Možné konfigurace přístroje F0 – Lab

Možné konfigurace přístroje

PWM + Voltmetr

PWM + Osciloskop

PWM + Osiloskop + Logický analyzátor



Volba frekvence posuvníkem,
nebo napsat do okna

Žádaná hodnota frekvence a
skutečně nastavená

Volba střídý „Duty cycle“

0 % - stále nula

100 % - stále 3,3 V

Start / Stop- zastaví podle
okamžité hodnoty 0 nebo
+3,3 V, generace na **pinu č.14**

Voltmetr

Měří napětí Voltage 1 na pinu č.11,
V2 na č. 12, V3 na č. 13,
rychlostí 100 S/s

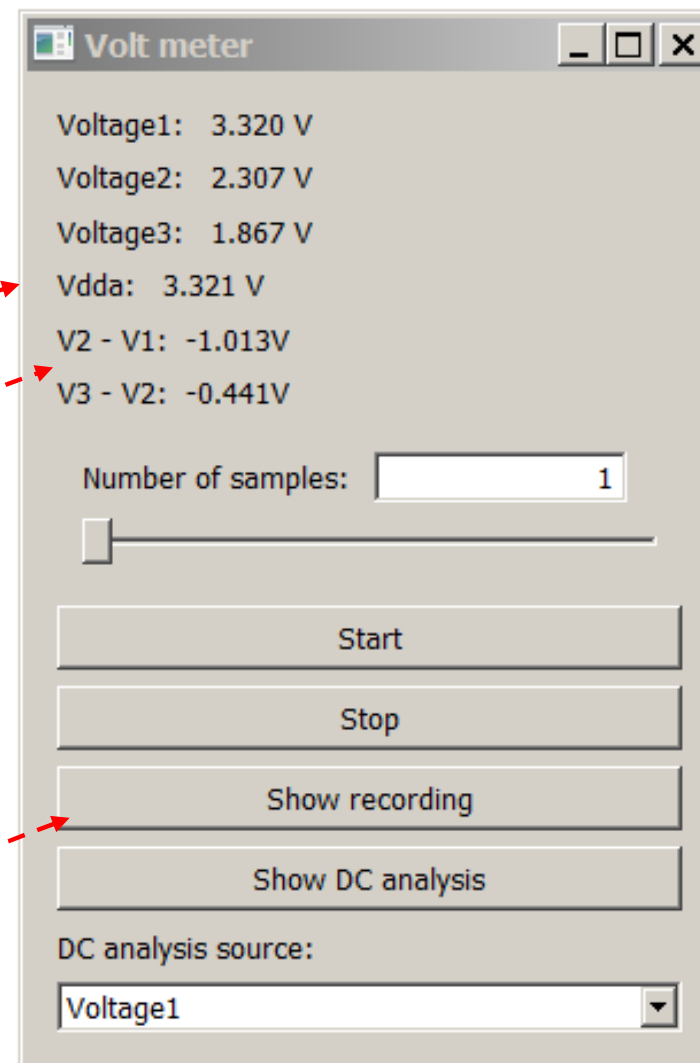
Vhodné použít průměrování pro snížení
vlivu rušení a šumů ze cca 40 vzorků
„*Number of samples*“

Vdda- napájecí napětí procesoru

V2 - V1 počítá za nás sám rozdíl napětí
V3 - V2

*(Když se zde chybným zapojením
napájení objeví 5 V, tak je zle).* Bude
měřit jen chvíli pak se zničí.

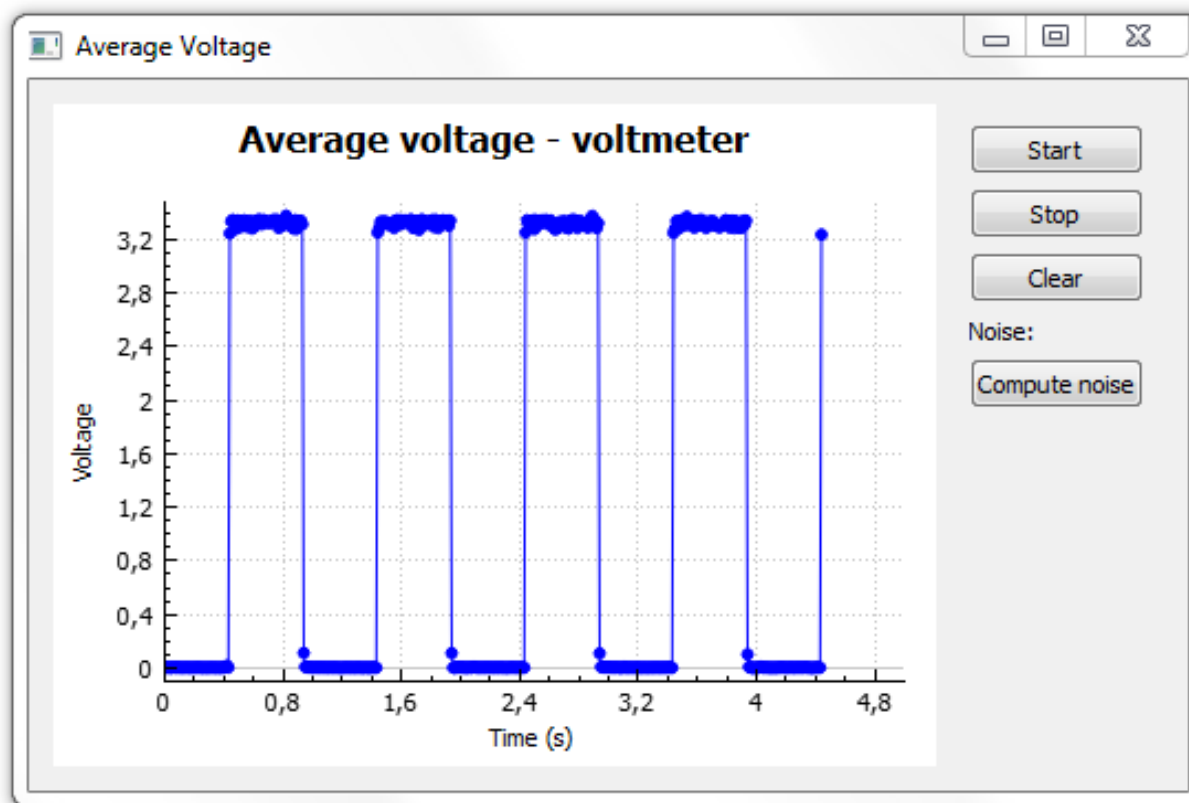
Show recording- ukáže záznam
průběhu napětí. Vhodné pro BIO-
záznam kardiograf, tep,.....



Voltmer – funkce záznamu „show recording“

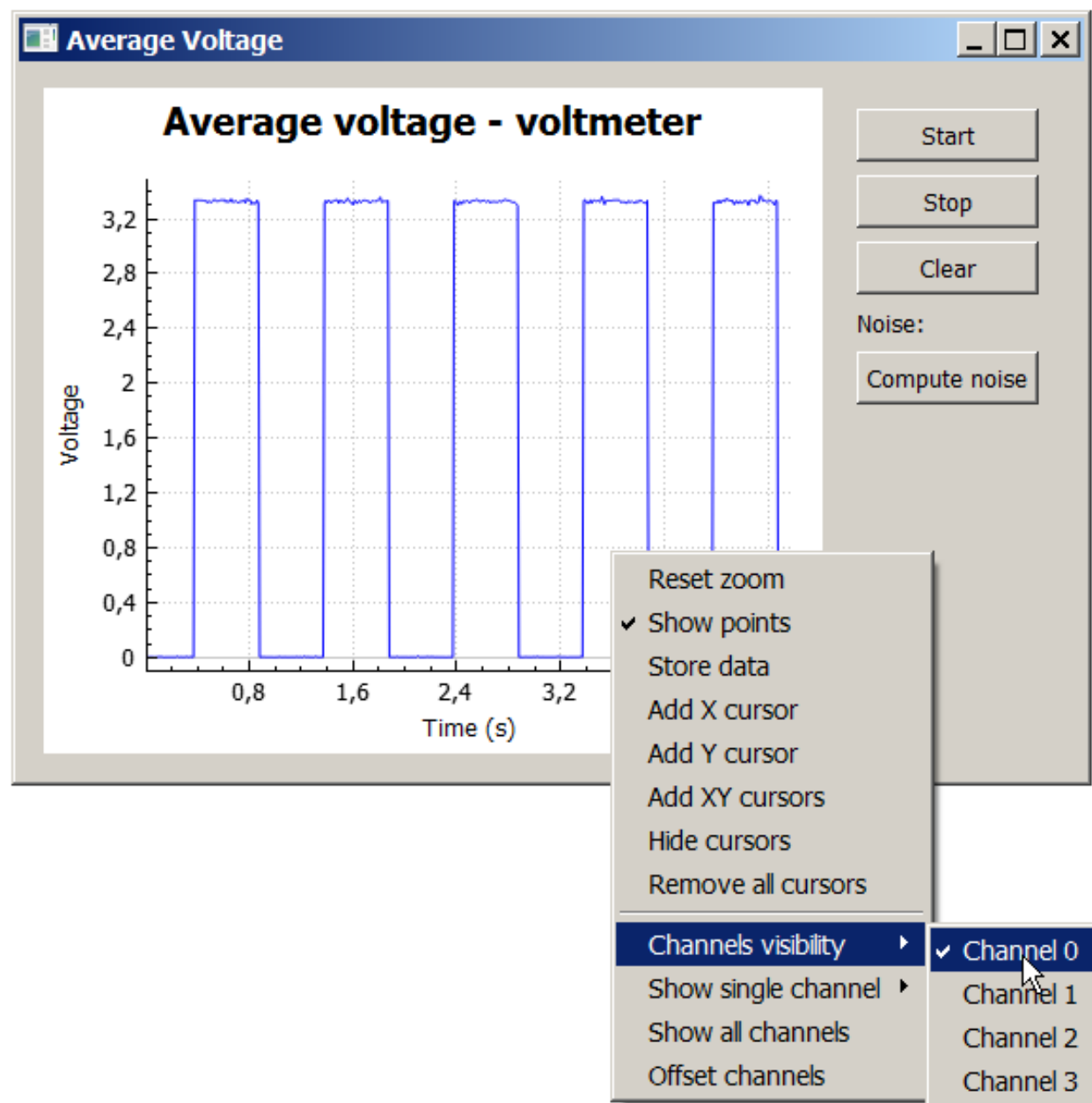
PWM generátor, 1 Hz, voltmetr, bez průměrování,
„*Number od samples*“ = 1

Zaznamenává **průběh napětí** změřeného voltmetrem (vzorkování 100 Hz),
kontinuální záznam (až 1000 vzorků, pak plní nový buffer)



Voltmer ve funkci recording – výběr kanálů pro zobrazení

Klik-
pravá myš
pro nabídku
možností



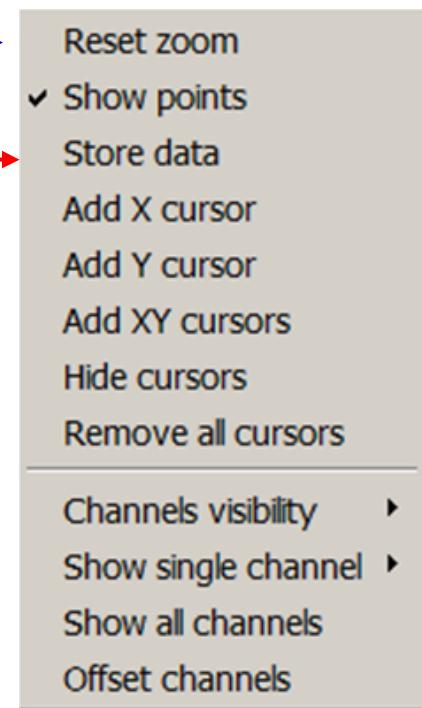
Voltmer ve funkci recording– další volby

Reset zoom- navrat do původní velikosti zobr.

Export dat kanálu 0 do XXX.CSV

Nastavení pro oládání kurzorů

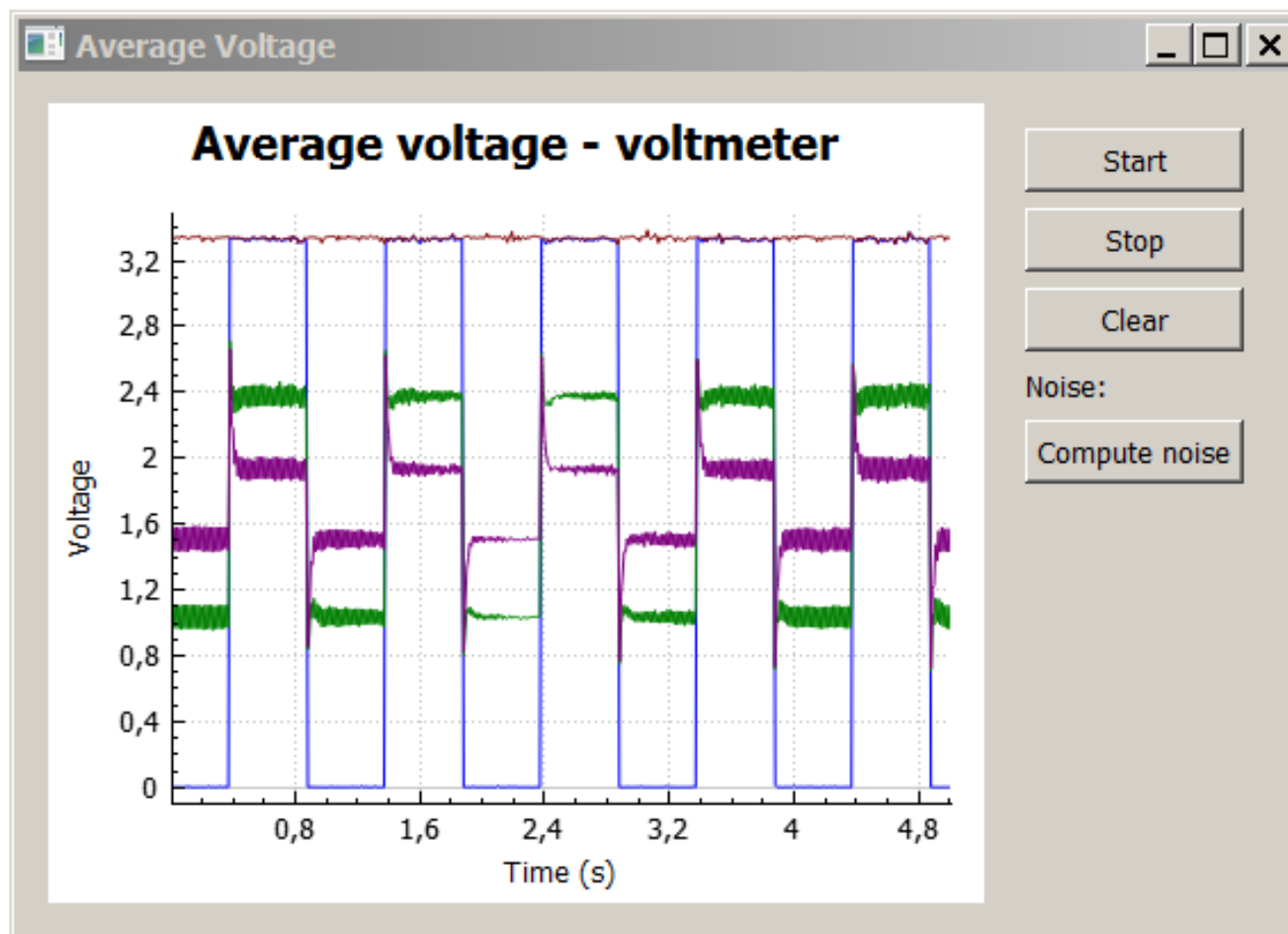
Volba zobrazovaných kanálů



Voltmer – funkce záznamu „show recording“

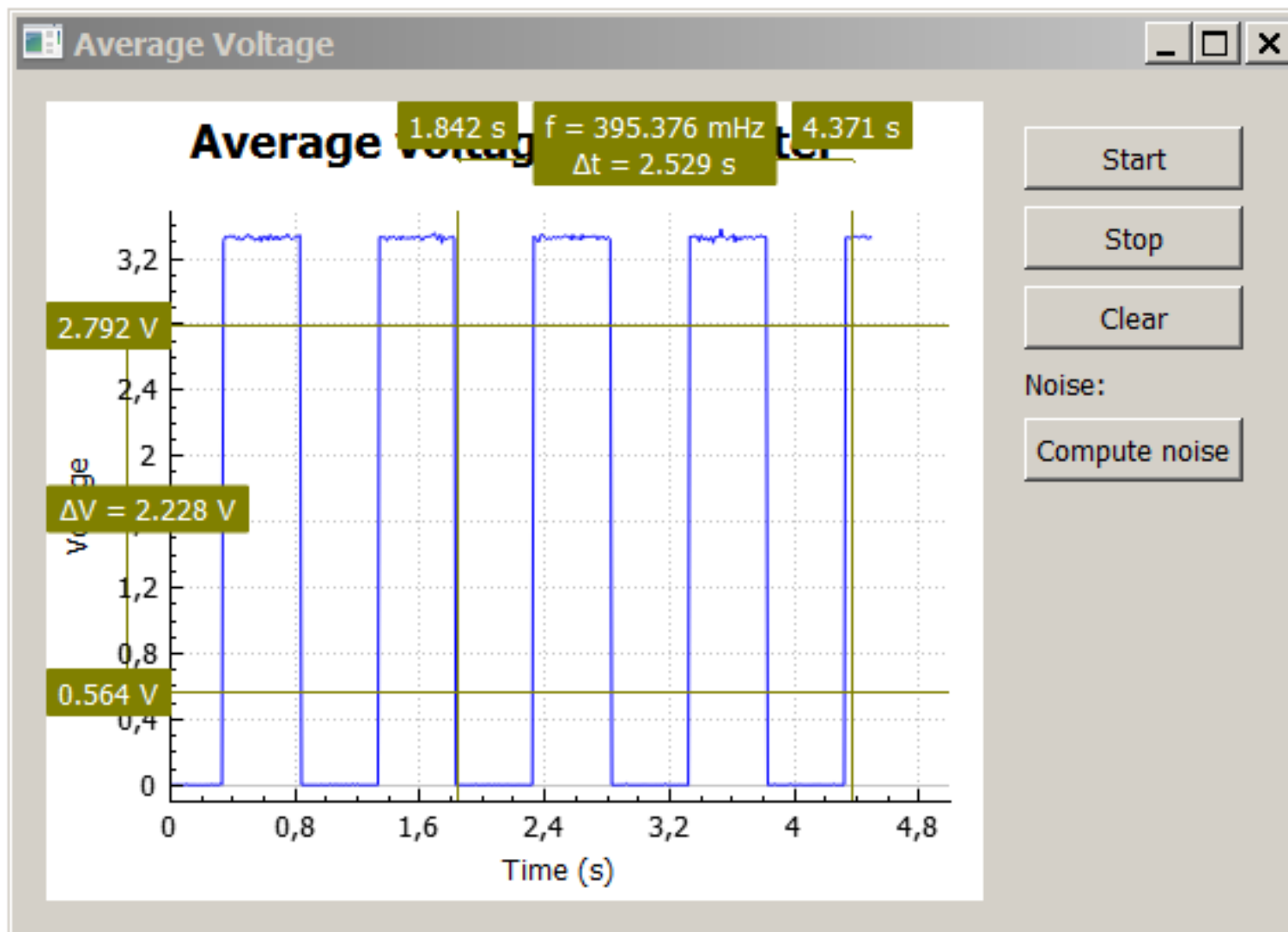
PWM generátor, 1 Hz, voltmetr, bez průměrování,
„*Number od samples*“ = 1

Zaznamenává **průběh napětí** změřeného voltmetrem (vzorkování 100 Hz),
kontinuální záznam (až 1000 vzorků, pak plní nový buffer)



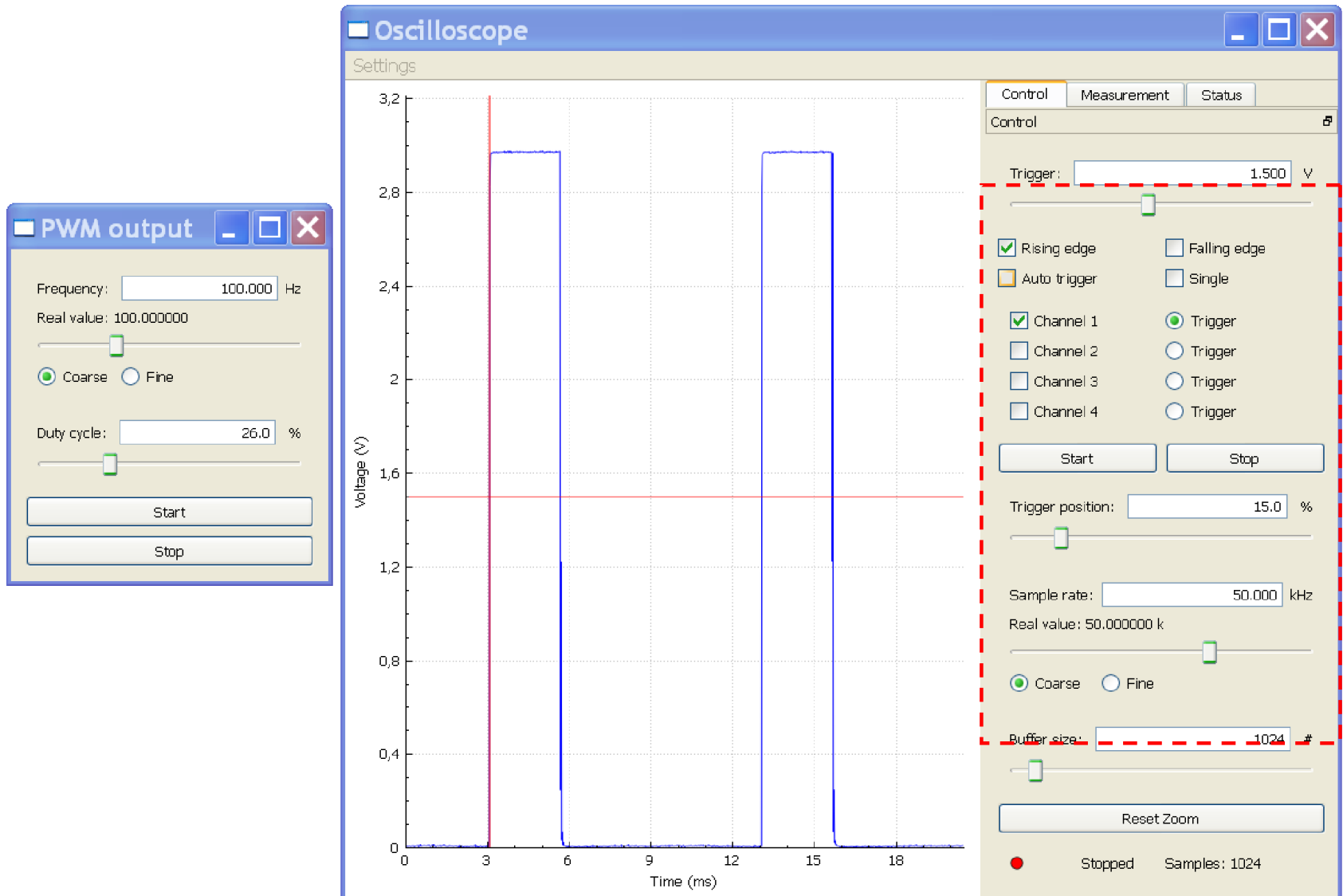
Voltmer ve funkci recording – kurzory

Pohyb kurzoru – levou myší ochopit kurzor a táhnout

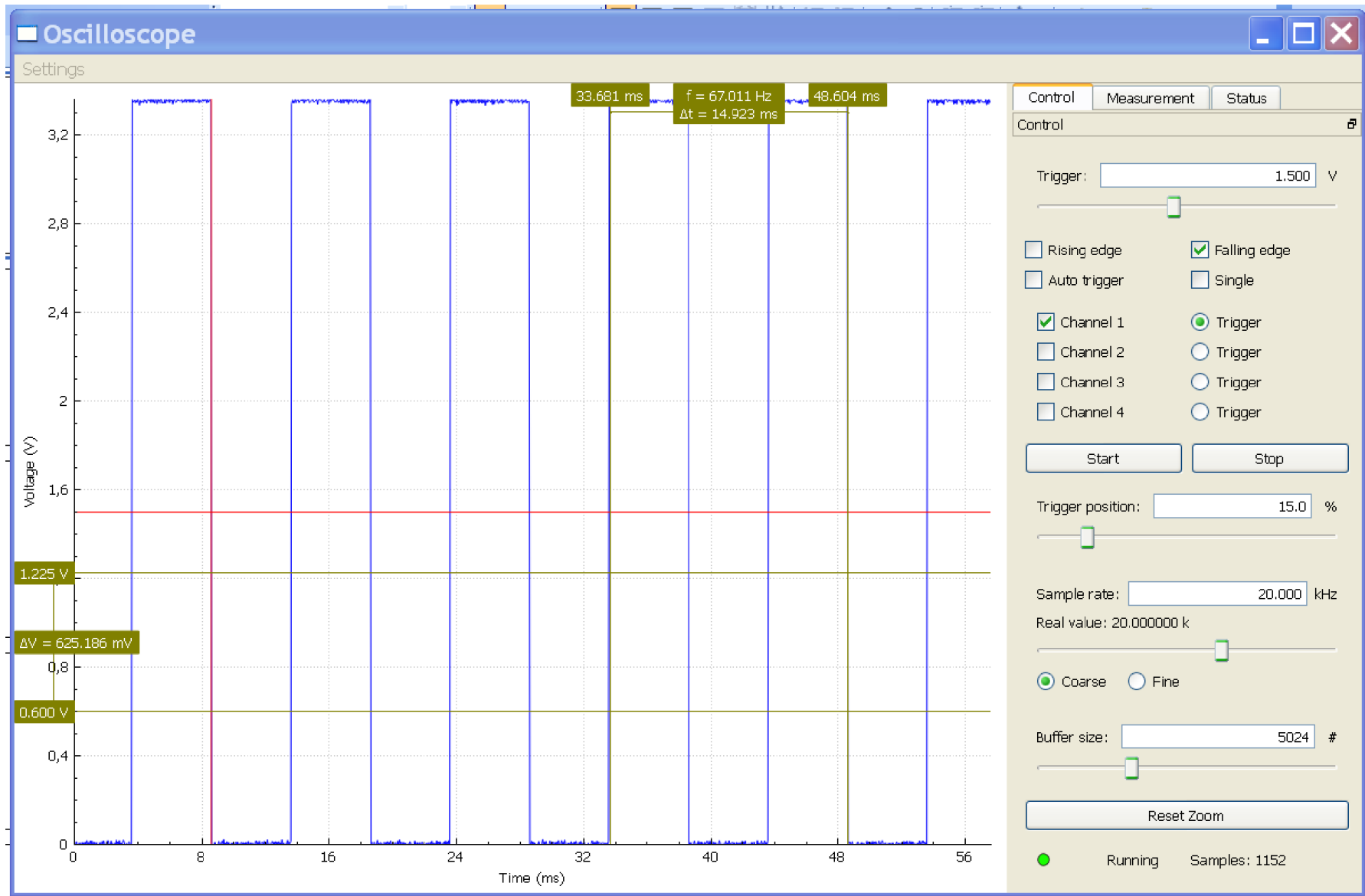


Konfigurace PWM generátor + osciloskop

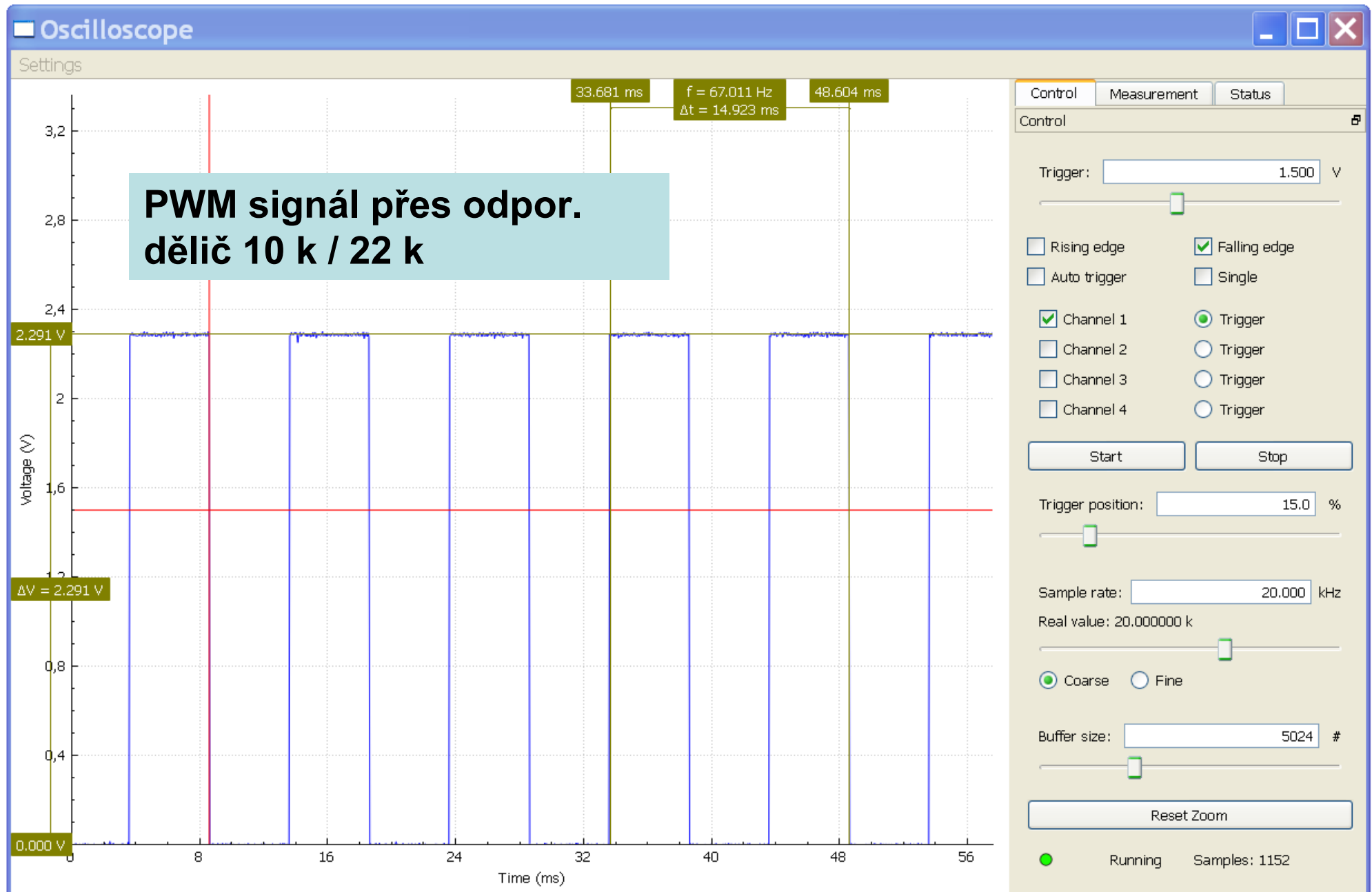
PWM impulsní generátor jako zdroj signálu, který sledujeme pomocí osciloskopu



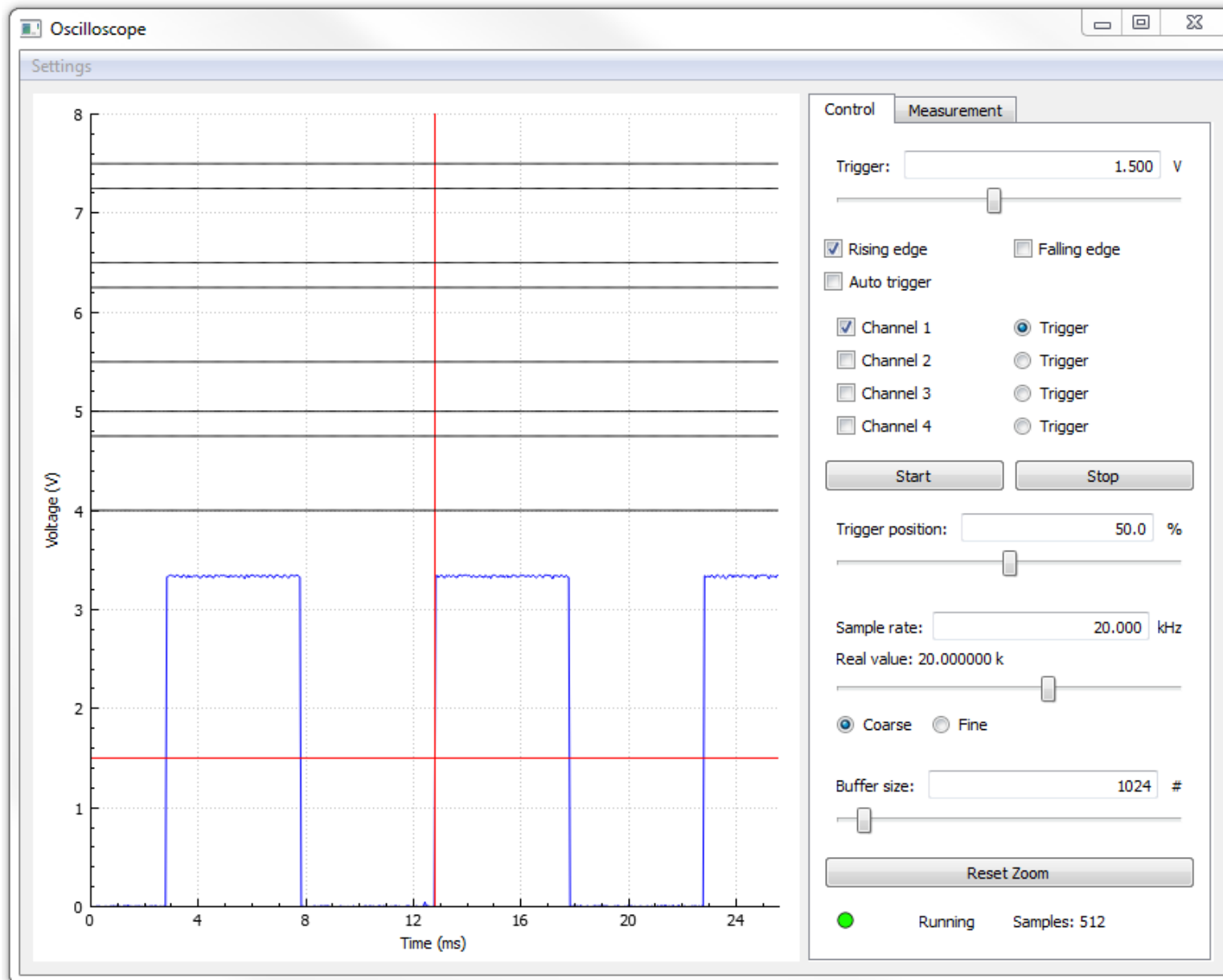
Impulsy 100 Hz



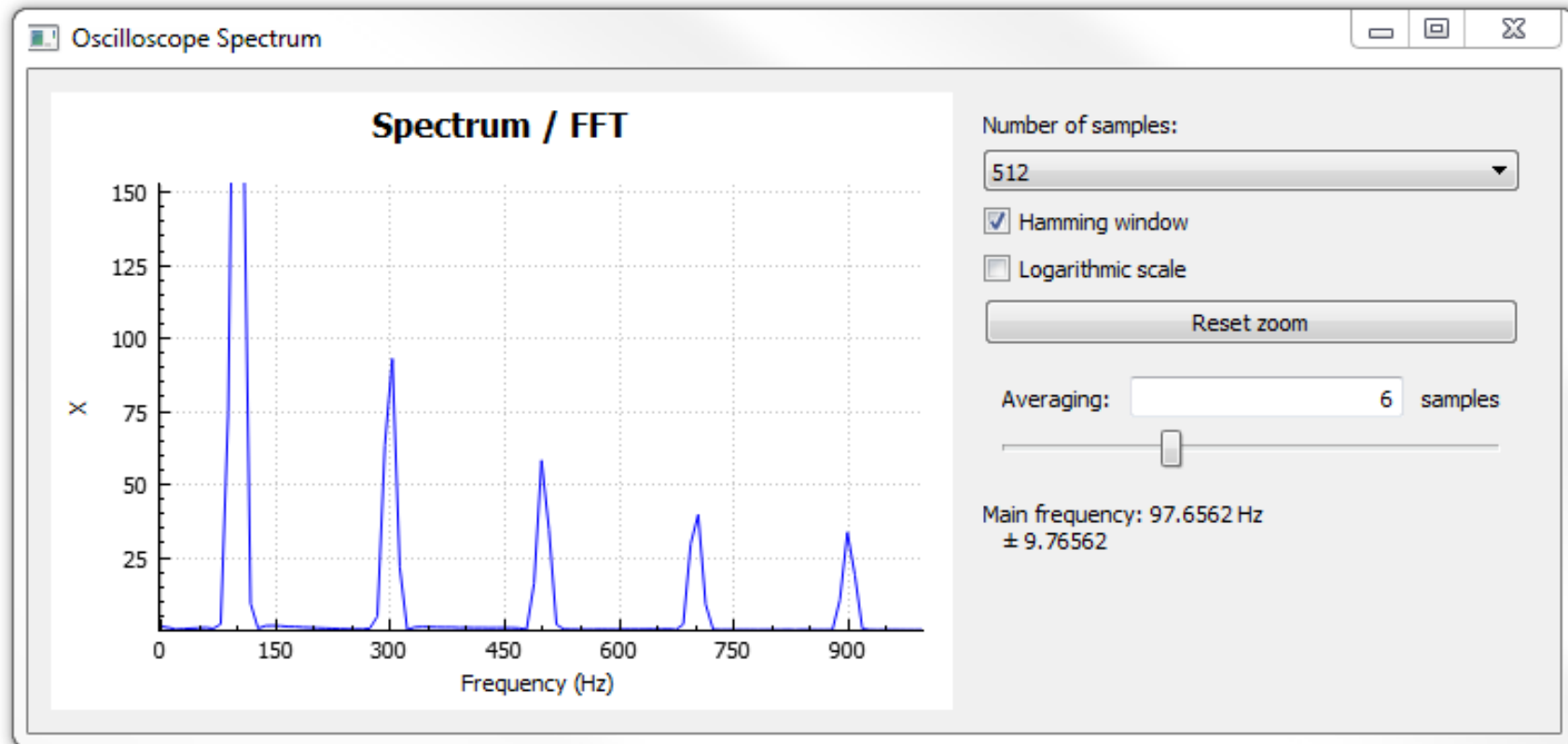
Kurzory X a Y současně



Funkce osciloskopu a logického analyzátoru



Spektrum obdélníkových impulsů o frekvenci 100 Hz



Úlohy – osciloskop a sestavení F0–Lab

Úlohy D2 – část 1

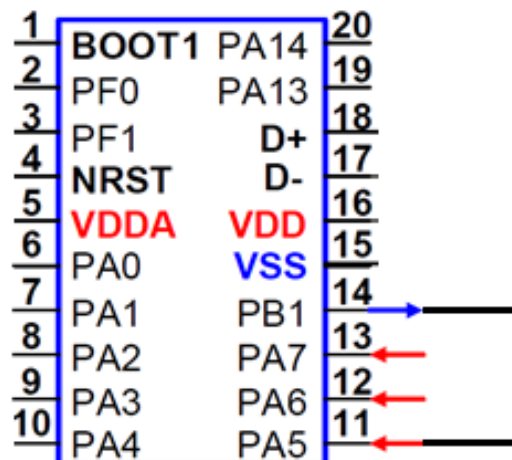
- Ve volné chvíli po čas cvičení **seznámit se s číslicovým osciloskopem** (např. HP54622 nebo jiným) a jeho funkcemi
- Na kontaktním poli – sestavit **regulátor napětí +3,3 V** a připojit indikační **zelenou LED** s rezistorem 470 Ohm. **Ověřit funkci.**
- **Sestavit celý F0–Lab s mikrořadičem STM32F042, napájet z +3,3 V, spustit vnitřní nahraný program – 2x bliknutí LED**
- **Připojit na USB, spustit ovládací program na PC**
- **Aktivovat funkci voltmetru („*next configuration*“)**
- **Ověřit funkci voltmetru a osciloskopu, propojit pin č. 14 (výstup PWM generátoru a vstup kanálu 1 voltmetru**
- **Spustit generátor, nastavit frekvenci 1 Hz, spustit voltmetr, bez průměrování (měří střídavě 0 a +3,3 V – kolísá)**
- **Aktivovat funkci „show recording“ voltmetru a pozorovat záznam.**

Úlohy – oživení funkce osciloskopu

Úlohy D2 – část 2

- Aktivovat funkci osciloskopu
- Zvolit frekvenci generátoru 100 Hz, spustit generátor
- Spustit osciloskop (propojit pin č. 14 výstup PWM generátoru na pin č. 11 – vstup Ch1 osciloskopu), pozorovat signál

STM32F042F6P6



Úlohy – experiment s LED a PWM

Úlohy D2 – část 3

- Na výstup **PWM**, pin č. **14** procesoru připojte **LED** s rezistorem **470 Ohmů** (původně byl připojen na pin č. **10**). Pozor na polaritu – katoda LED na zem. Aktivovat PWM – tlač. **START**.
- **Pozorujte** chování **LED** při PWM s nastavenou **frekvencí 1 Hz a střídou 50 procent** a pak měňte střidu (0 až 100 procent).
- Pozorujte chování LED při PWM s nastavenou **střídou 50 procent** a **měňte frekvenci**. Při **jaké frekvenci** již přestáváte pozorovat **blikání** a při **jaké frekvenci** se LED jeví, **jako by neblinkala?**
- Pozorujte chování LED při PWM s nastavenou **frekvencí 100 Hz** a **měňte střidu** (0 až 100 procent). **Jak se jeví svit LED** při změně střidy?

Poznámka – toto je princip **řízení intenzity podsvícení přístrojů** v automobilu, i princip **řízení jasu displeje** v telefonu, tabletu,... Podobně se používá **řízení jasu LED** na různých panelech.

Instalace potřebného SW

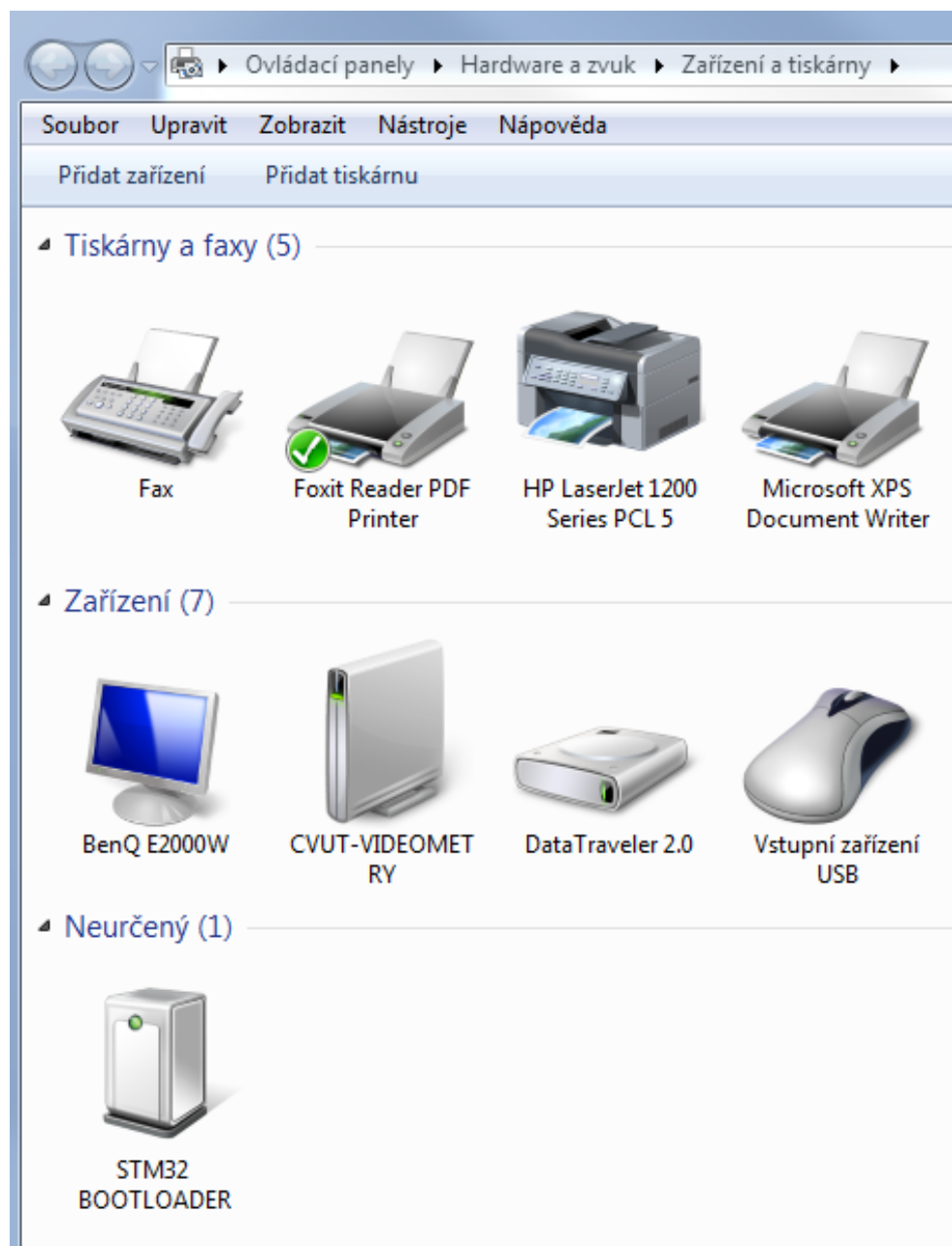
**Na počítačích v laboratořích je nainstalovaný potřebný software.
Pro práci na vlastním počítači je potřeba nainstalovat programy
ovladač VCP a využívat aplikaci zero_elabviewer_v0.5**

Postup spuštění ovládacího programu osciloskopu

1. Nainstalovat aplikaci *VCP_V1.3.1_Setup* podle typu systému (32bitový/64bitový operační systém) pro instalaci ovládače virtuálního COM portu VCP.
2. Vyzkoušet připojení mikroprocesoru k počítači
3. Nakopírovat složku *ZeroeLabviewer_v0.5*
4. Spustit aplikaci *zero_elabviewer_v0.5*
5. Krátký stisk tlač. RESET
6. Navázat komunikaci

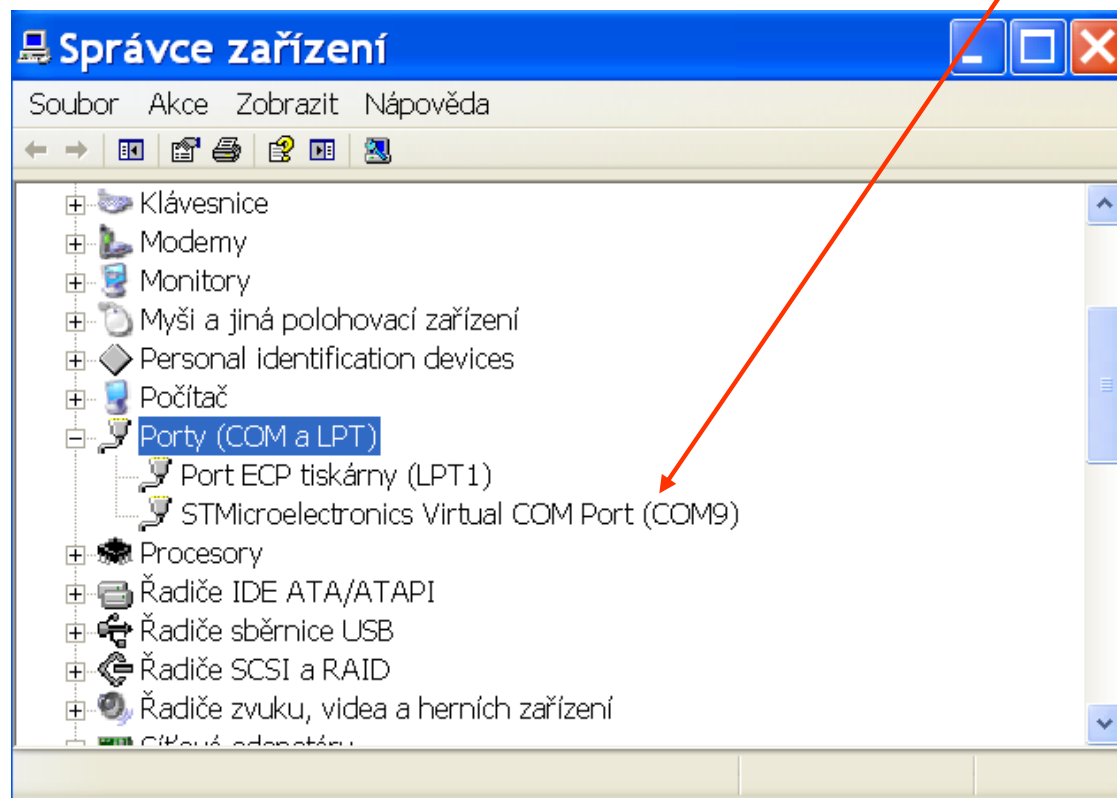
V některých případech (Win10 a síť) po připojení procesoru s nahraným firmware osciloskopu se ovládač nainstaluje samostatně.

STM32F042 jako zařízení (v režimu BOOT)

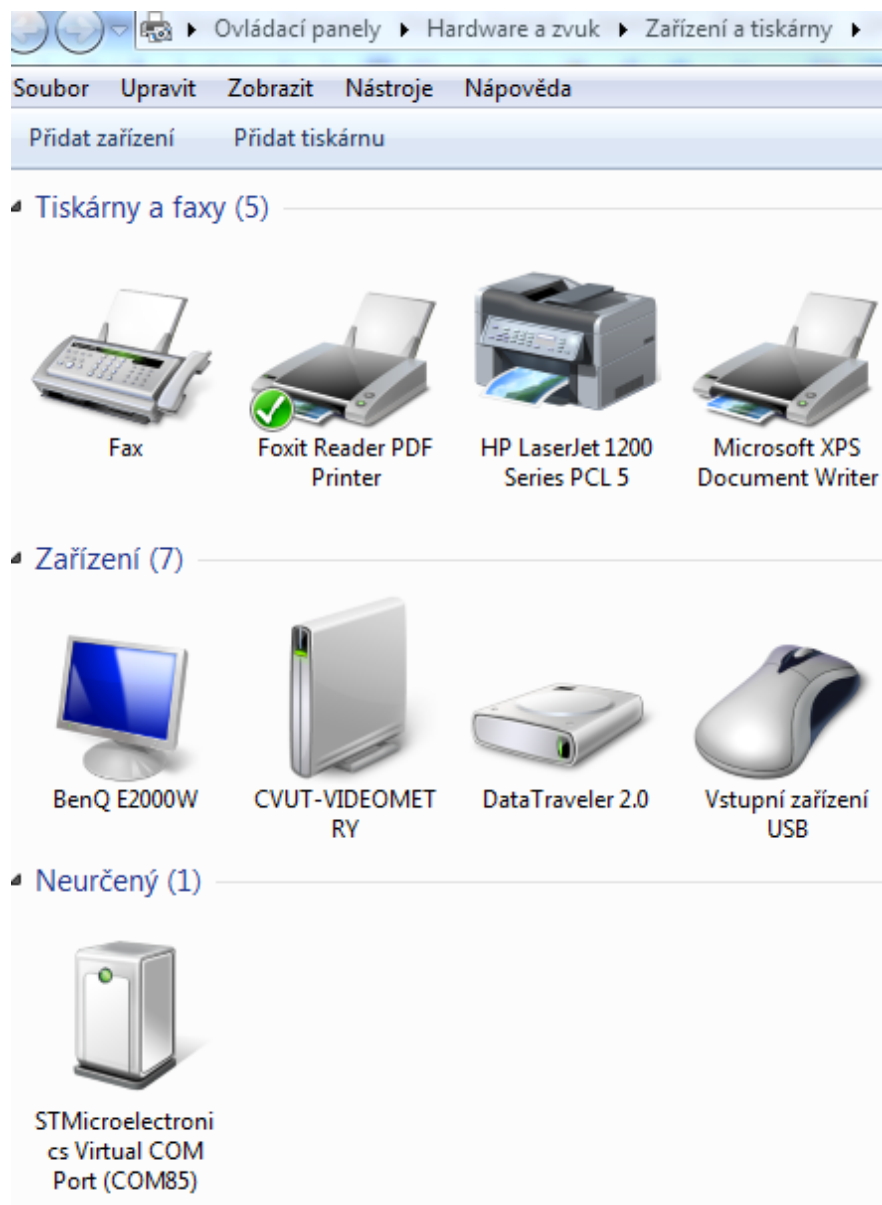


STM32F042 jako zařízení

Po spuštění firmware F0–Lab se v zařízeních objeví



STM32F042 jako zařízení (v režimu běhu programu F0–Lab)



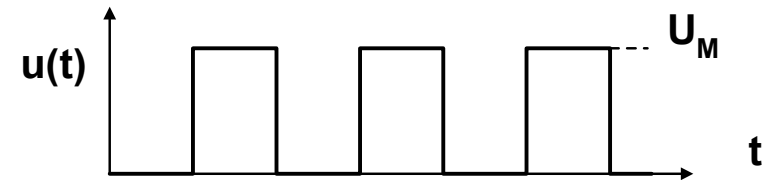
Konec části 1

Přednáška D2 část 2

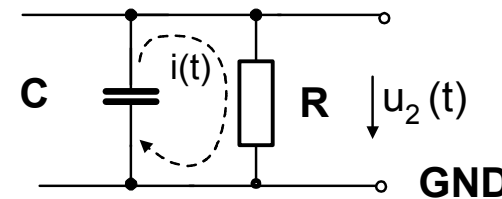
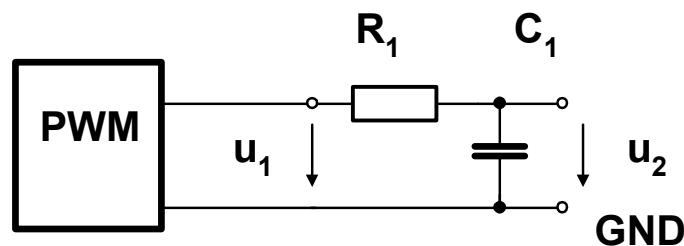
-

Pozorování signálu přechodového děje osciloskopem

**Zapojení obvodu: výstup PWM
na RC článek, výstup napětí u_2
na vstup osciloskopu CH1**



**Jak se změní původní signál PWM? Nabíjení a vybíjení kondenzátoru C_1
přes rezistor R_1 .**



Vnitřní odpor R_V zdroje signálu PWM, pod 50 Ohmů, tedy pro naše experimenty s rezistory o odporu několik kOhmů zanedbatelný.

Tedy výstup PWM se chová periodicky jako **zdroj napětí +3,3 V,**
nebo **zdroj napětí 0 V**

Otázka: Co je to **zdroj napětí 0 V**, jaké je **jeho chování** z hlediska obvodu?

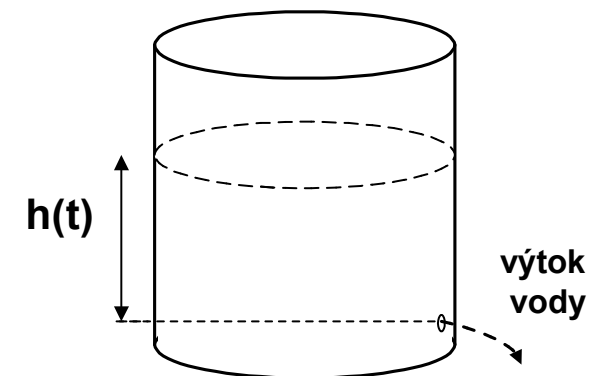
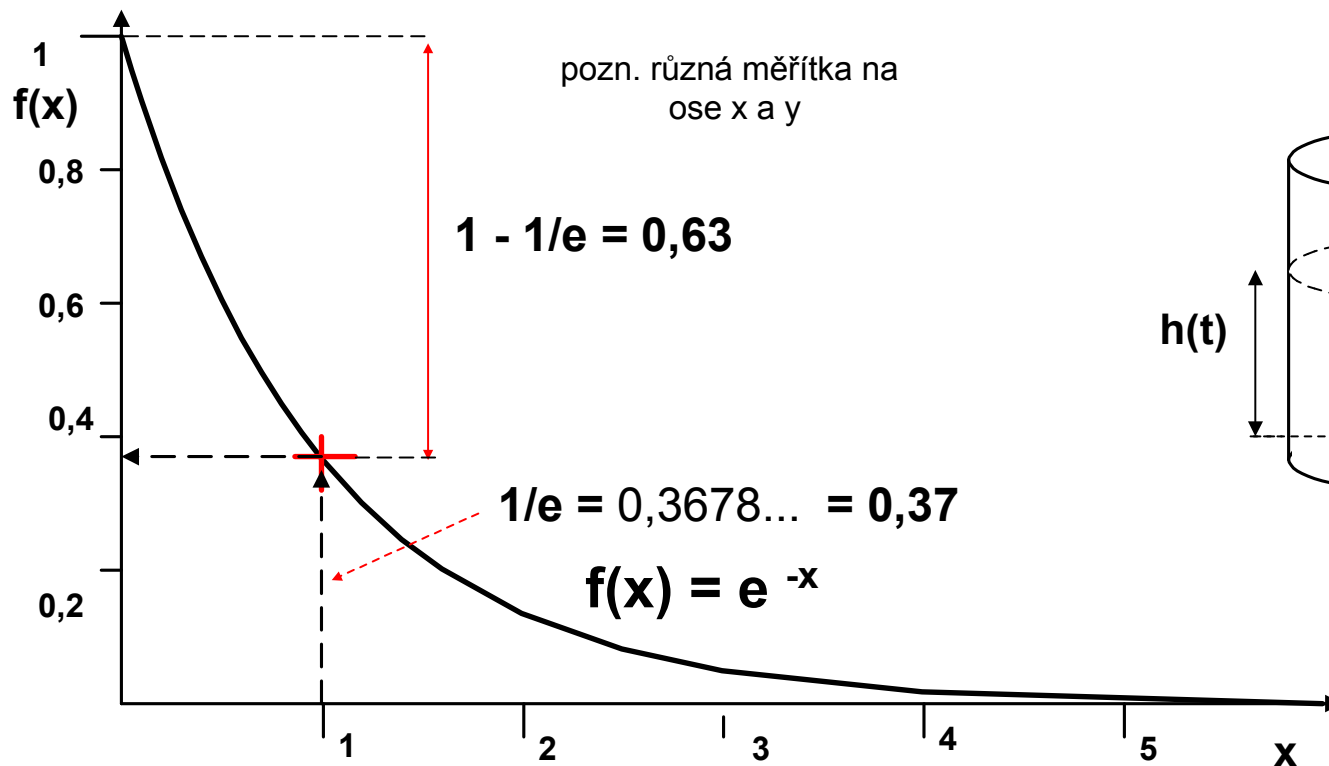
Přechodový děj, exponenciála

Časový průběh napětí na kondenzátoru C vybíjeného přes odpor R – řešení diferenciální rovnice **diferenciální rovnice prvního řádu - exponenciála**, je řešením popisující **vybíjení** RC článku

$e = 2,7182818$

$$f(x) = e^{-x}$$

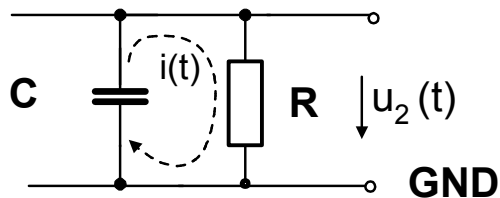
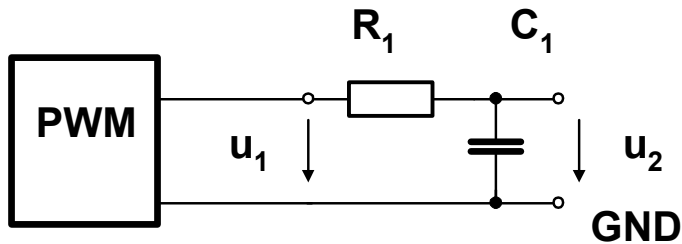
analogie: vytékání vody otvorem ze sudu, pokles výšky hladiny $h(t)$ v čase, snížení rychlosti výtoku, zpomalení vyprazdňování sudu



$$1/e = 0.3678794$$

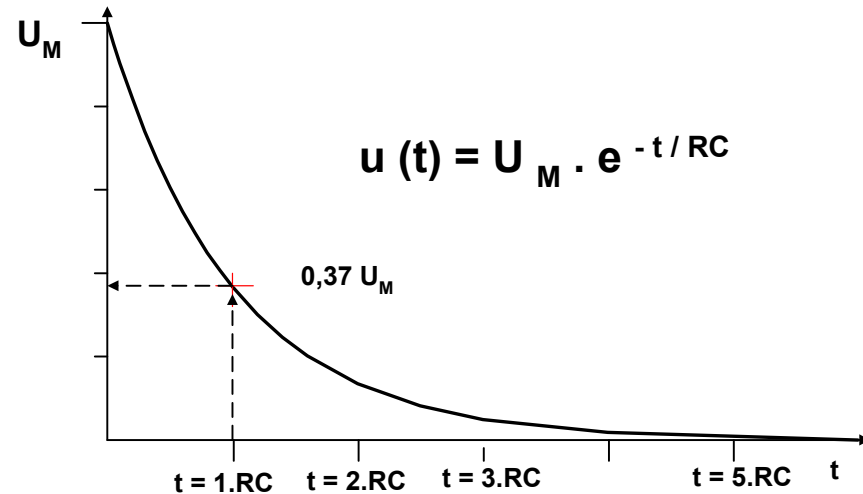
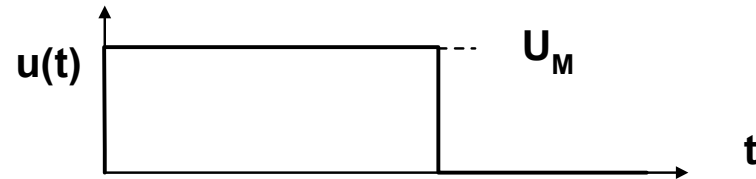
RC článek, odezva na skok

Vybíjení kondenzátoru přes R_1 (po jeho předchozím nabití)



exponenciální průběh – obecně

$$f(x) = e^{-x}$$

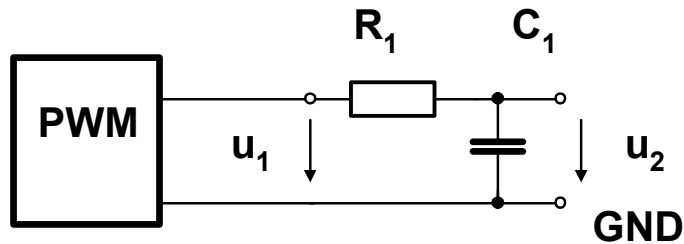


$$u_2(t) = U_M \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

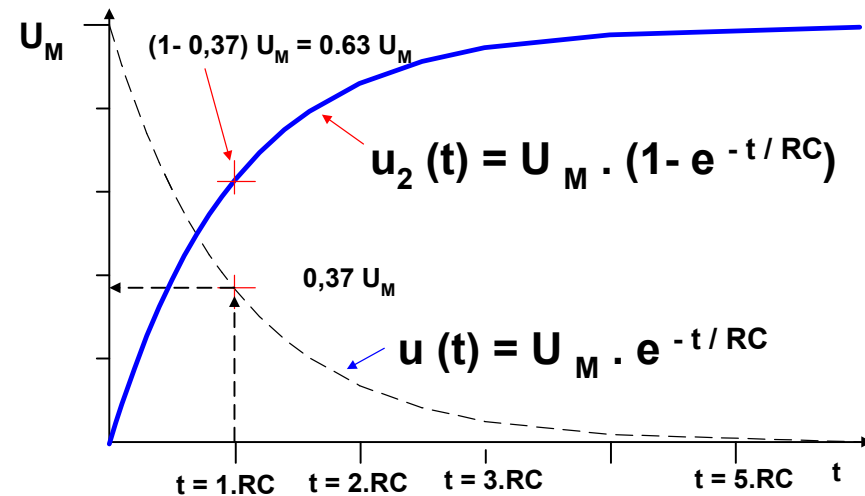
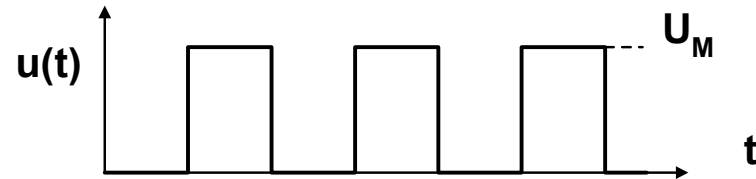
Vybíjení kondenzátoru nabitého původně na U_M .

RC článek, odezva na skok

Nabíjení kondenzátoru přes R_1



Nabíjení kondenzátoru – jako doplněk, tedy **převrácená** exponenciála (1- průběh exp.)

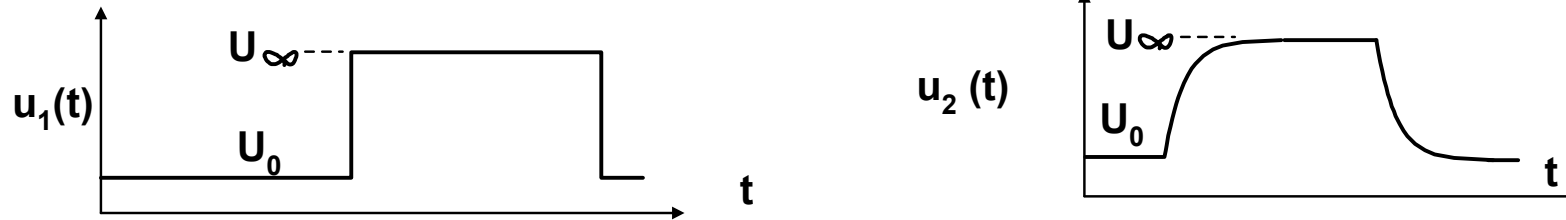


Lze popsat jako: velikost **skoku** napětí **x** průběh „**obrácené**“ exponenciály (1 - exp)

$$u(t) = U_M \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

RC článek, odezva na skok, průběh obecně

Nabíjení a vybíjení kondenzátoru C_1 přes R_1



$$u(t) = U_0 + (U_\infty - U_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Obecně lze popsat jako:

počáteční napětí U_0 + (velikost skoku napětí) x (průběh exponenciály)

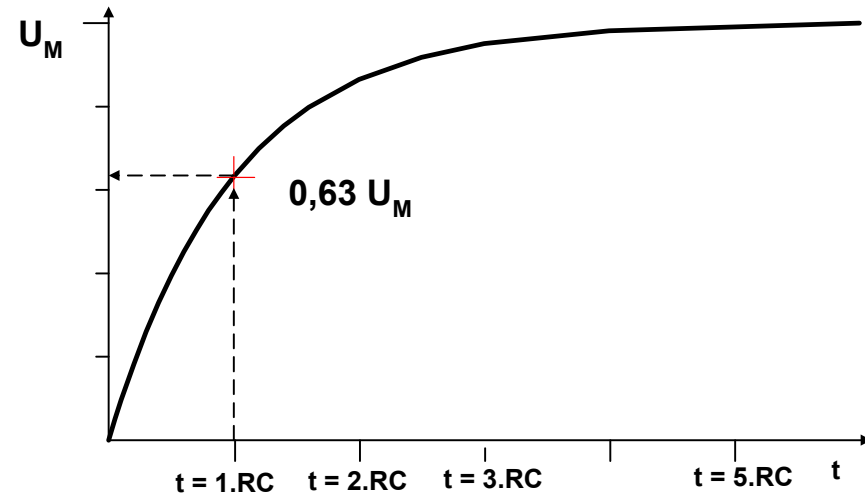
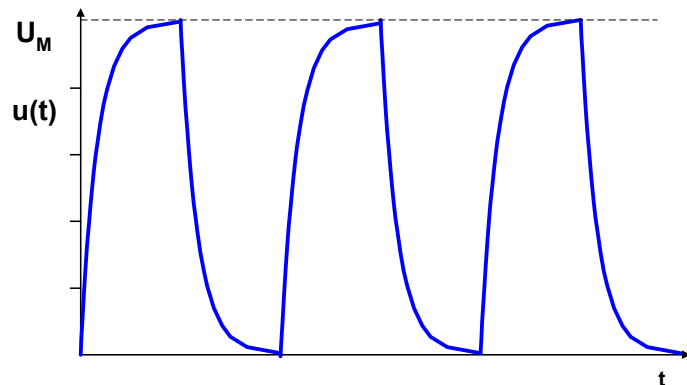
RC článek, odezva na skok – časová konstanta

$$u(t) = u_0 + (u_\infty - u_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Otázka **vztahu délky impulsů T_+ , T_-**
a velikosti **časové konstanty $\tau = RC$**

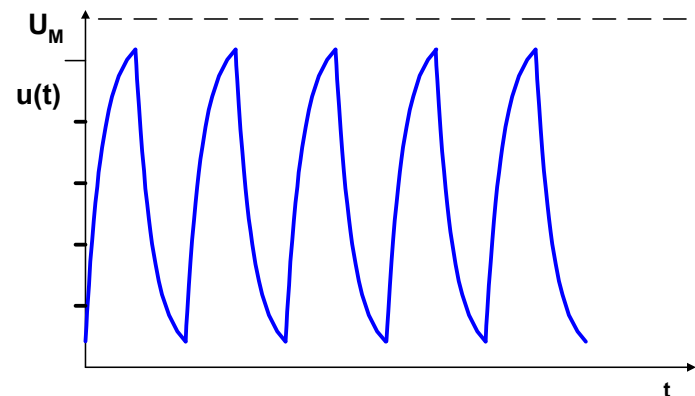
$T_+, T_- > \tau = RC$

kondenzátor se **stačí plně nabít a vybit,**
je **plný rozkmit** signálu

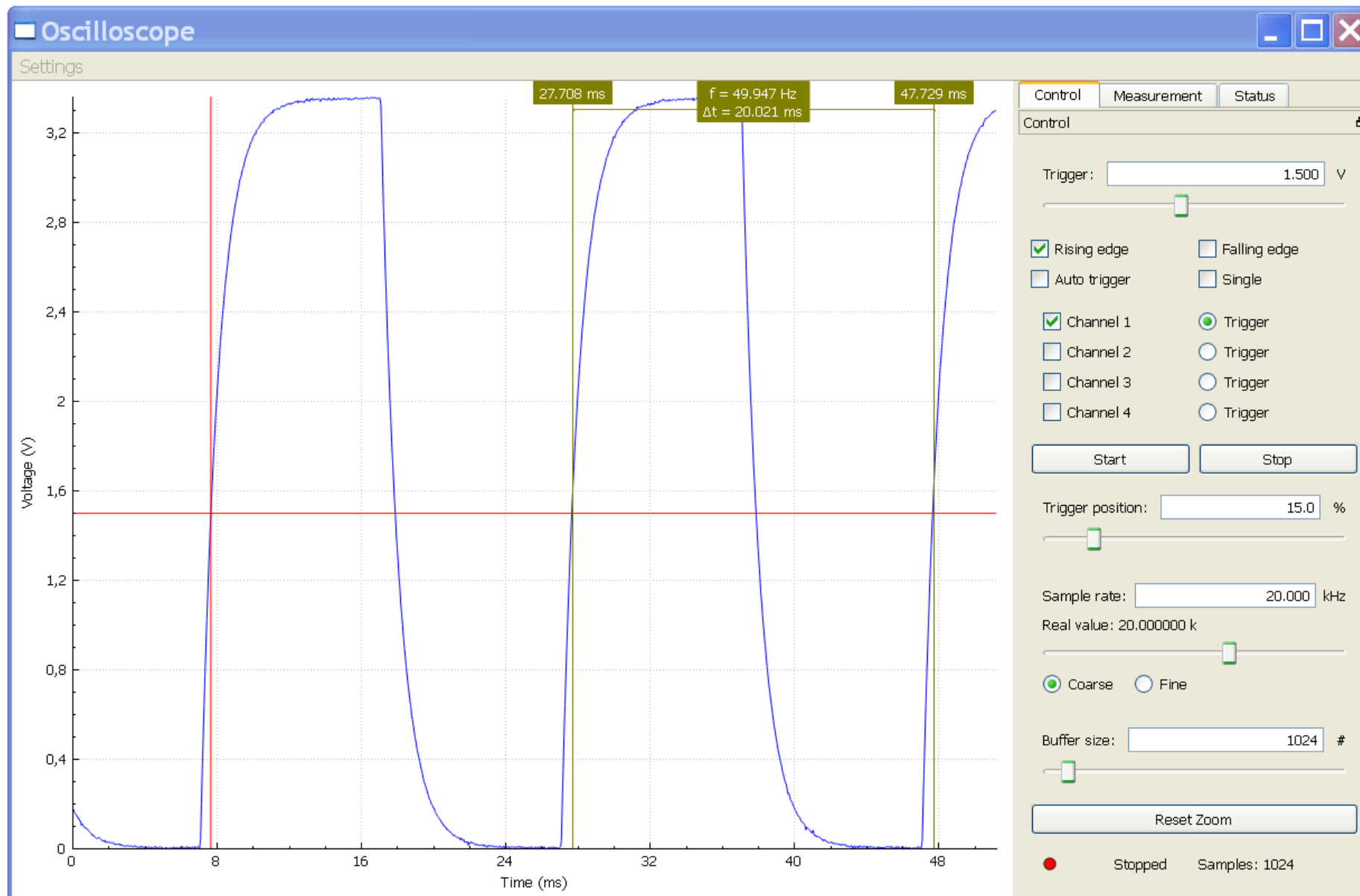


$T_+, T_- < \tau = RC$

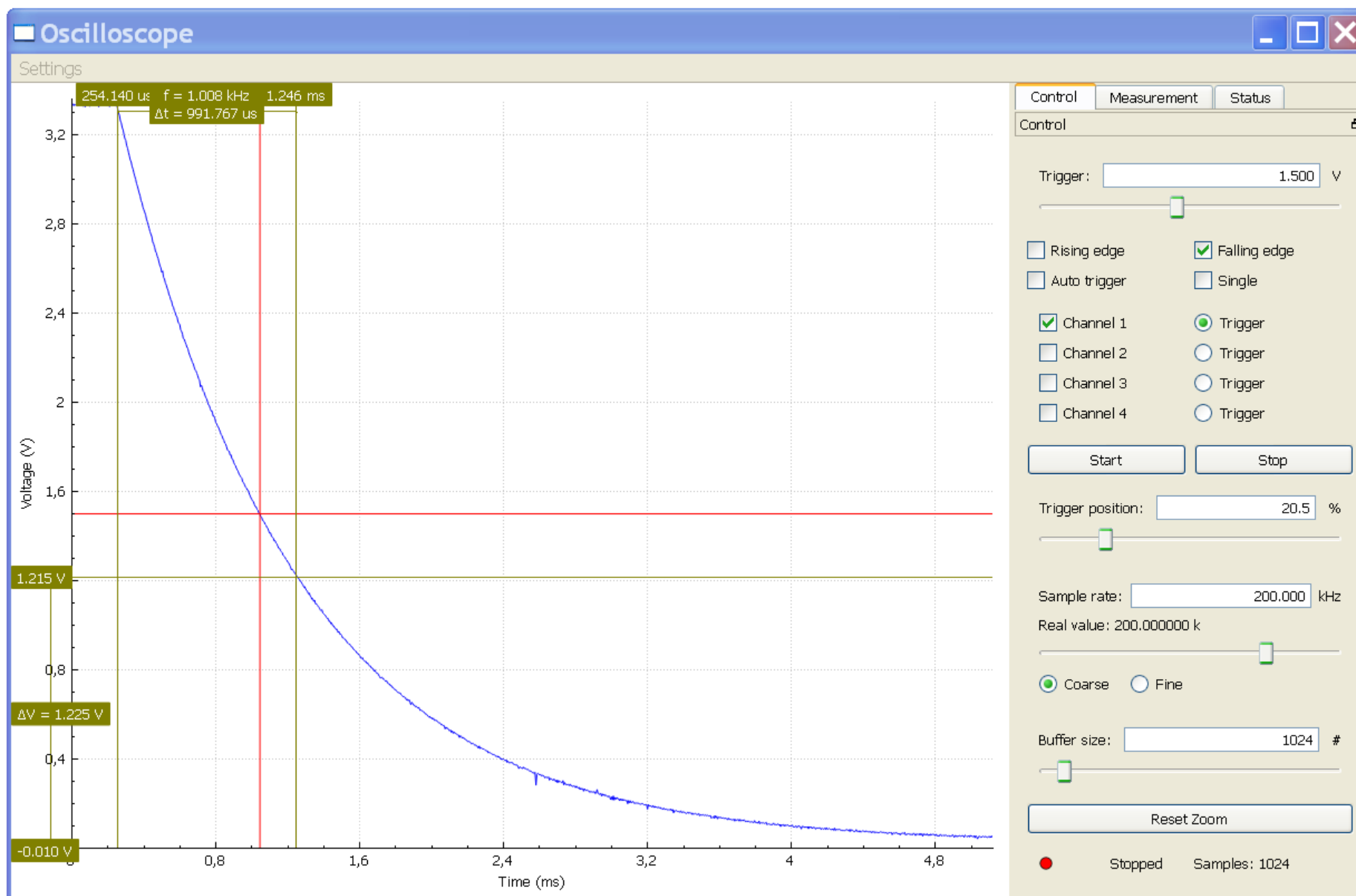
kondenzátor se **nestačí plně nabít a vybit,** rozkmit
signálu se **snižuje**



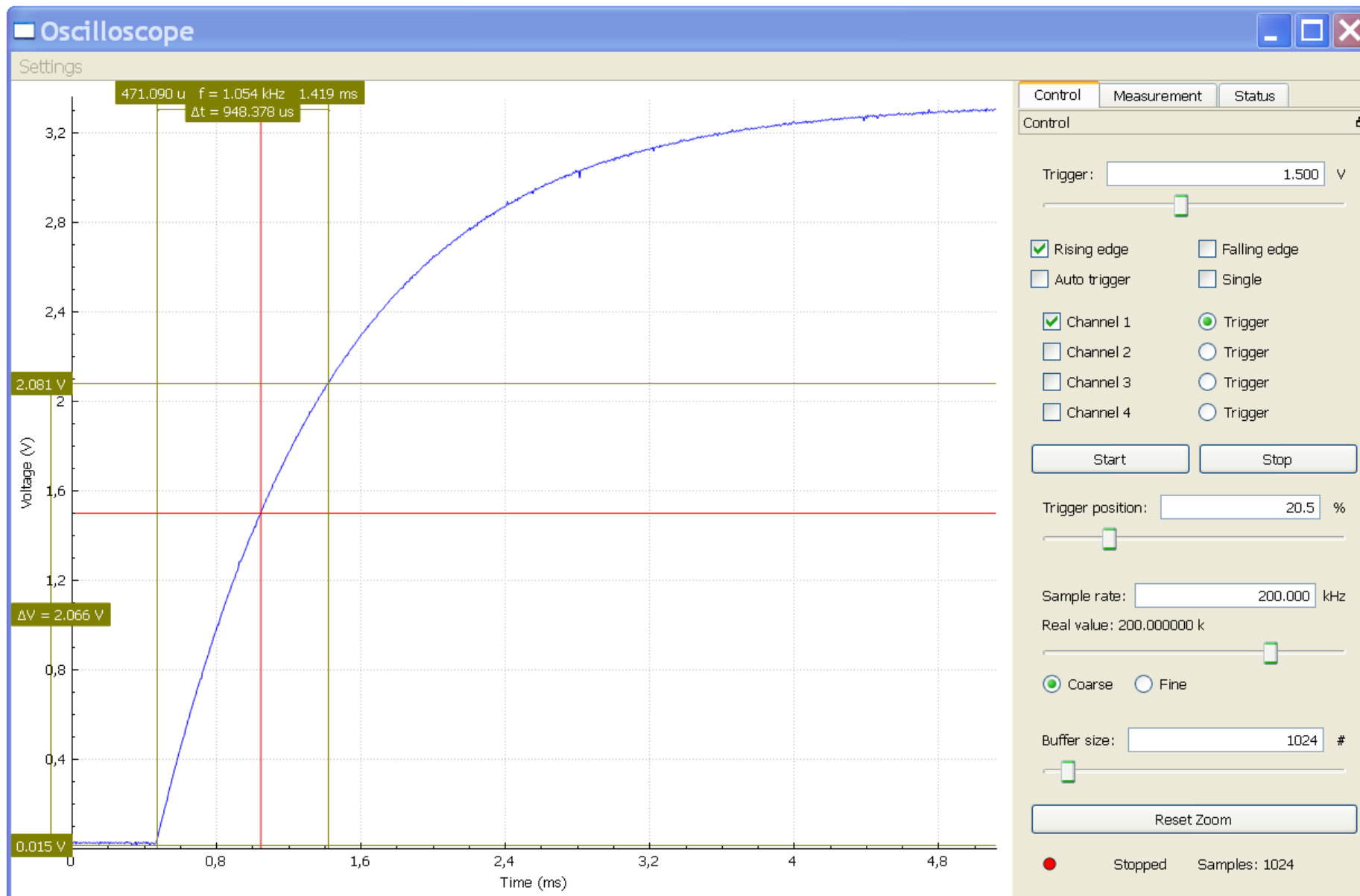
RC integrační článek 10 kΩ + 100 nF, PWM 50 Hz



RC integrační článek 10 kΩ + 100 nF

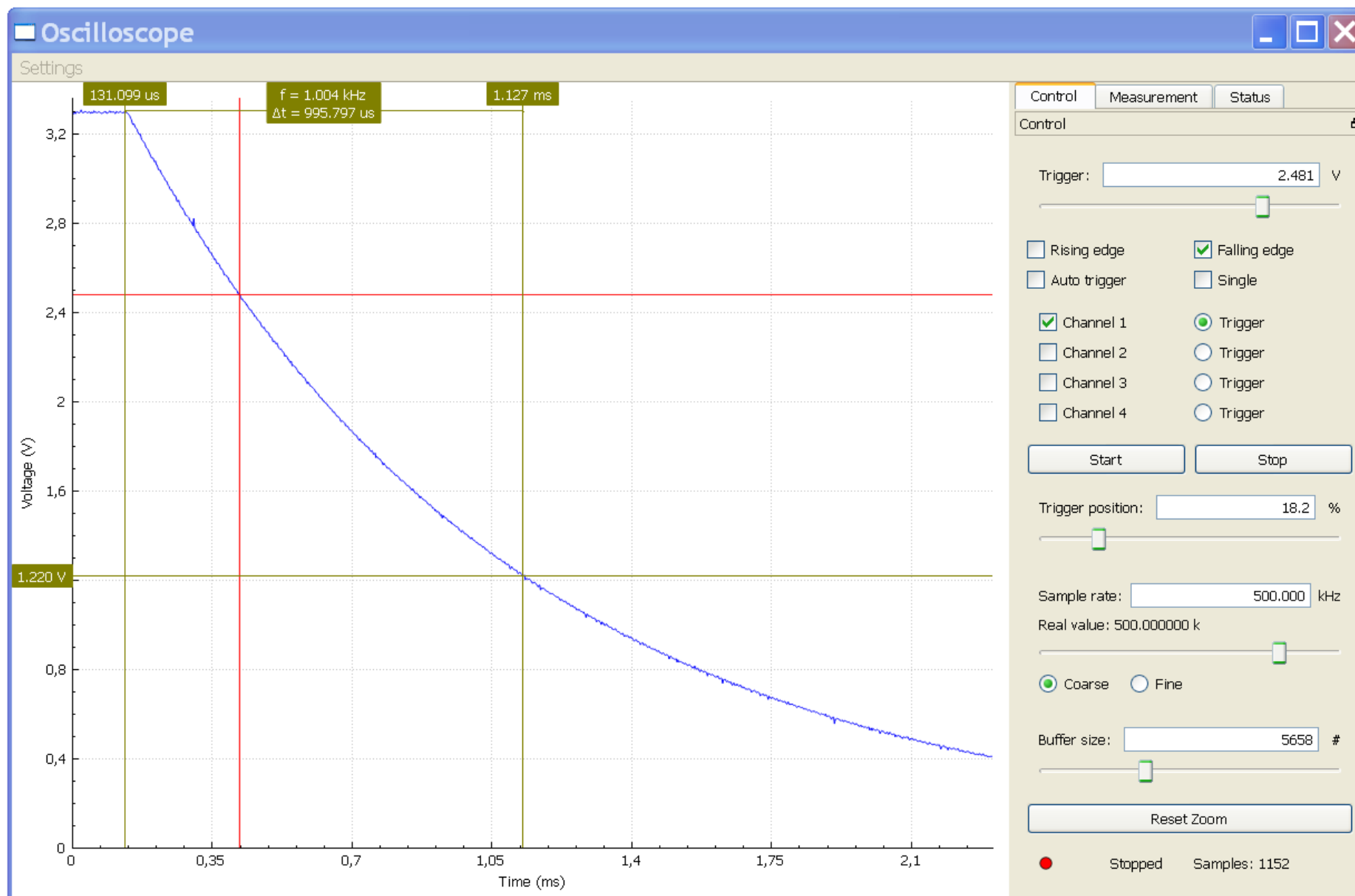


RC integrační článek 10 k Ω + 100 nF



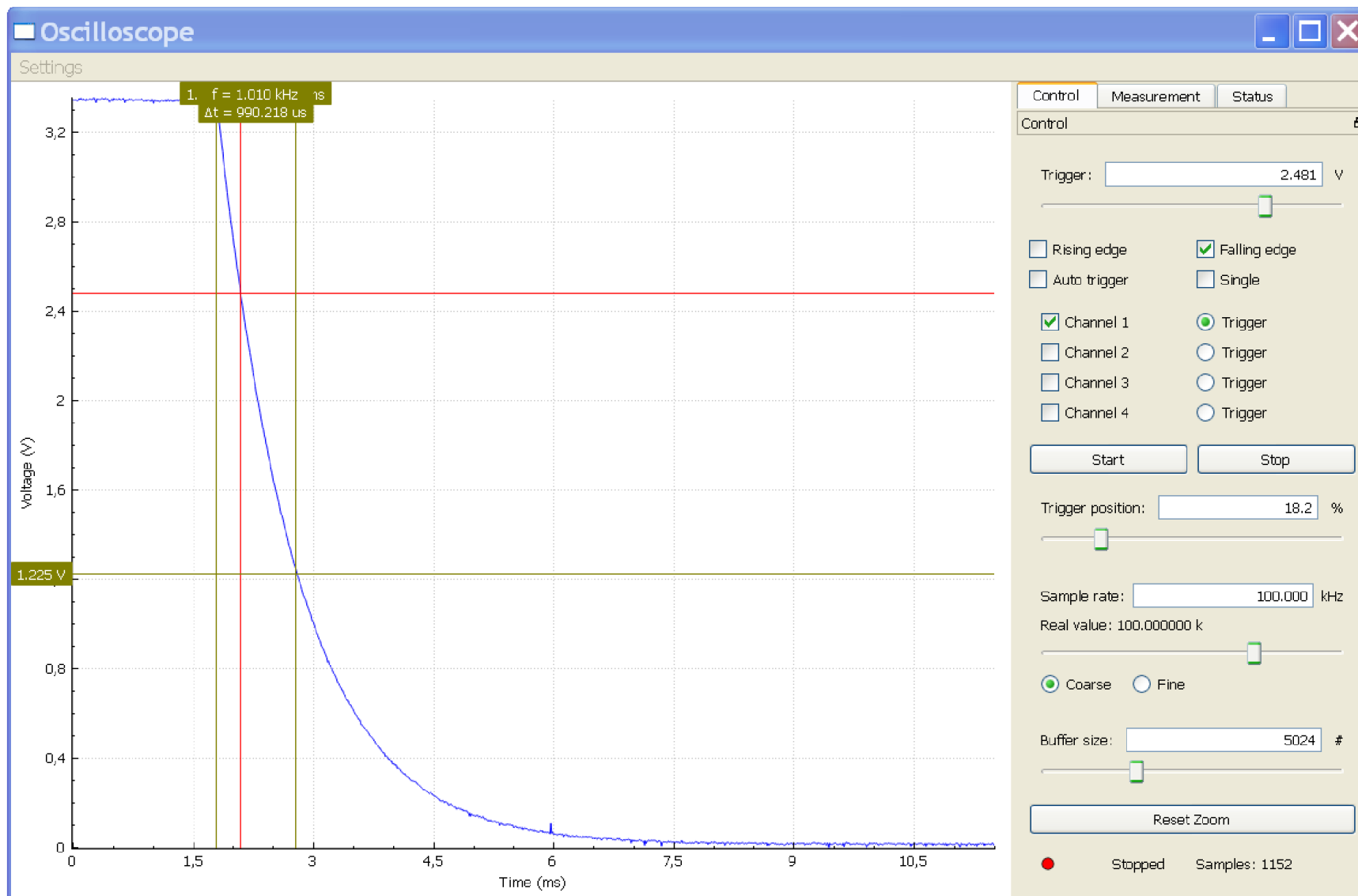
RC integrační článek 10 kΩ + 100 nF

$f_s = 500 \text{ kS/s}$



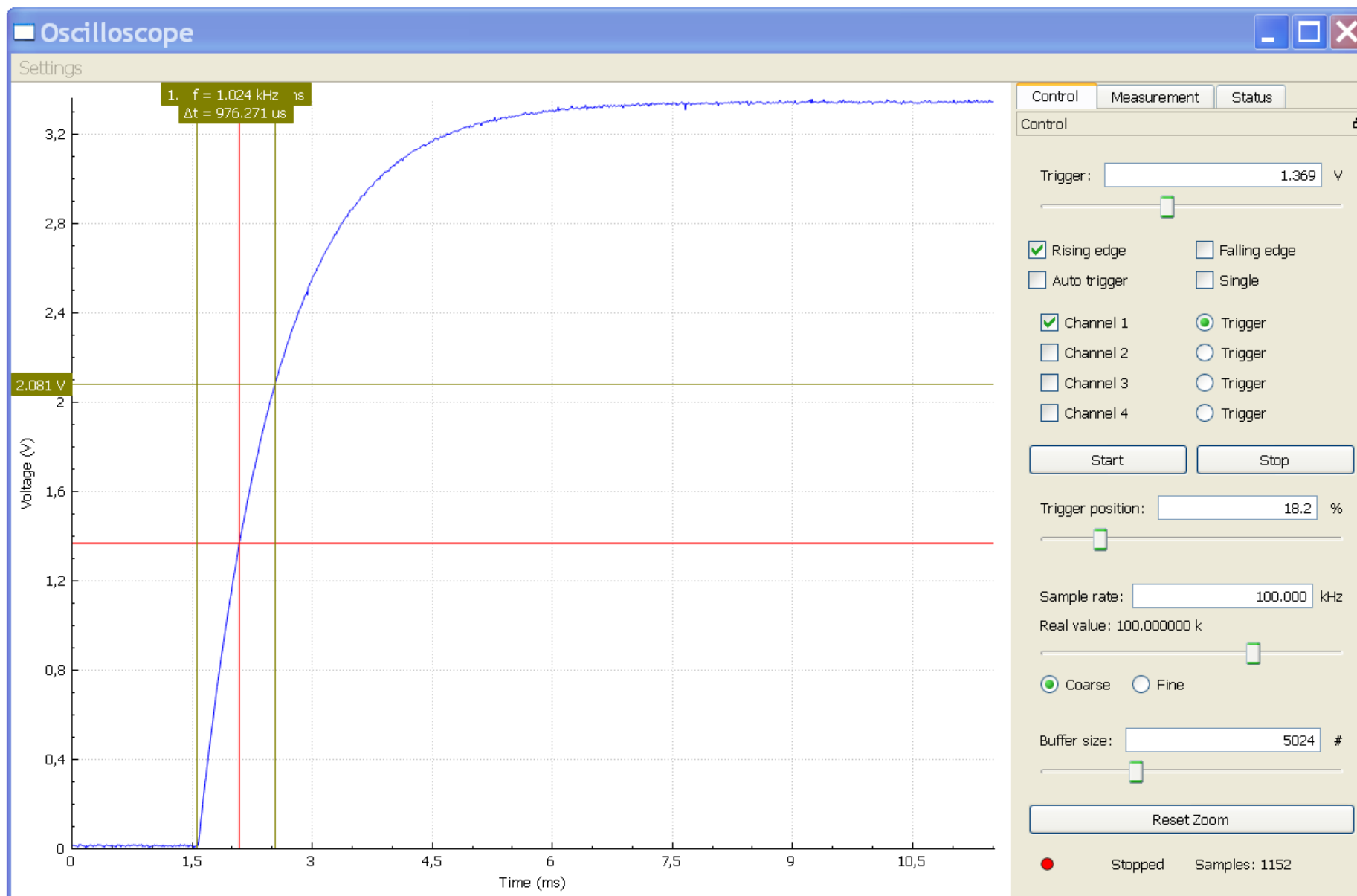
RC integrační článek 22 kΩ + 100 nF

delší úsek záznamu



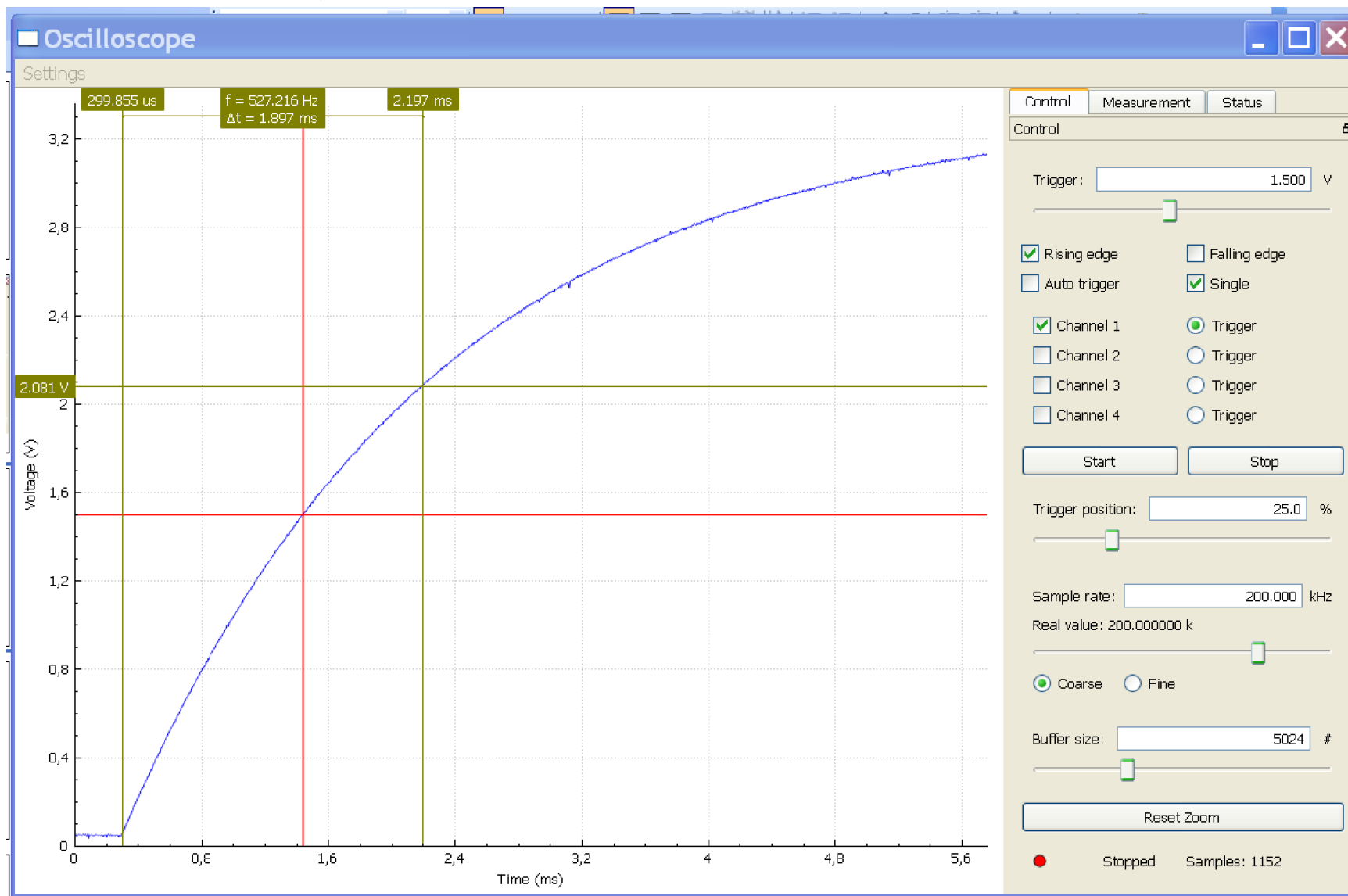
RC integrační článek 22 k Ω + 100 nF

náběžná hrana, vzorkování 100 kS/s

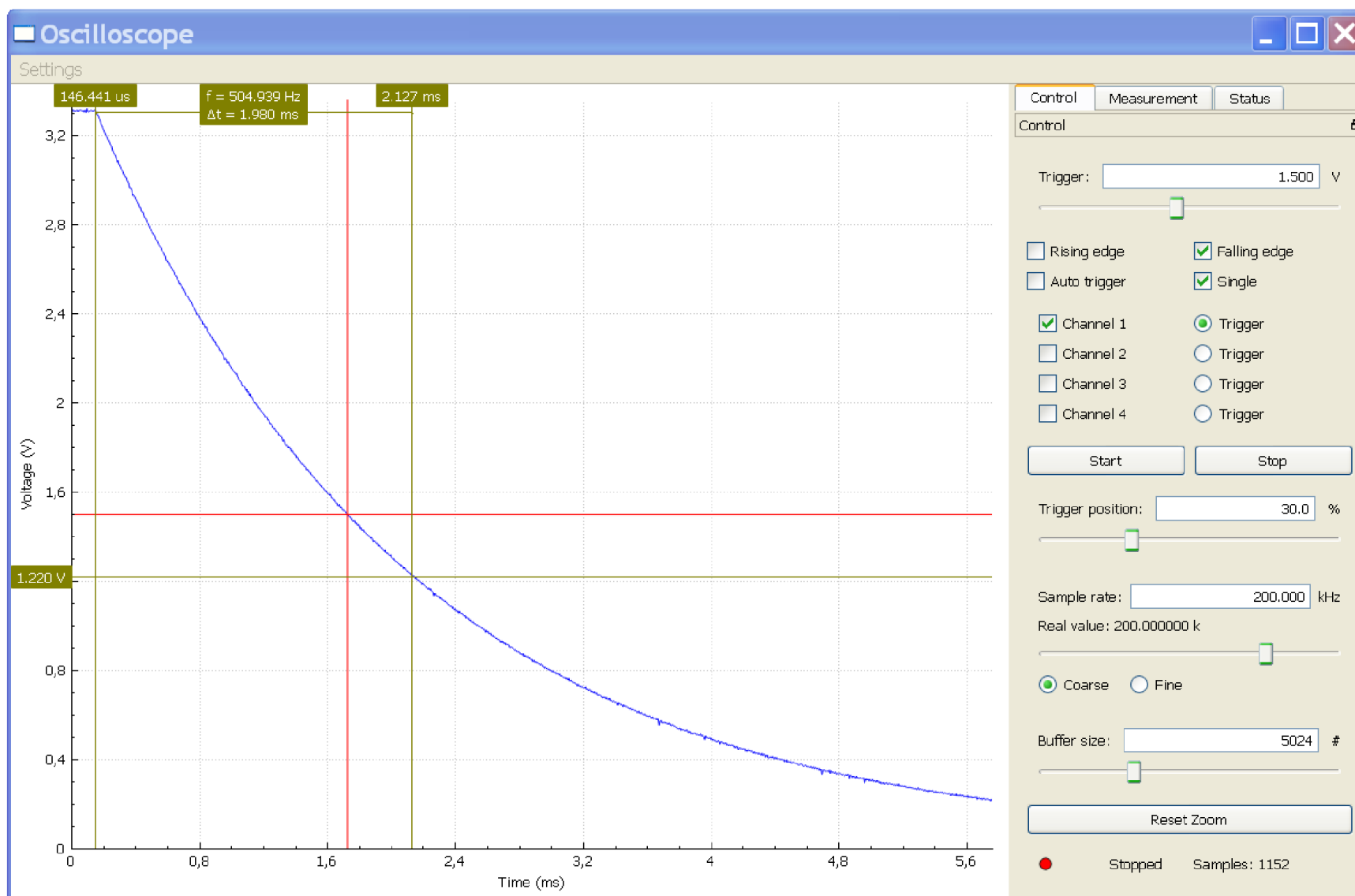


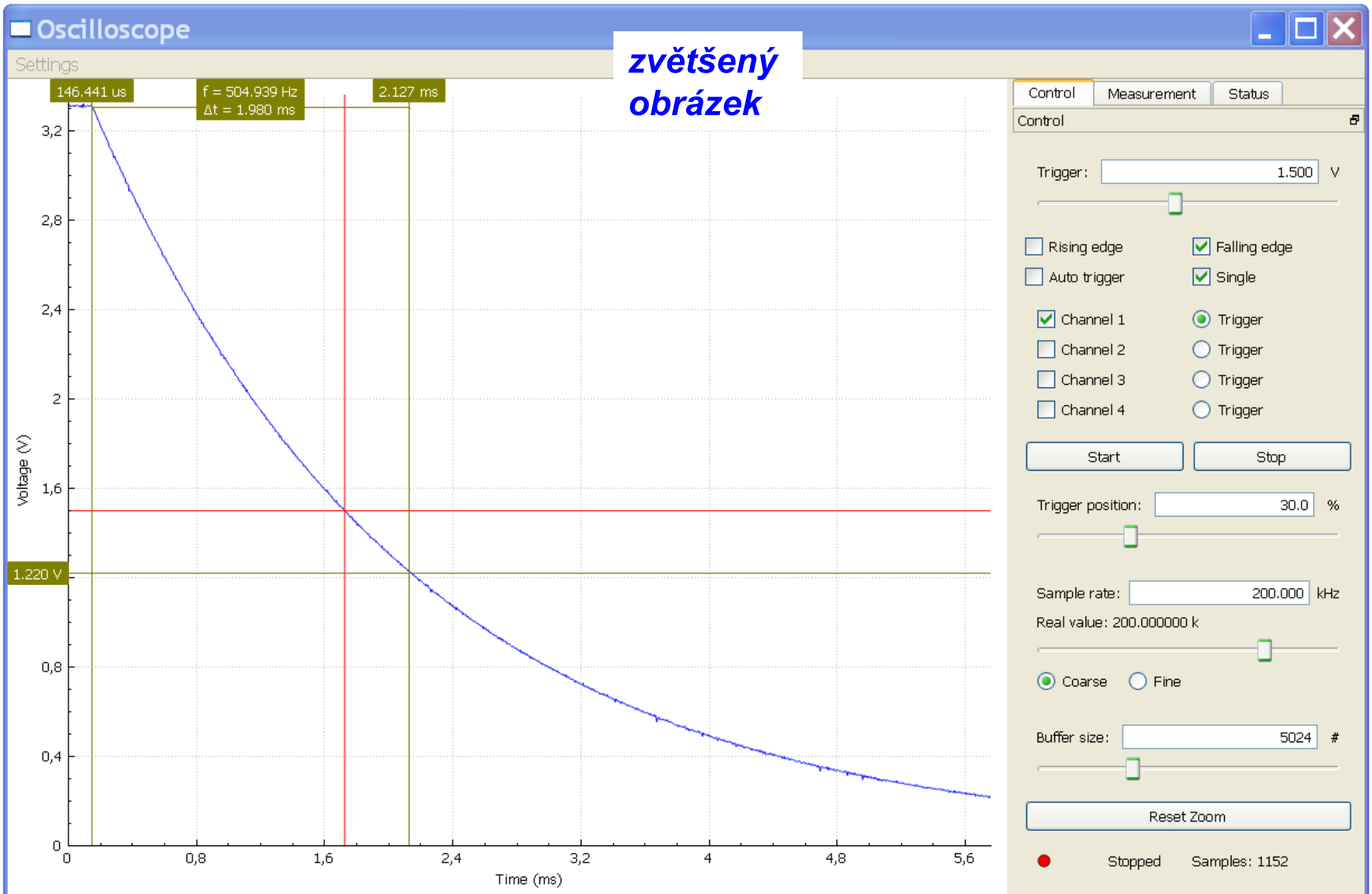
RC integrační článek $10\text{ k}\Omega + 200\text{ nF}$

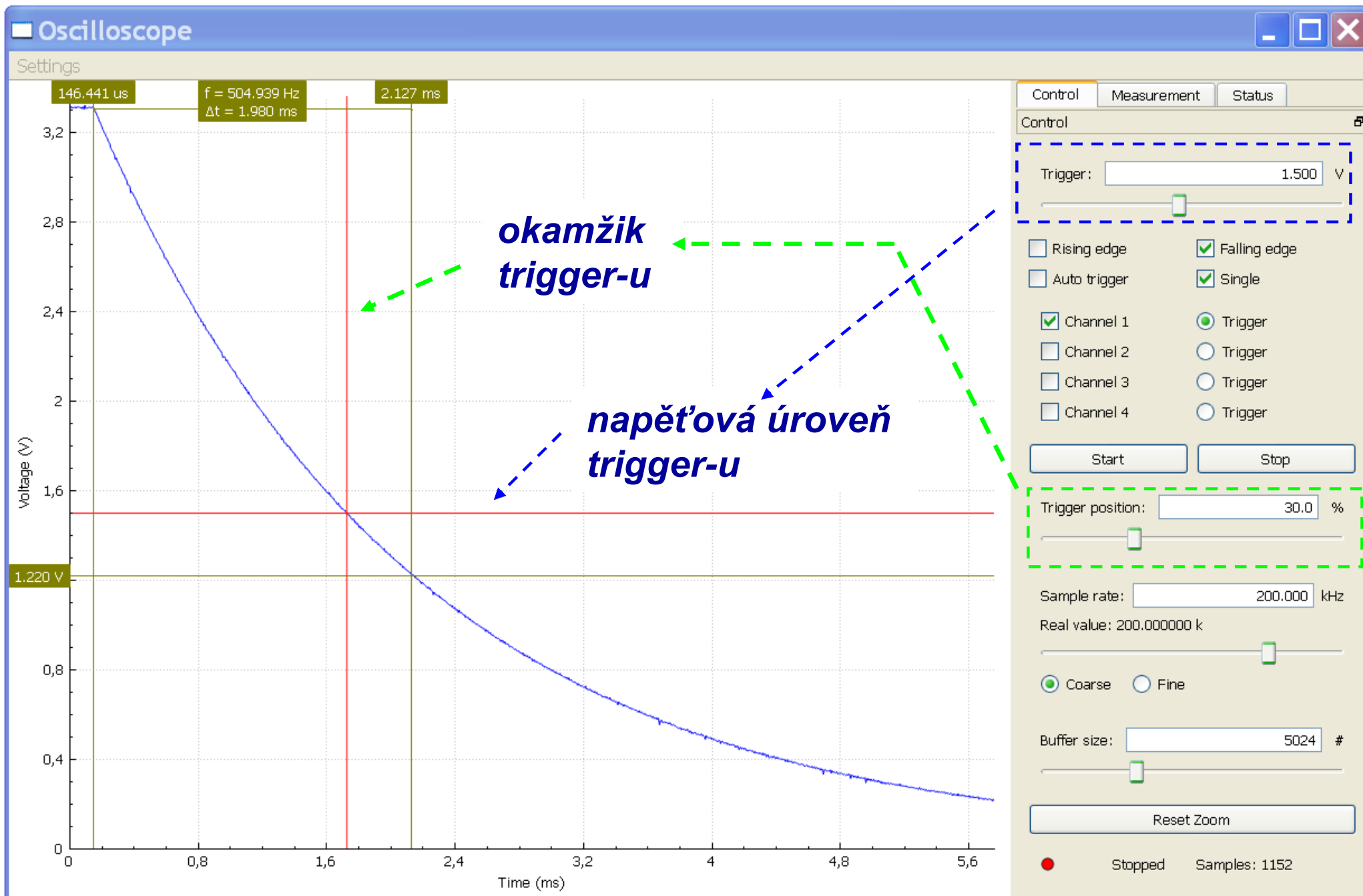
náběžná hrana, vzorkování 200 kS/s



RC integrační článek $10\text{ k}\Omega + 200\text{ nF}$



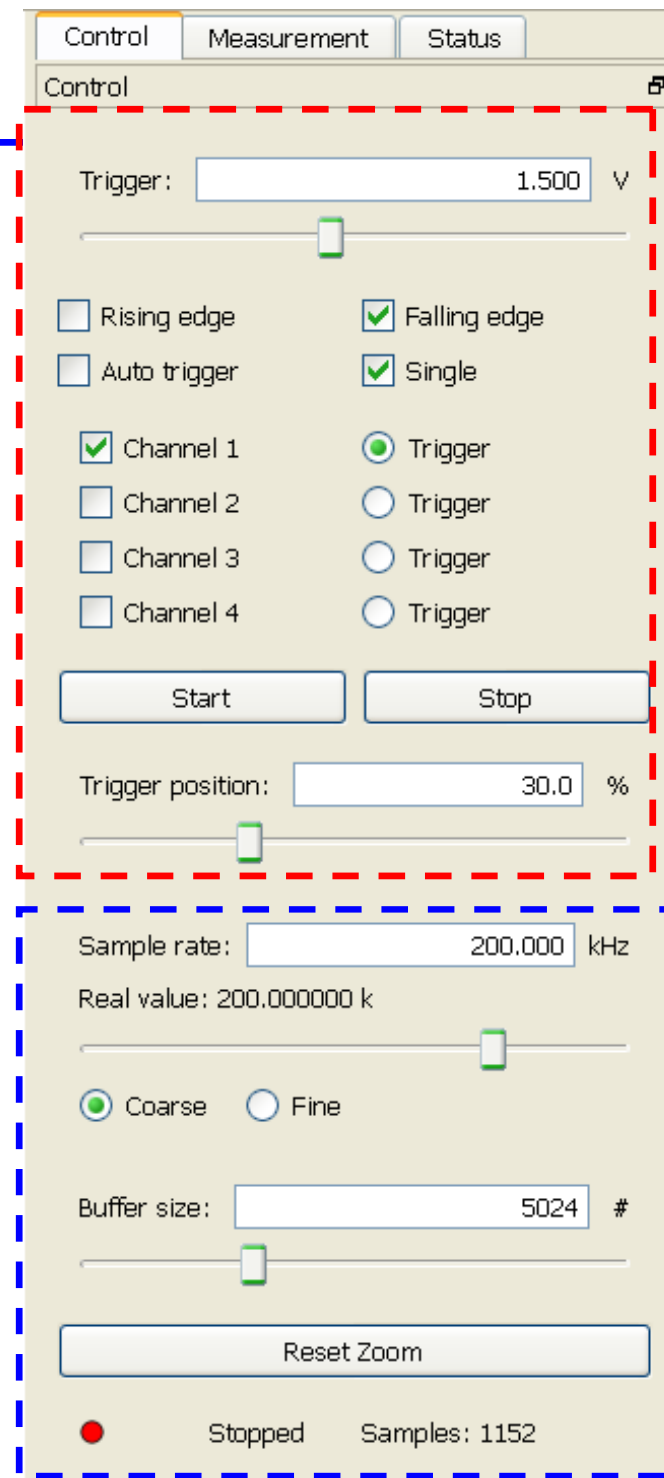




Ovládací panel osciloskopu

**oblast nastavení
souštění „ trigger**

**oblast nastavení
vzorkování**



Ovládací panel osciloskopu – spouštění „trigger“

nastavení hranice napětí
pro trigger

volba hrany pro trigger
náběžná / spádová

autotrigger- spouští okamžitě
bez ohledu na napětí

single- jednorázový odměr
provede po „start“ jediný
odměr

volba kanálu – zdroje pro
trigger

velikost „ prettriggeru, to je
zobruzení signálu v oblasti
před okamžikem spuštění

Control Measurement Status

Control

Trigger: 1.500 V

Rising edge Falling edge

Auto trigger Single

Channel 1 Trigger

Channel 2 Trigger

Channel 3 Trigger

Channel 4 Trigger

Start Stop

Trigger position: 30.0 %

Ovládací panel osciloskopu – nastavení vzorkování

rychlost vzorkování, žádaná hodnota a hodnota skutečně nastavená

nastavení velikosti bufferu-záznamové paměti

hodnota žádaná

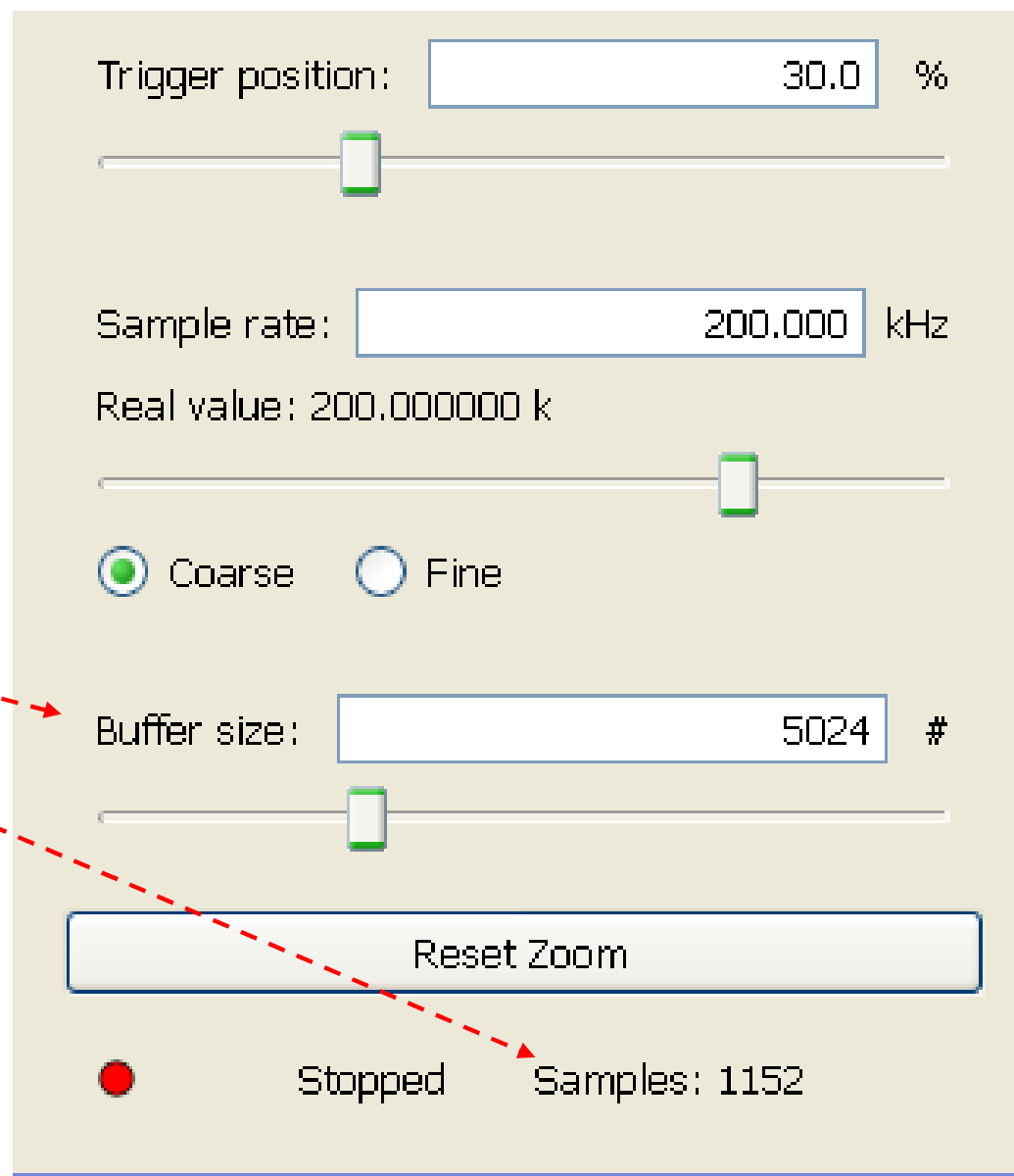
a skutečná

RESET Zoom-u zobrazení

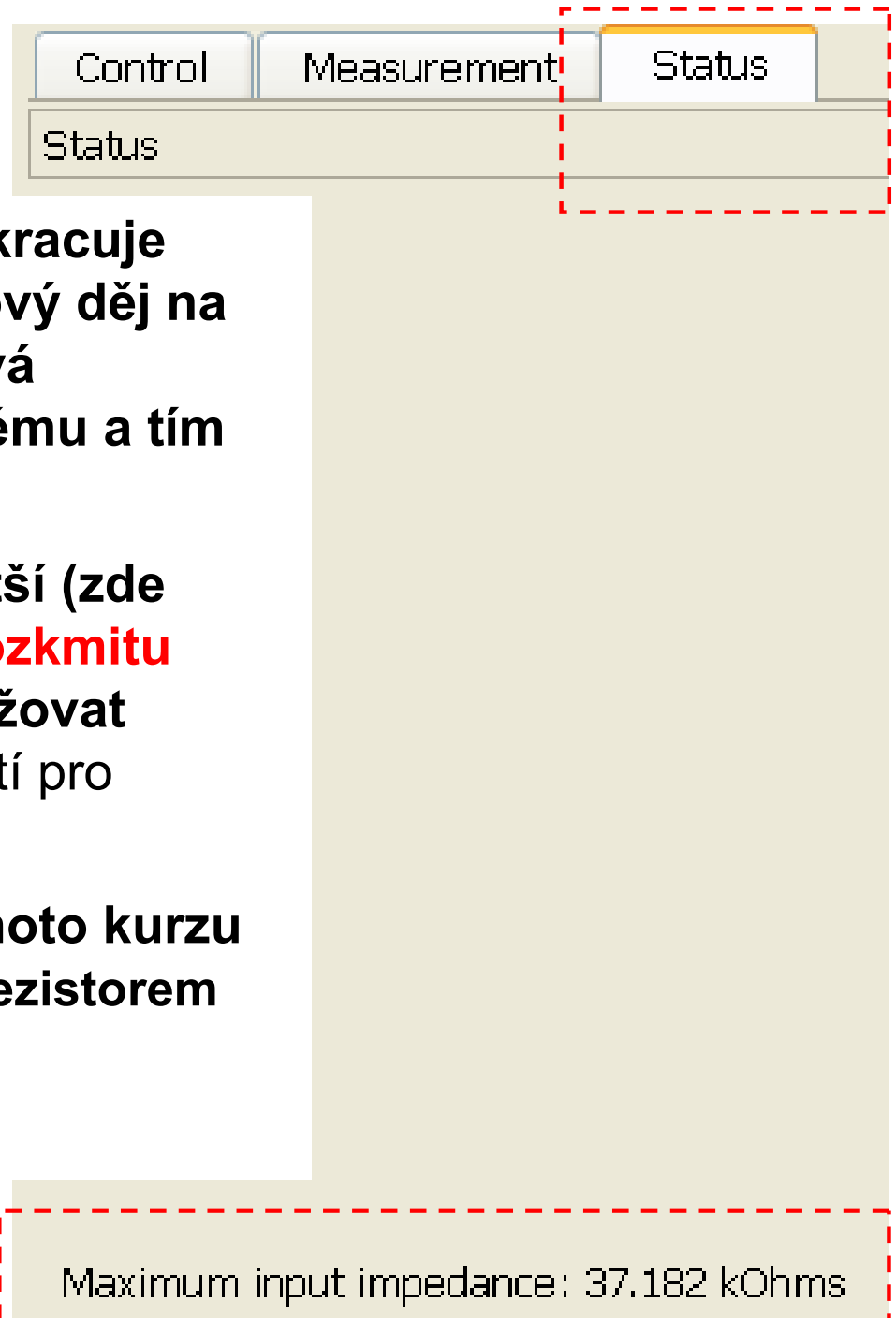
Stopped / Waiting/ Run

waiting- čeká na trigger

stopped - po single nebo po stop



Panel- status



S rostoucí vzorkovací frekvencí se zkracuje doba odběru vzorku / (také přechodový děj na RC) a vyžaduje se proto menší časová konstanta celého vzorkovacího systému a tím i odporu zdroje signálu.

Pokud bude odpor zdroje signálu větší (zde např 100 kOhmů), sníží se velikost rozkmitu zaznamenaného napětí; bude se snižovat směrem ke střední úrovni 1,6 V. (Platí pro STM32F042)

Vysvětlení jevu překračuje rámec tohoto kurzu (Pro zájemce – možný experiment s rezistorem mezi PWM a CH1.)

Úlohy – experiment s RC článkem

Úlohy D2 – část 4

- Na výstup **PWM**, pin č.14 procesoru RC článek tvořený polyesterovým kondenzátorem o kapacitě **100 nF** (**200 nF**, **50 nF ***) a rezistorem, např. **10k**. Nastavte frekvenci PWM generátoru na **100 Hz** a pozorujte signál na výstupu RC článku. **Zaznamenejte signál** v grafické formě i v datové formě.
- Určete **časovou konstantu τ** RC článku z přechodového děje i výpočtem (**$\tau = RC$**).
- Místo, kde signál v přechodovém ději uběhne 63 procent změny slouží pro odečtení hodnoty časové konstanty.
- Využijte **funkci kurzorů**.
- Vyměňte rezistor za typ s odporem **68k** vyhodnoťte, jak se **změnil průběh** signálu a určete časovou konstantu, porovnejte s předchozím měřením a posuďte, **zda výsledky odpovídají** teorii.

Pokud se úloha nestíhá, bude řešena v D4 (čtvrtek).

200 nF, 50 nF * - jako paralelní, resp. sériová kombinace dvou **100 nF**

Konec