
Kurz praktické elektroniky, D2

Katedra měření, ČVUT – FEL, Praha 30.8. – 3 9. 2021

6.9 –10. 9. 2021

**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.**

30. 9.– 3. 9. 2021 turnus 1 Studenti KyR

6. 9.–10. 9. 2021 turnus 2 Studenti KyR + EK + BIO

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**.

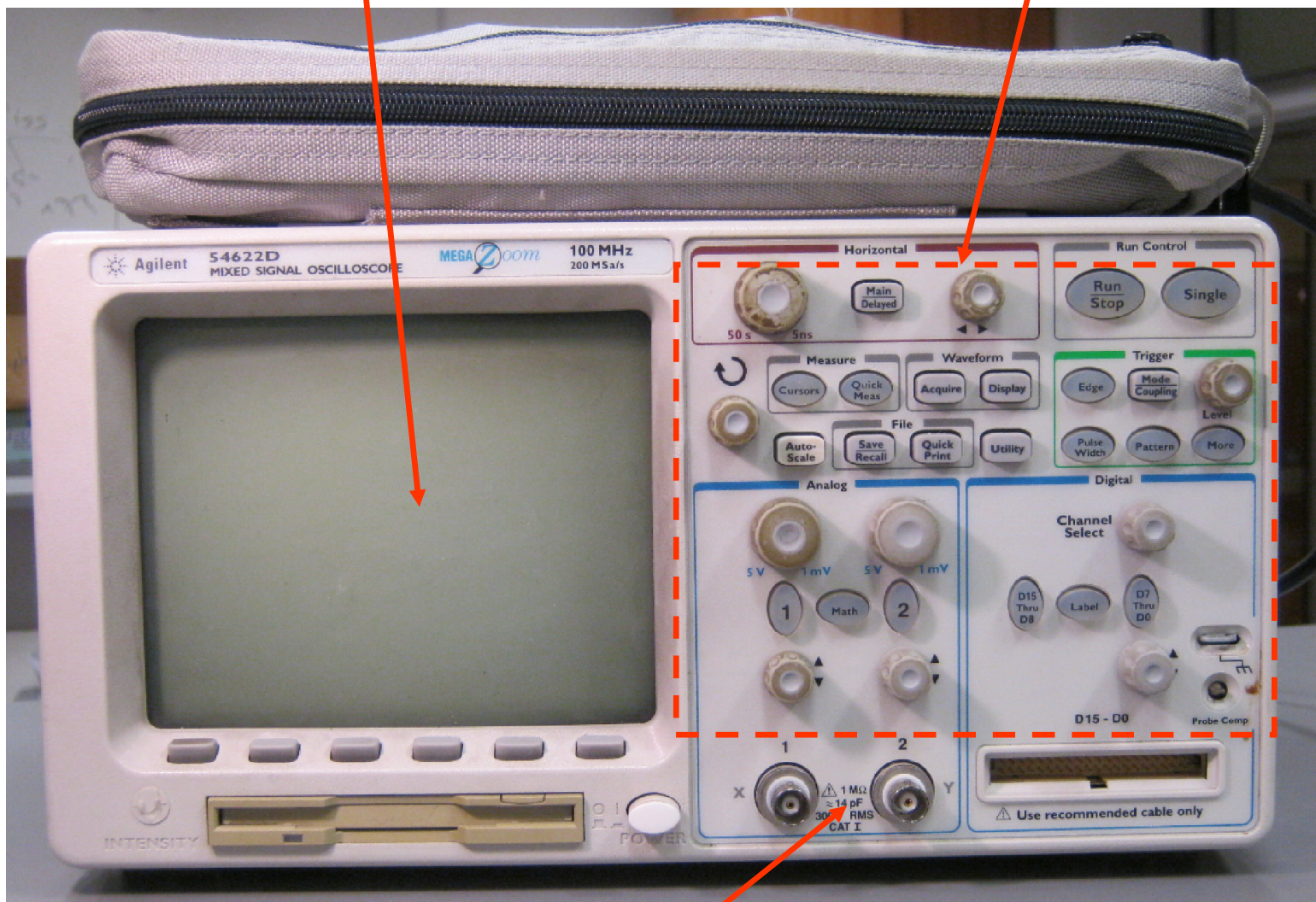
Podstatné – rychlý převodník ADC a rychlá záznamová paměť.

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

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



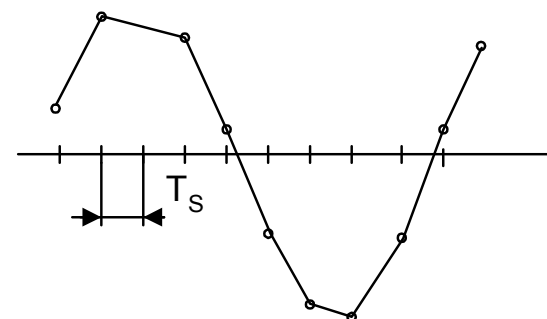
Rekonstrukce signálu- nejjednodušší způsob - spojením bodů (i našem F0-Lab).

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)

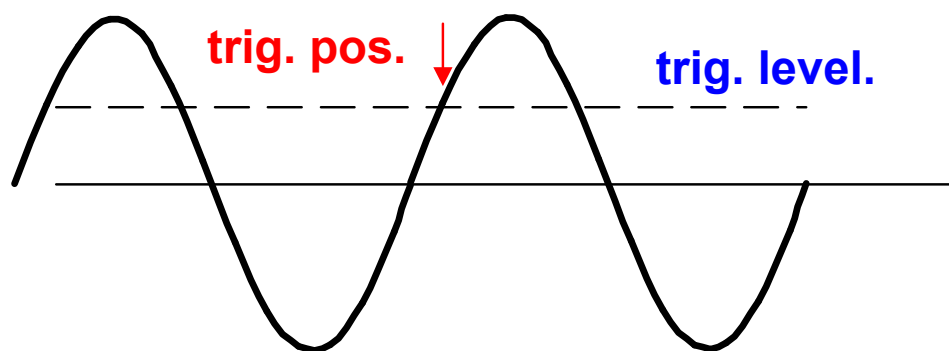
Zpuštění záznamu ve vhodnou dobu, resp. danou událostí

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

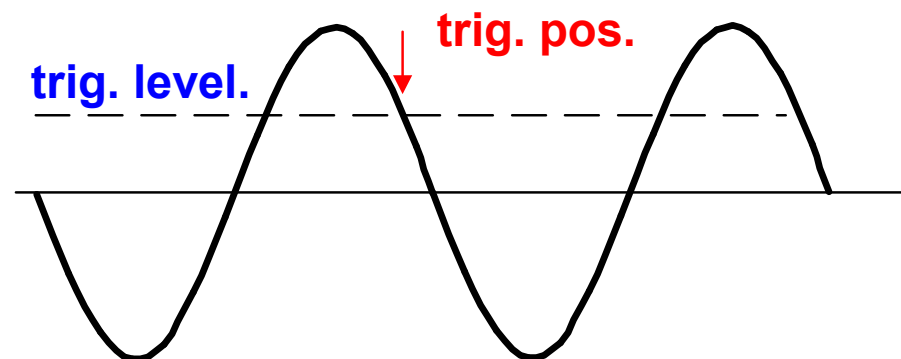
Oblast **trigger**, volba **edge** (hrana) **náběžná** nebo **spádová** hrana signálu

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 analog. číslicový převodník s rozlišením 12 bitů

tedy výstupem jsou binární čísla

0000 0000 0000 až 1111 1111 1111

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

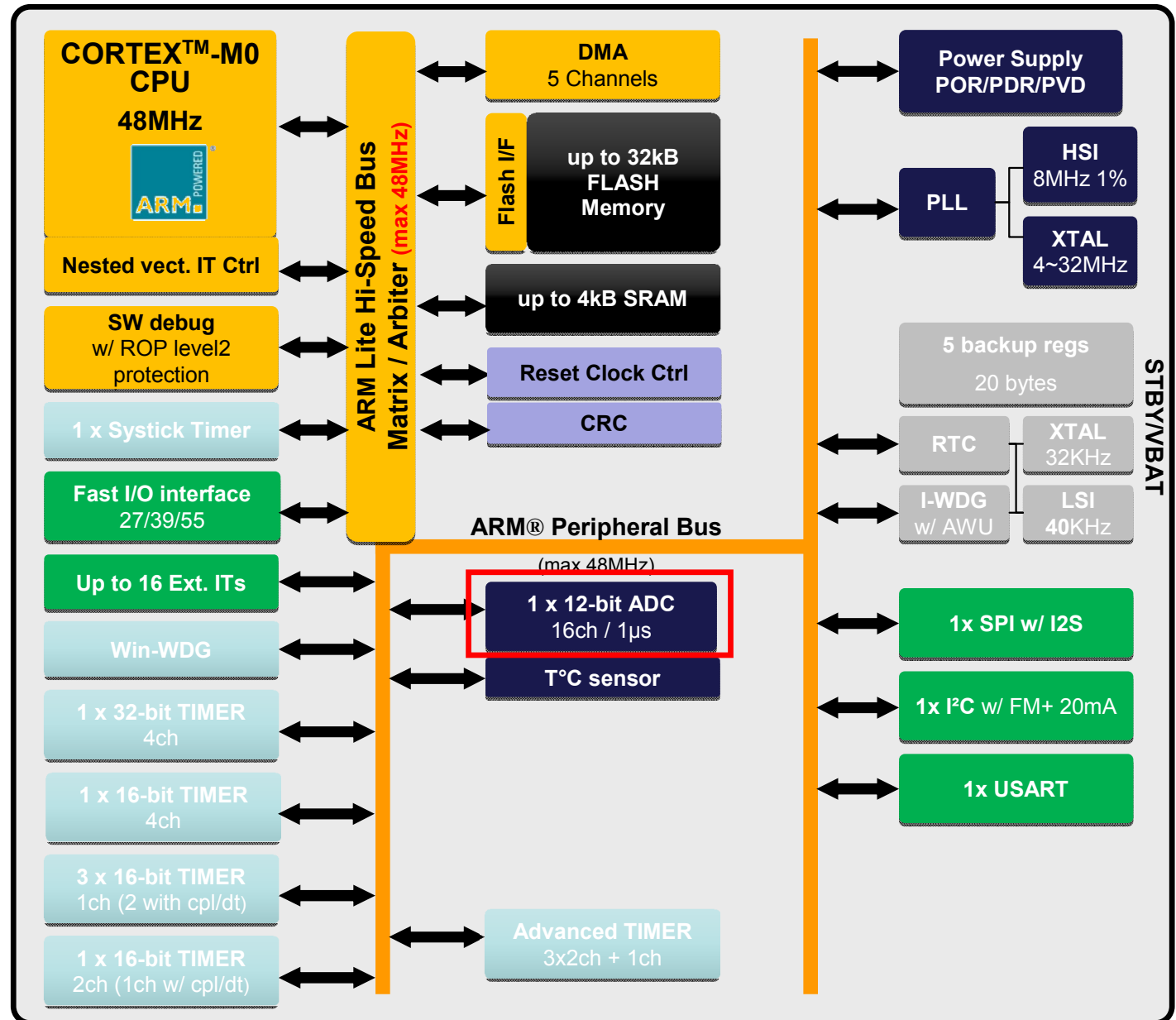
Rozsah převodníku ADC je určen napětím V_{DDA}

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

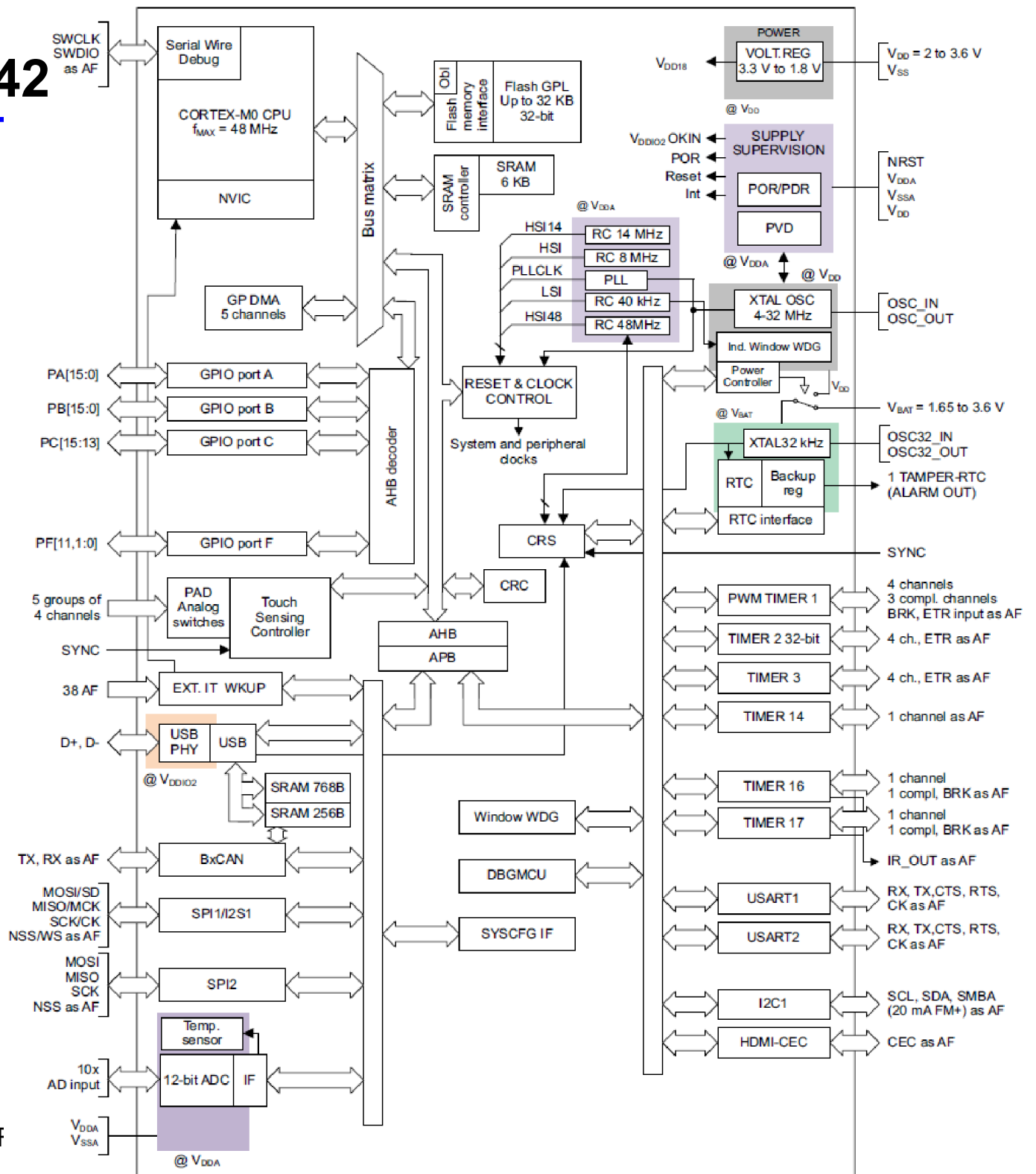
STM32F031
 oproti STM32F041
 varianta bez USB,
 zde uveden
 pro názornost



Struktura STM3F042

Struktura STM3F042

komplexní obvod
mnoho periferních bloků



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.

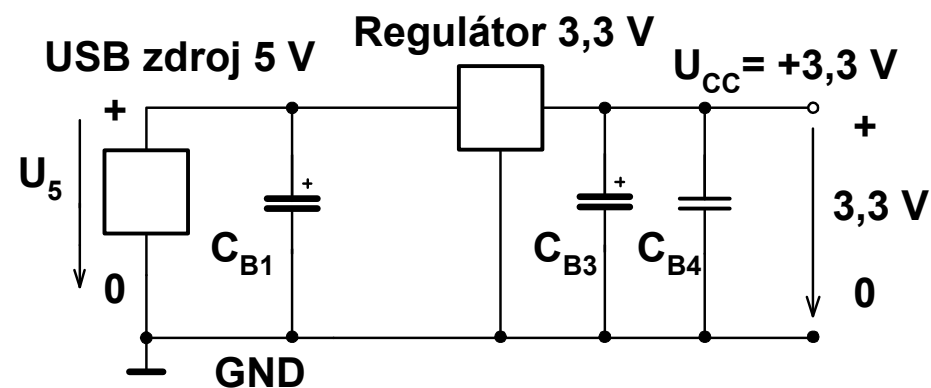
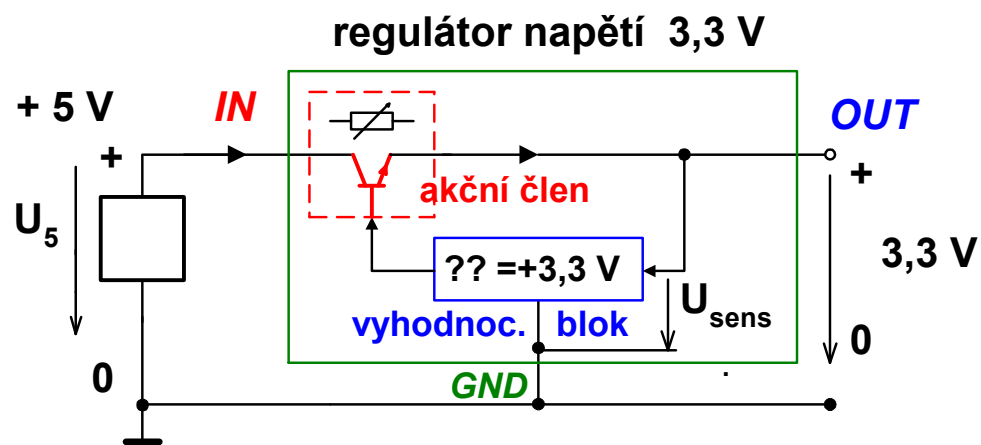
Zdroj +3,3 V

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

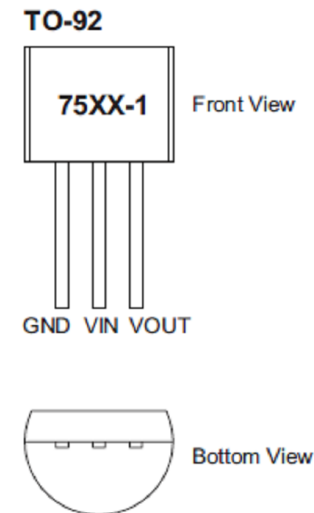
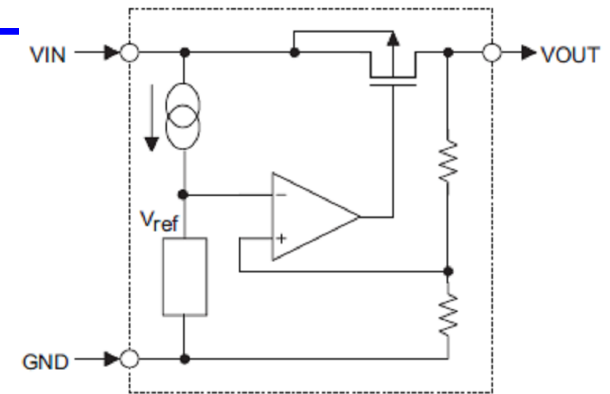
Pozn.: V katalogu u HT7533 uvedeno
„100 mA Low Power LDO“,

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

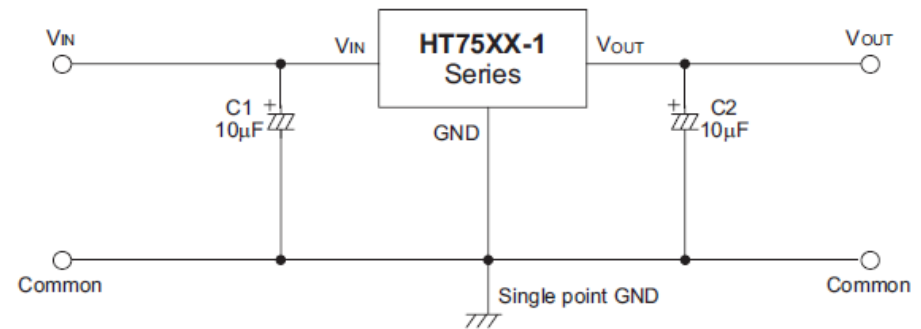
$P = U \times I = 5 \text{ V} \times 0,1 \text{ A} = 0,5 \text{ W}$ – ohřátí regulátoru
omezení proudu na 100 mA



Experiment zapojení regulátoru napětí 3,3 V

Na kontaktním poli zapojit regulátor napětí HT7533

Použít **blokování** pomocí elytů 22 uF 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

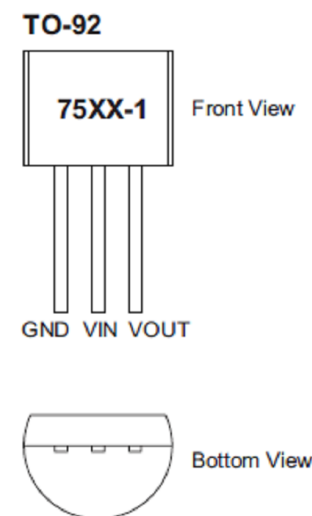
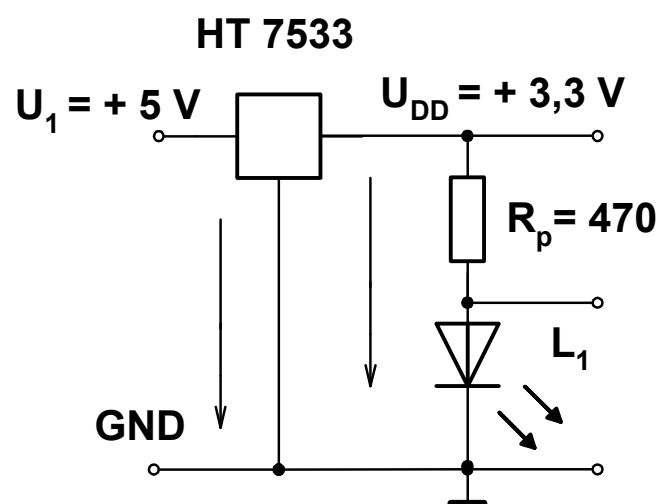
Kondenzátory: 2x elektrolytický **22 uF**, (keramický **100 nF**)

Zapojení stabilizátoru

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

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

Katoda LED na zem – GND (ground).



Signály procesoru, zapojení

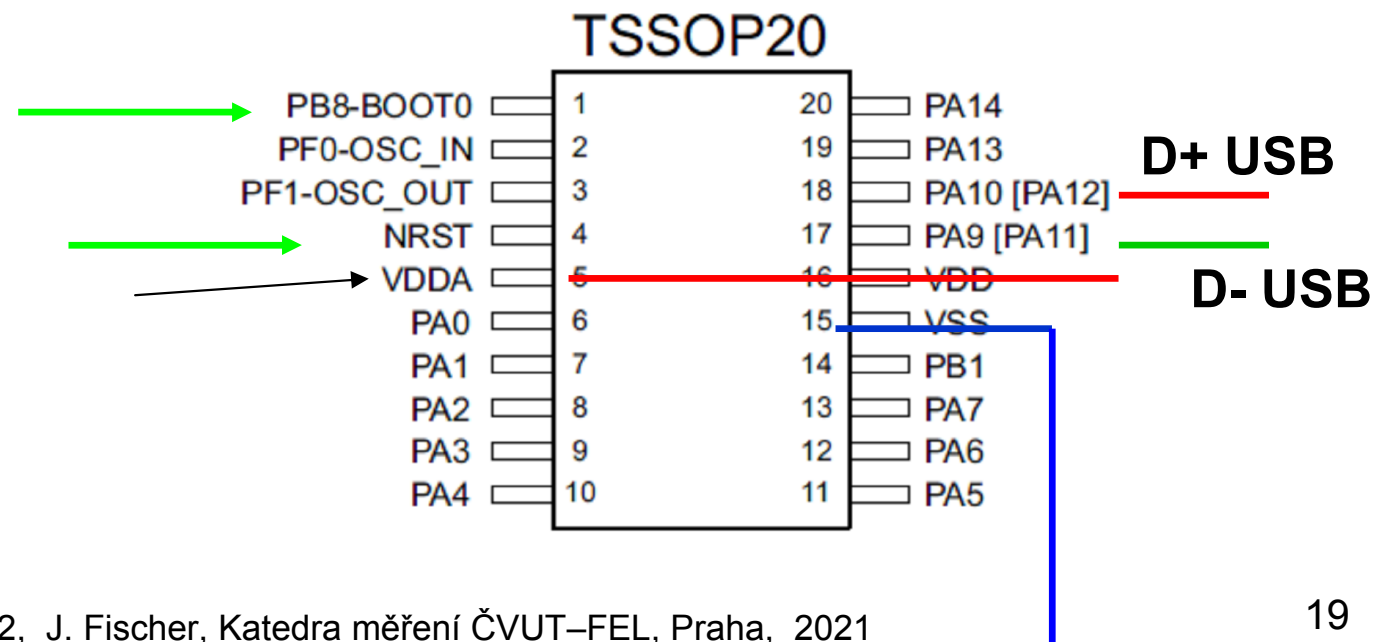
Obvody procesoru zapojovat až po kontrole správnosti napětí

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

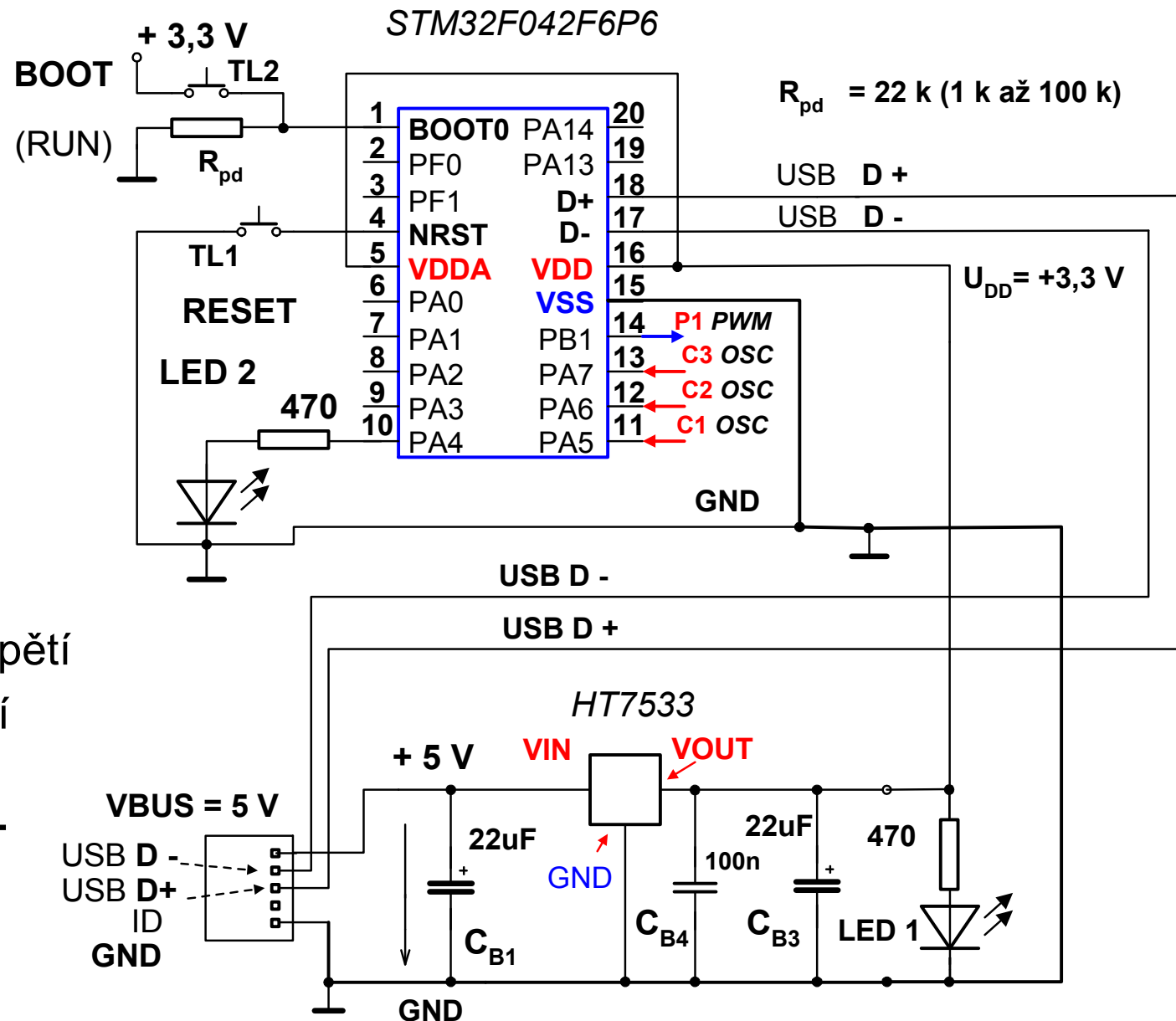
Na desce procesoru je **propojka** mezi pinem č. 5 (V_{DDA}) a pinem č. 16 (V_{DD})

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.

Pozn.: V r. 2021 je proti r. 2020 (snímky v prezentaci- univerzální deska) použita standardní deska **plošného spoje** s procesorem STM32F042 (autor Dr. Petrucha), která má stejné rozložení vývodů, ale je užší.



Zapojení kitu F0-Lab – verze tlačítko



LED 1 indikace

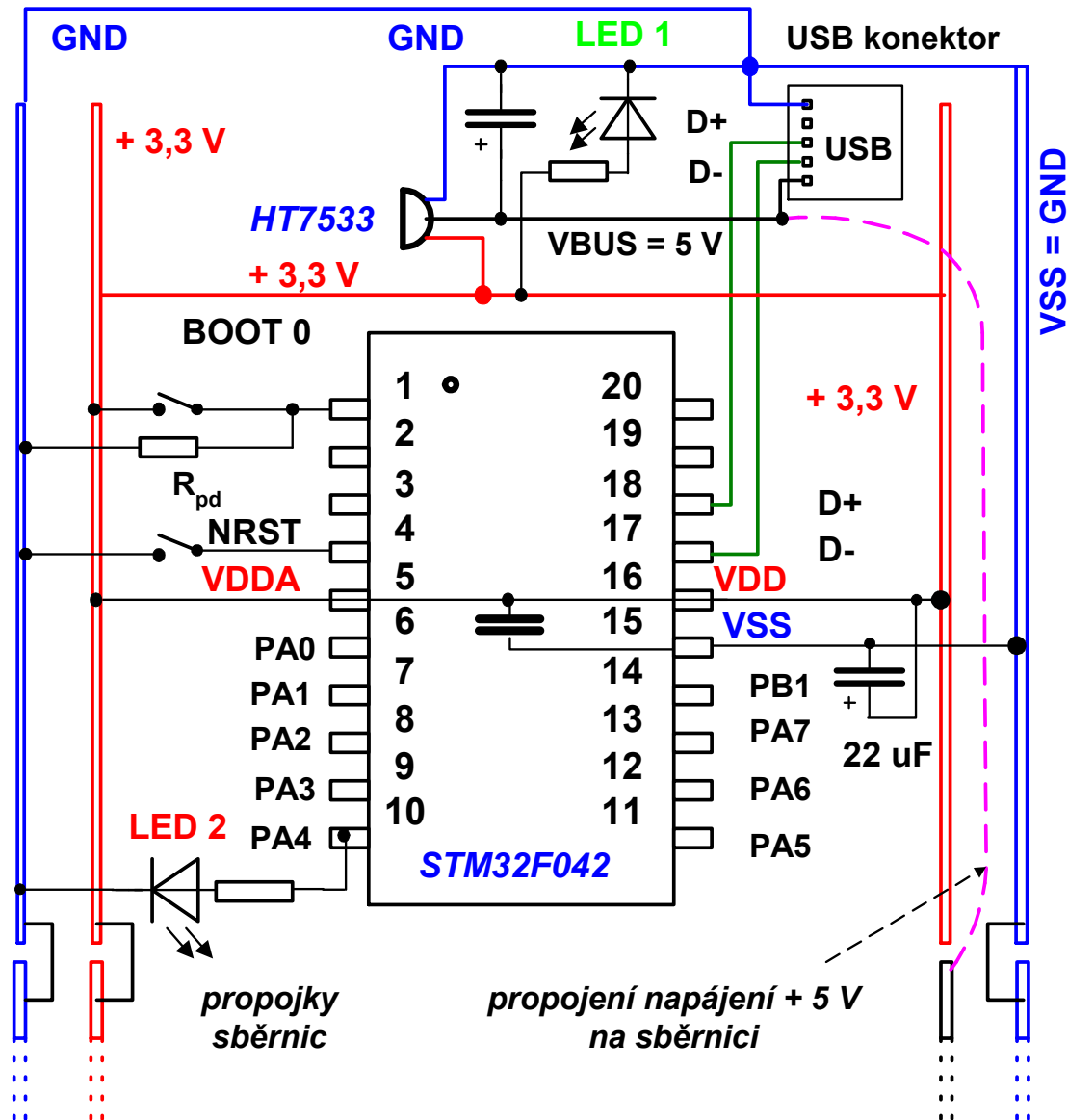
napájecího napětí

LED 2 signalizační

pro blikání

TL2 - režim **BOOT**

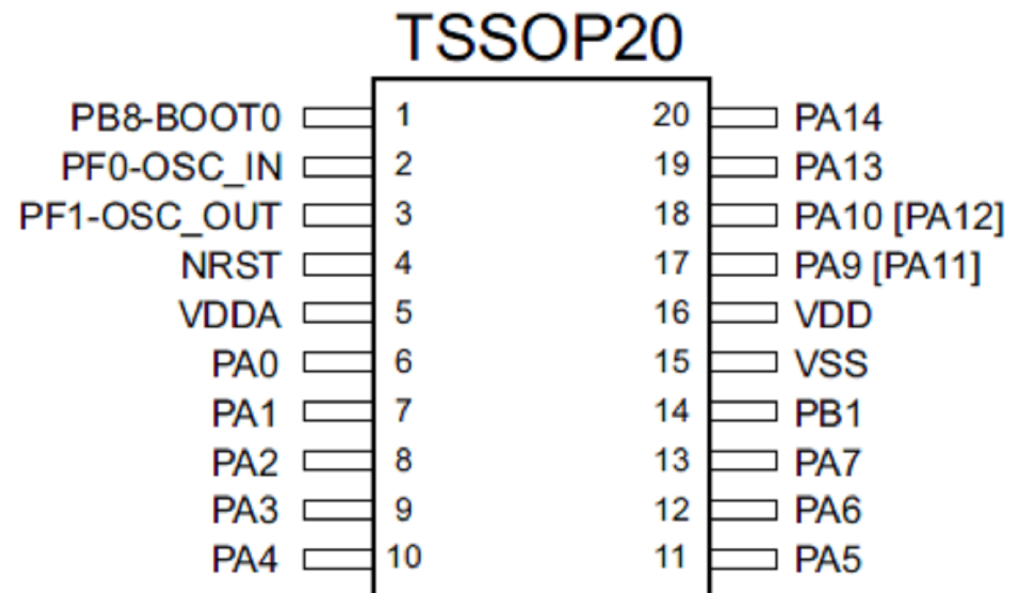
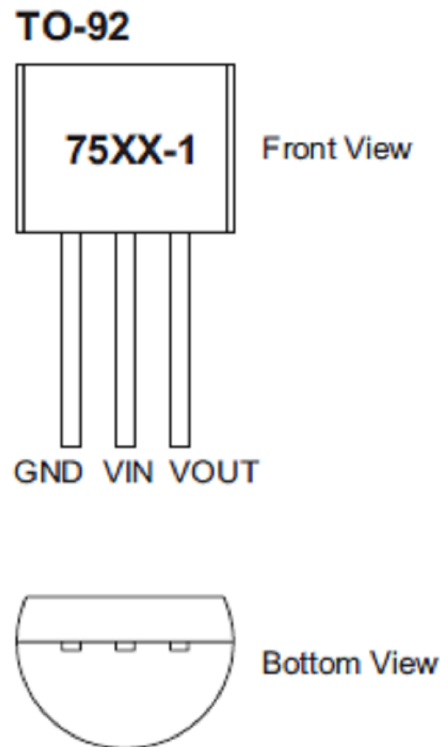
Uspořádání na kontaktním poli - tlačítko BOOT



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:

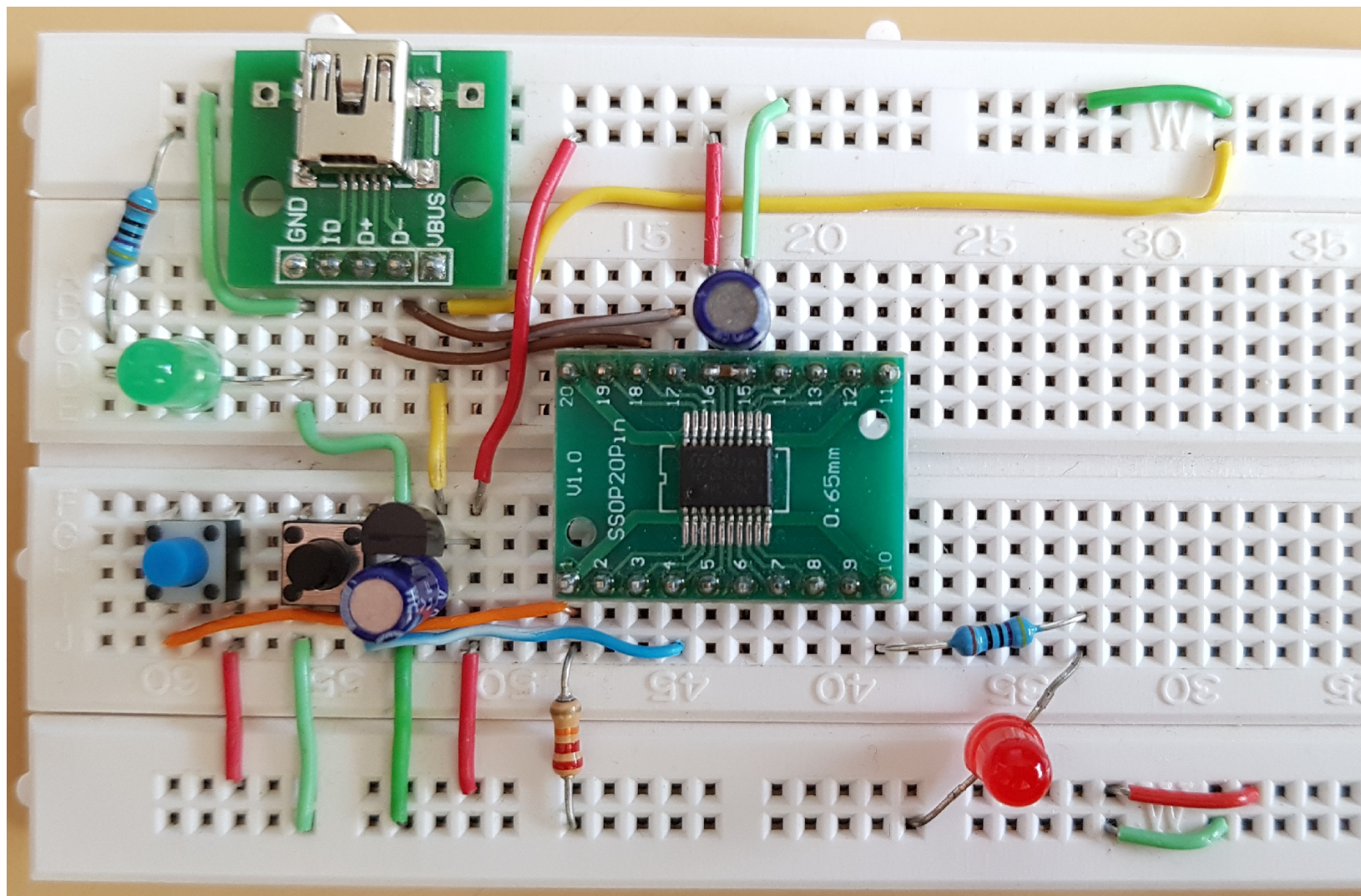
Konektor USB, regulátor napětí HT7533 +3,3 V,

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

Zkontrolovat správnost napětí +3,3 V

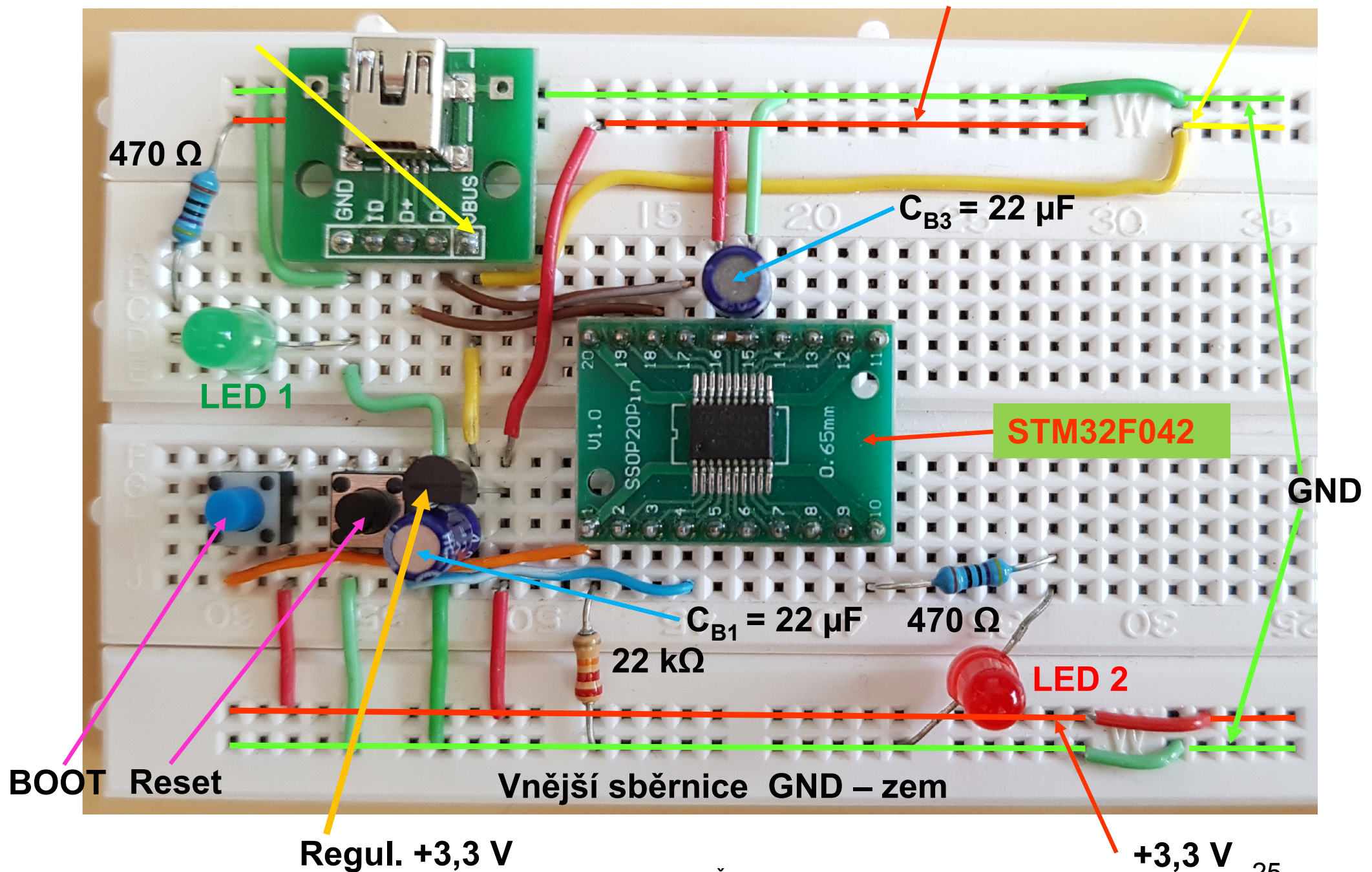
Zapojit modul se STM32F042, tlačítko BOOT + pull down rezistor (10k, 22 k nebo 68 k), reset tlačítko, LED na pin 10 přes rezistor 470 Ohmů.

Pole osazené modulem s STM32F042F6



Pozn. V r. 2021 použita deska spoje procesorového modulu s STM32F042 stejné vývody, ale **deska je užší o 2,54 mm** (jednu řadu kontaktů)

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**, **spínač 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“).

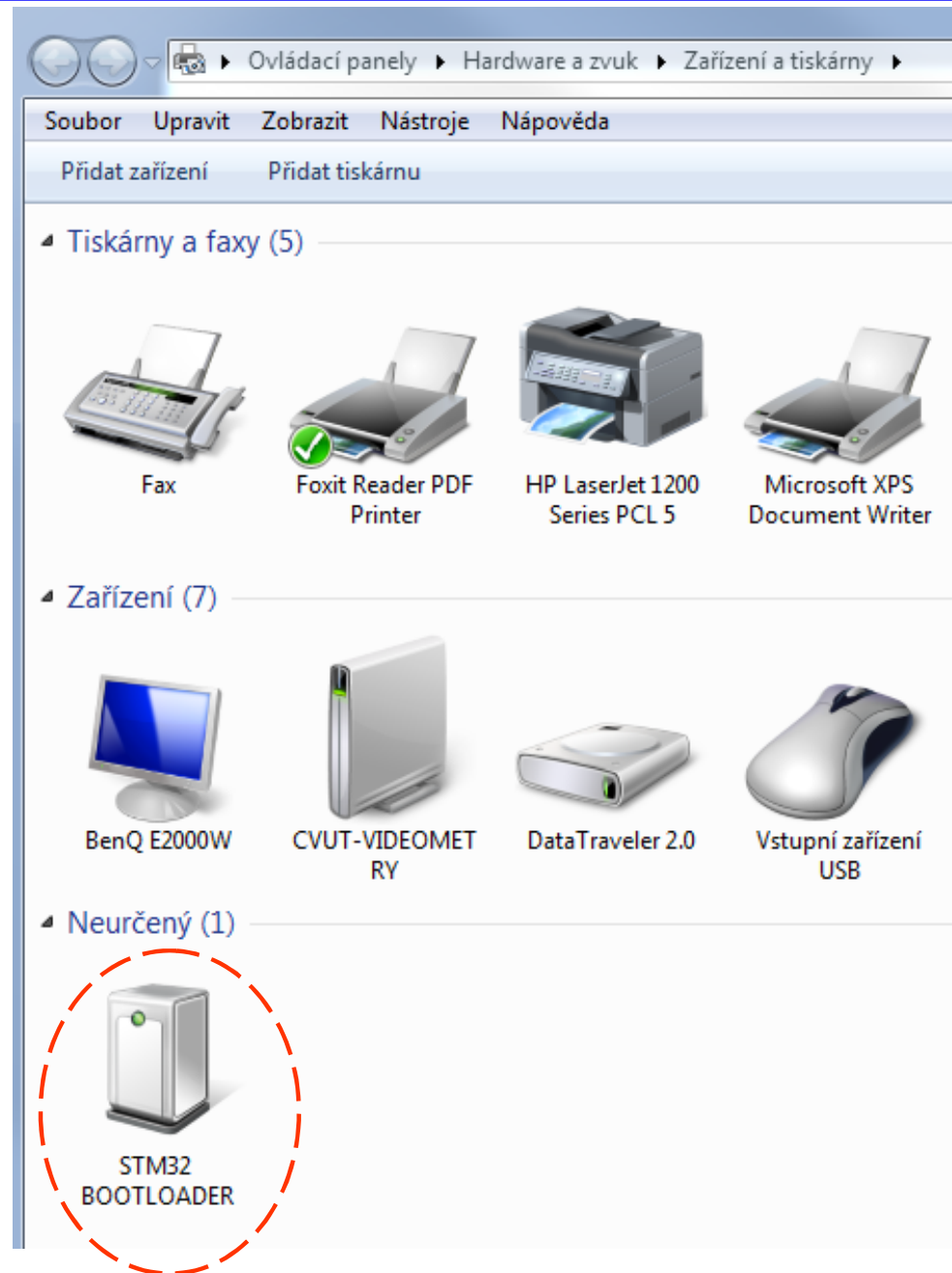
Mikrořadič připojený **na USB v režimu „boot“ (tlačítko boot stisknuto)** se projeví jako zařízení

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

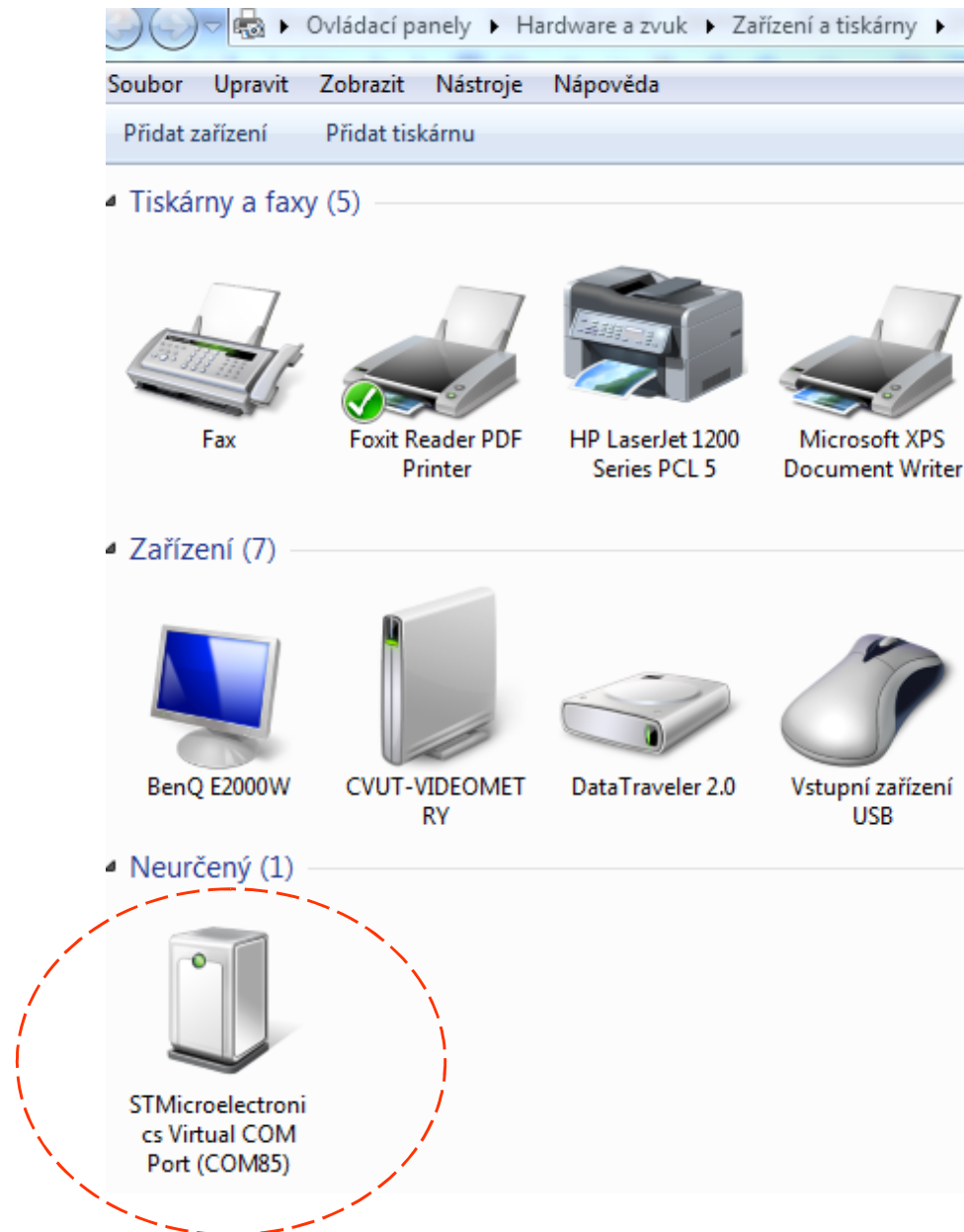
Na počítačích v laboratořích je nainstalovaný potřebný **ovládač USB VCP (Virtual Com Port)** pro mikrořadiče STM32 a PC aplikace **zero_elabviewer_v0.5** (příp. starší verze).

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).

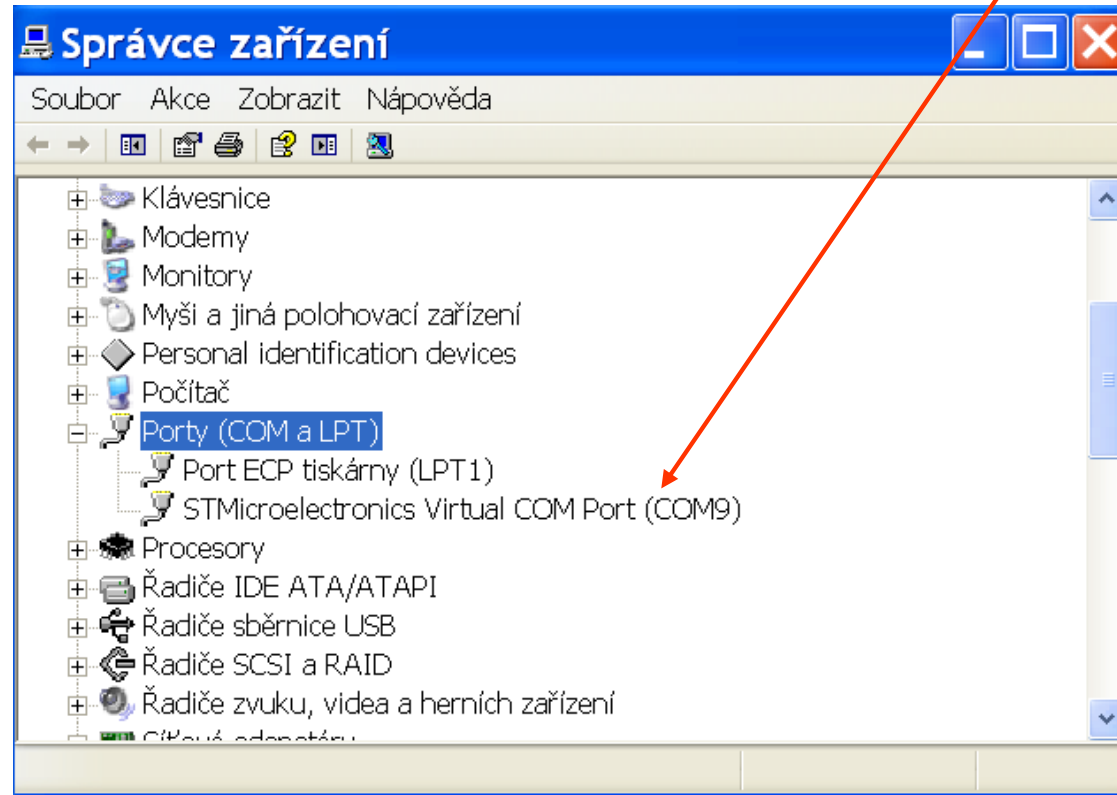
Podmínkou toho je, že STM32F042 je naprogramován příslušným firmware a je též správně nainstalovaný ovládače USB VCP

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).

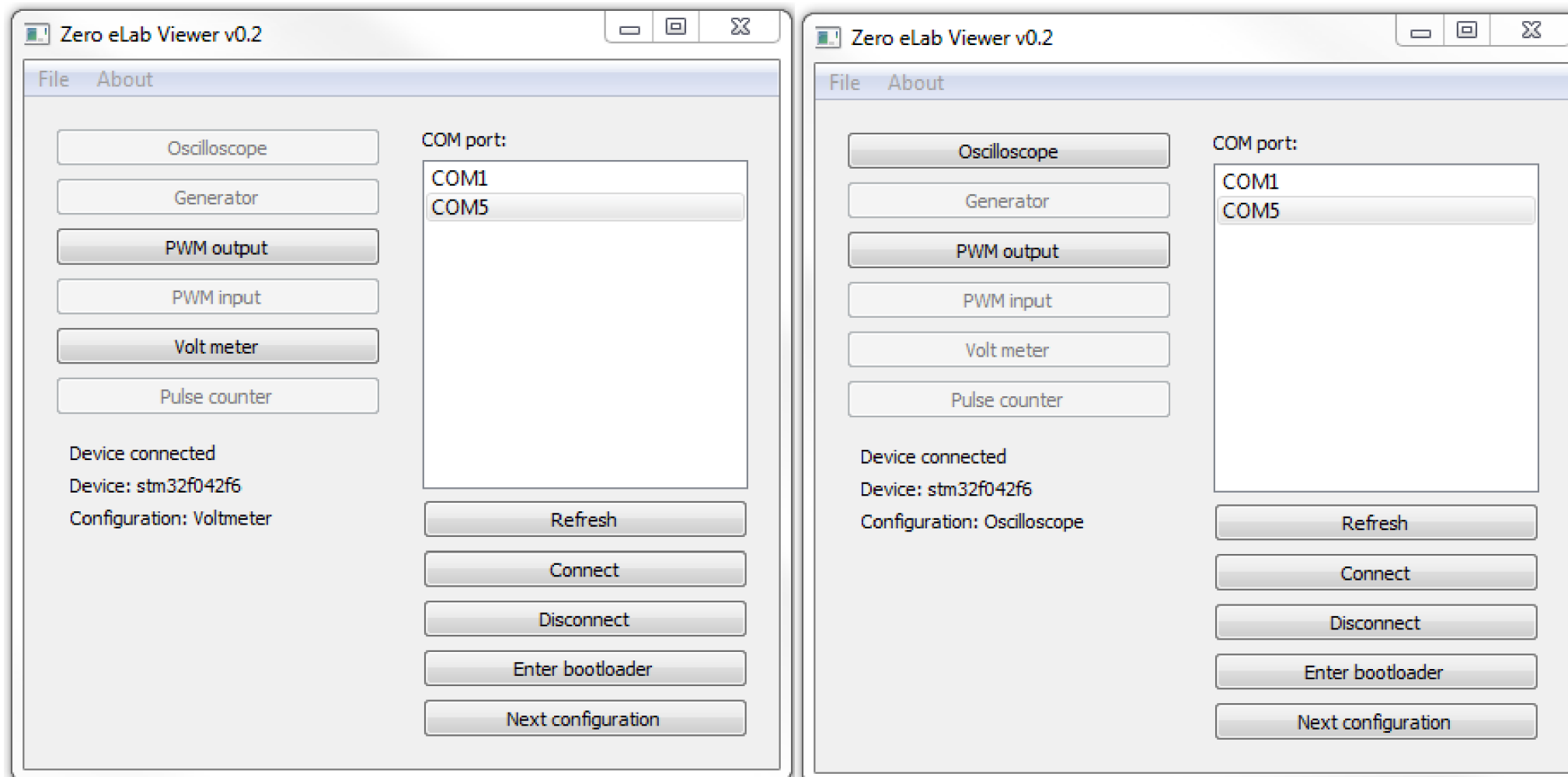
Přepínač do „**RUN**“, stisknout reset, spuštění firmware, **LED** blikne **2x**,
Na PC spustit `zero_elabviewer_v0.5`
Vyhledat COM porty a připojit se k příslušnému COM portu.

Spuštění F0–Lab s programem s voltmetr – osciloskop

Přepínání konfigurace „*Next configuration*“

PWM output + Voltmetr, nebo PWM output + Osciloskop

(Pozn. Zero eLab Viewer v0.5 má stejné funkce a ovládání jako Zero eLab Viewer v0.2)



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 768 vzorků (příp. +K) pro 1 kanál

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

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

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

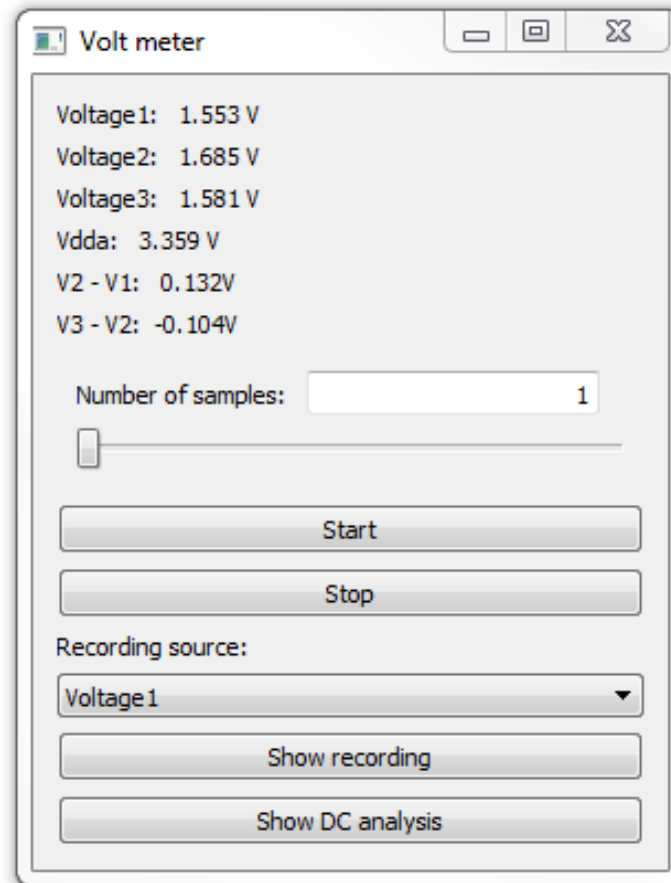
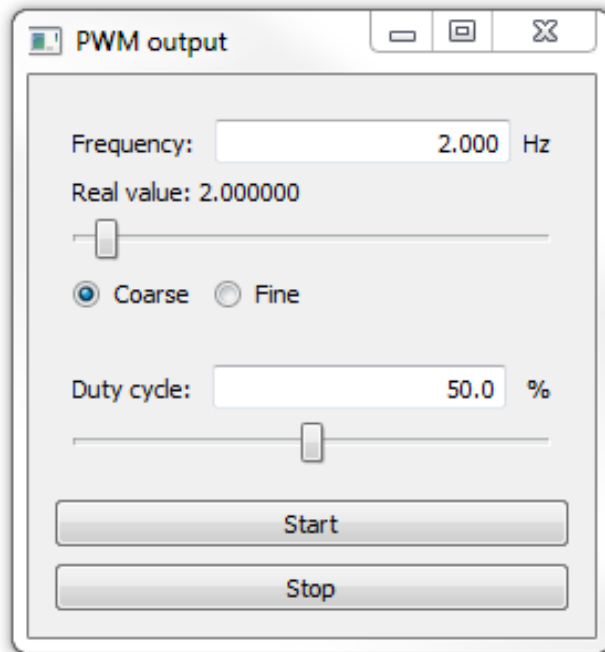
CH1 pin 11 pro funkci voltmetr i osciloskop

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)

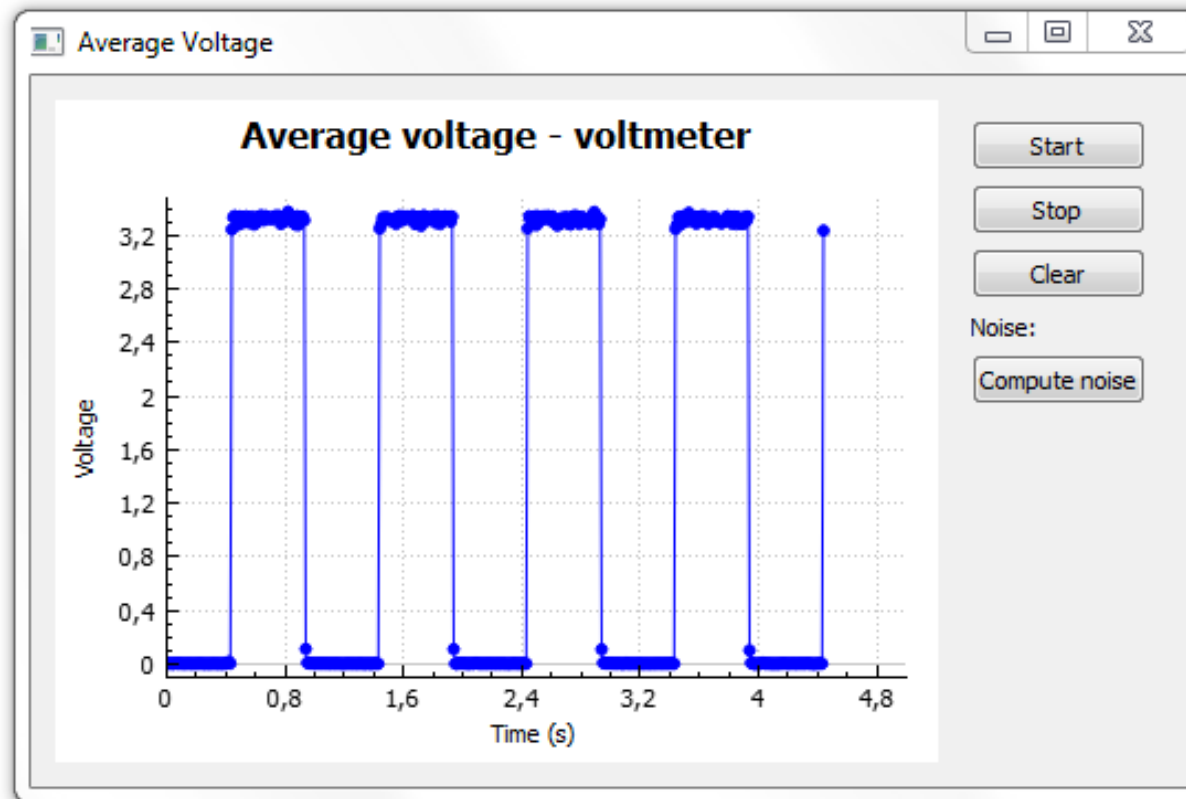
Konfigurace PWM + voltmetr



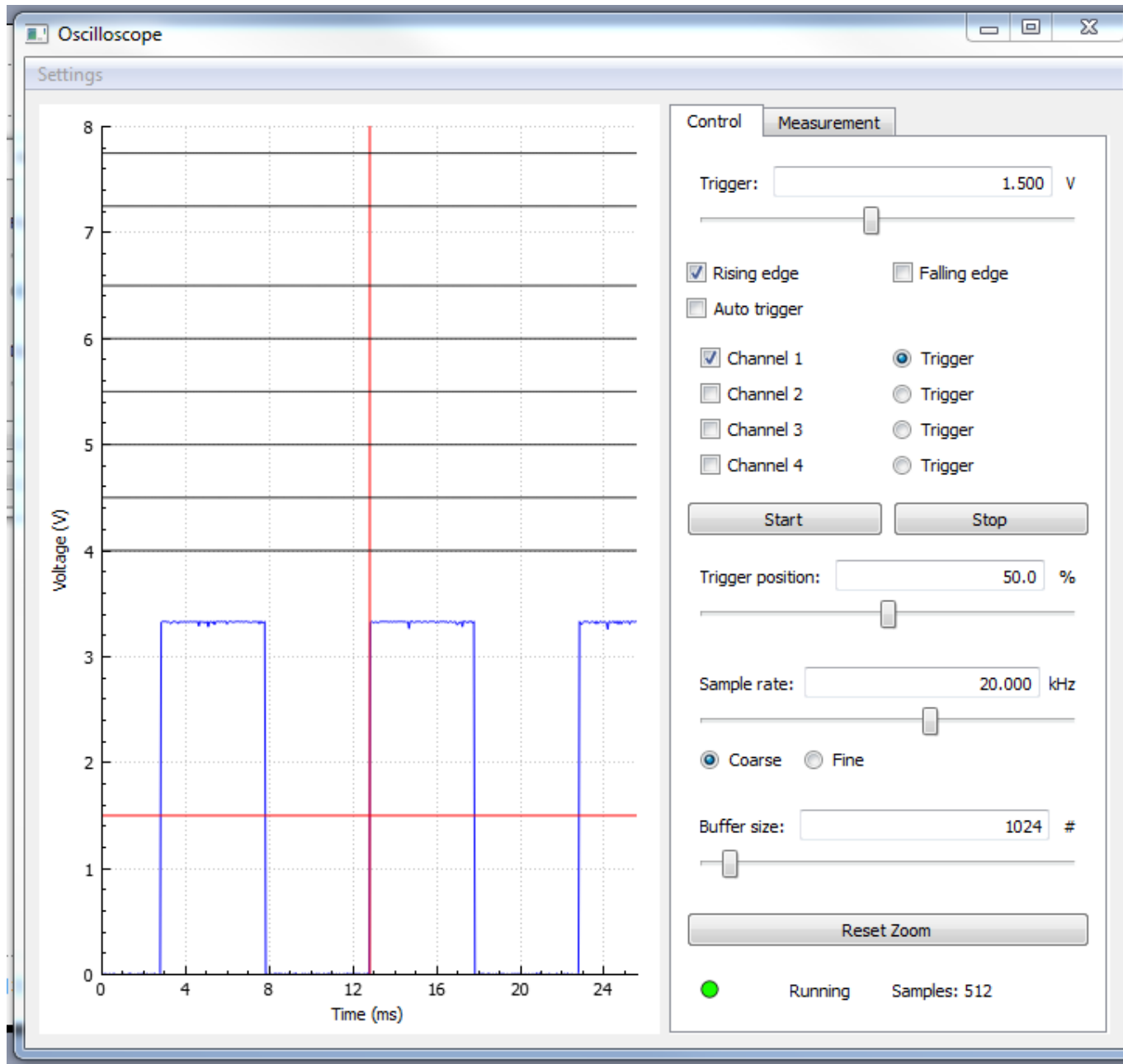
Voltmer – funkce záznamu „show recording“

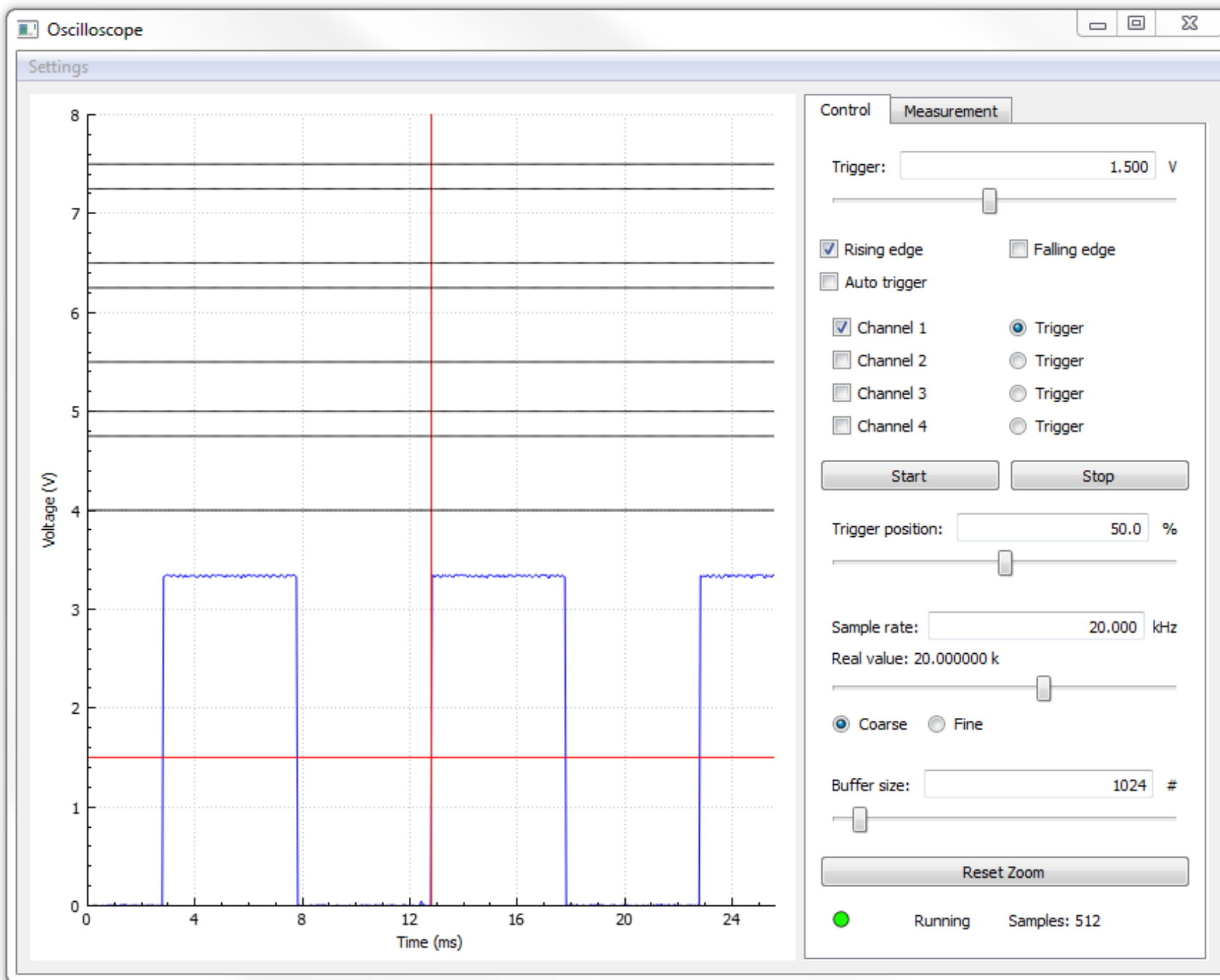
PWM generátor, 1 Hz, voltmetr, bez průměrování,
„*Number od samples*“ = 1

Zaznamenává **průběh napětí** změřeného voltmetrem (vzorkování 100 Hz),
kontinuální záznam (až 12 000 vzorků, pak plní nový buffer)



Funkce osciloskopu



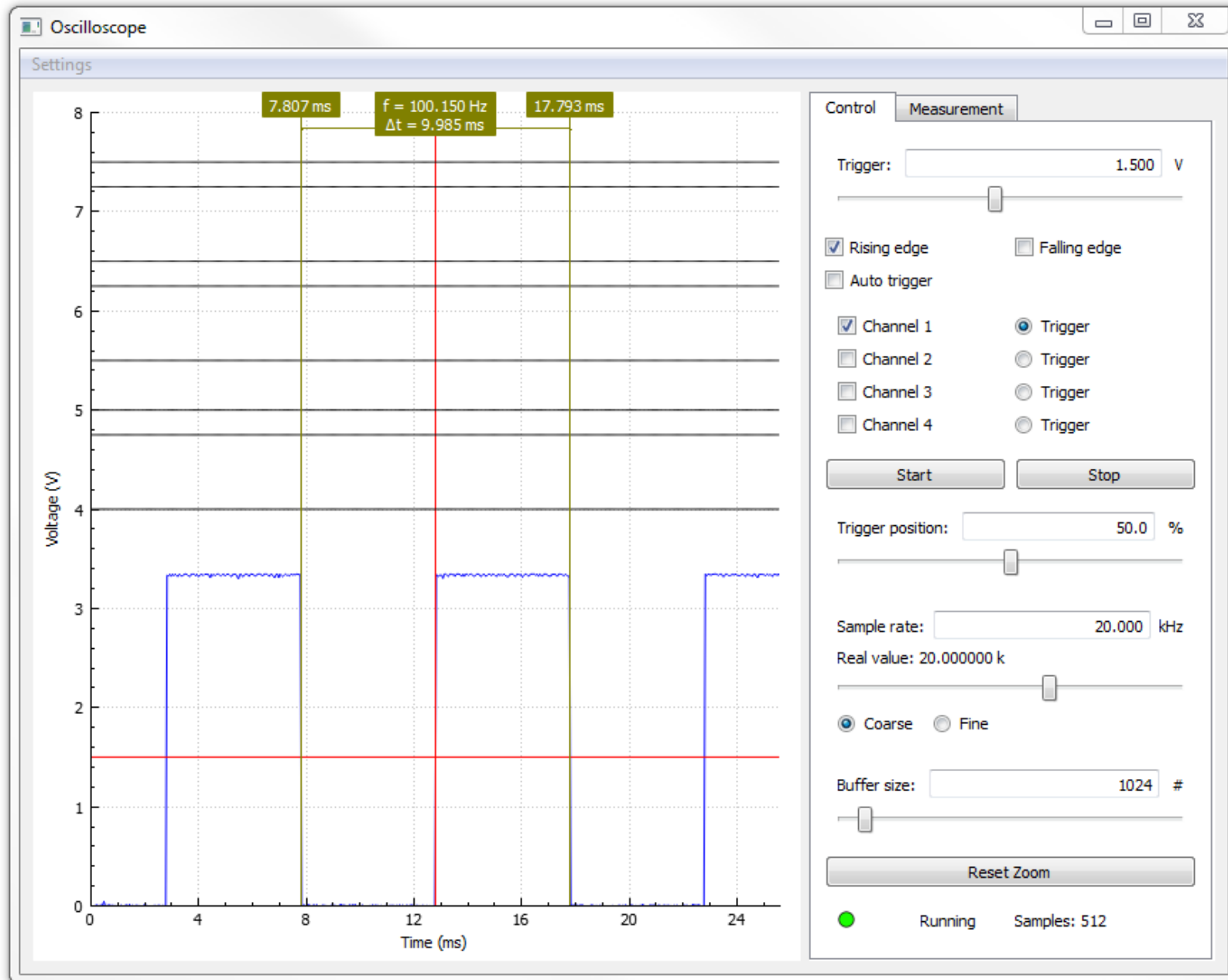


Úlohy – osciloskop a sestavení F0–Lab

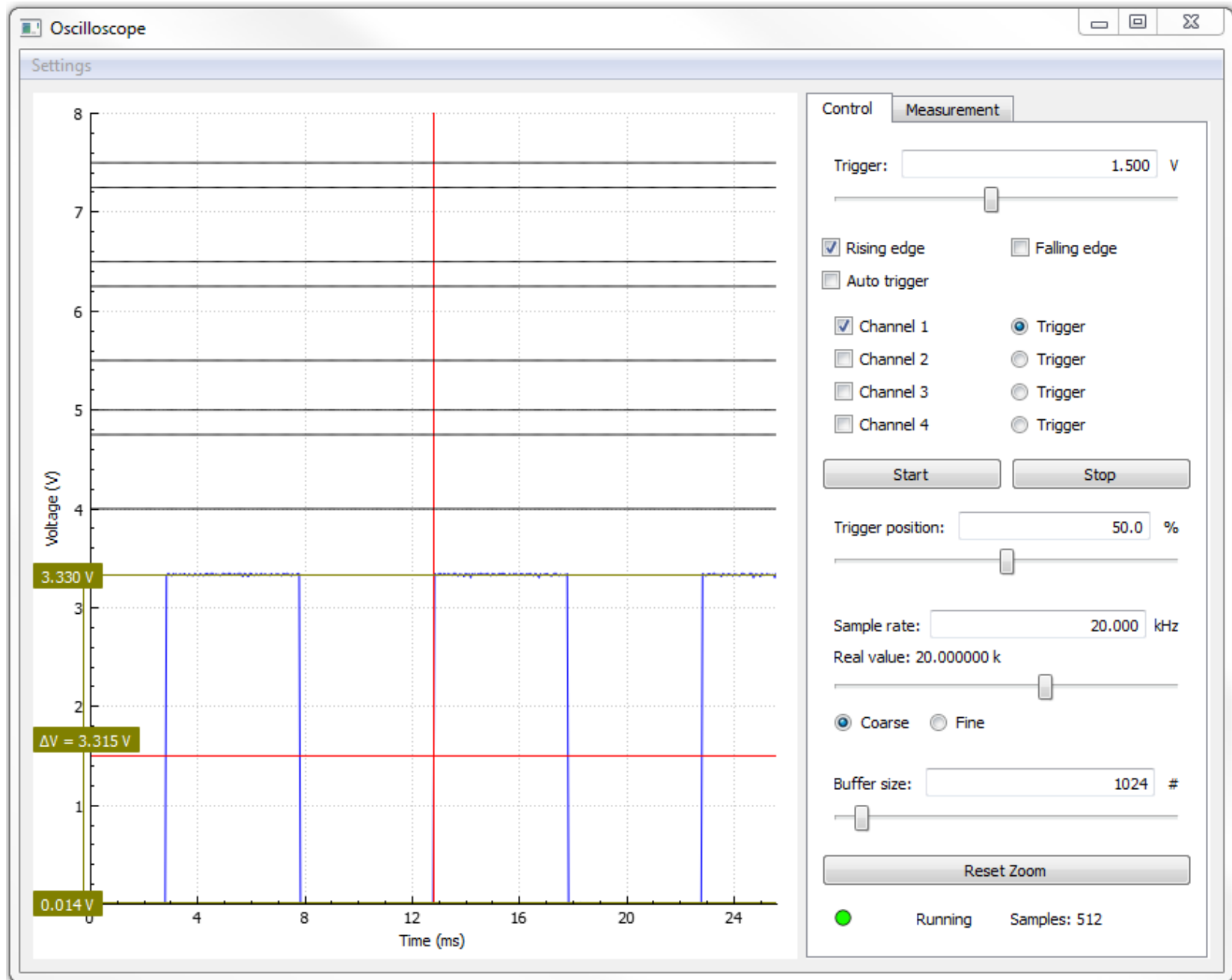
Úlohy D2 – část 1

- 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.**

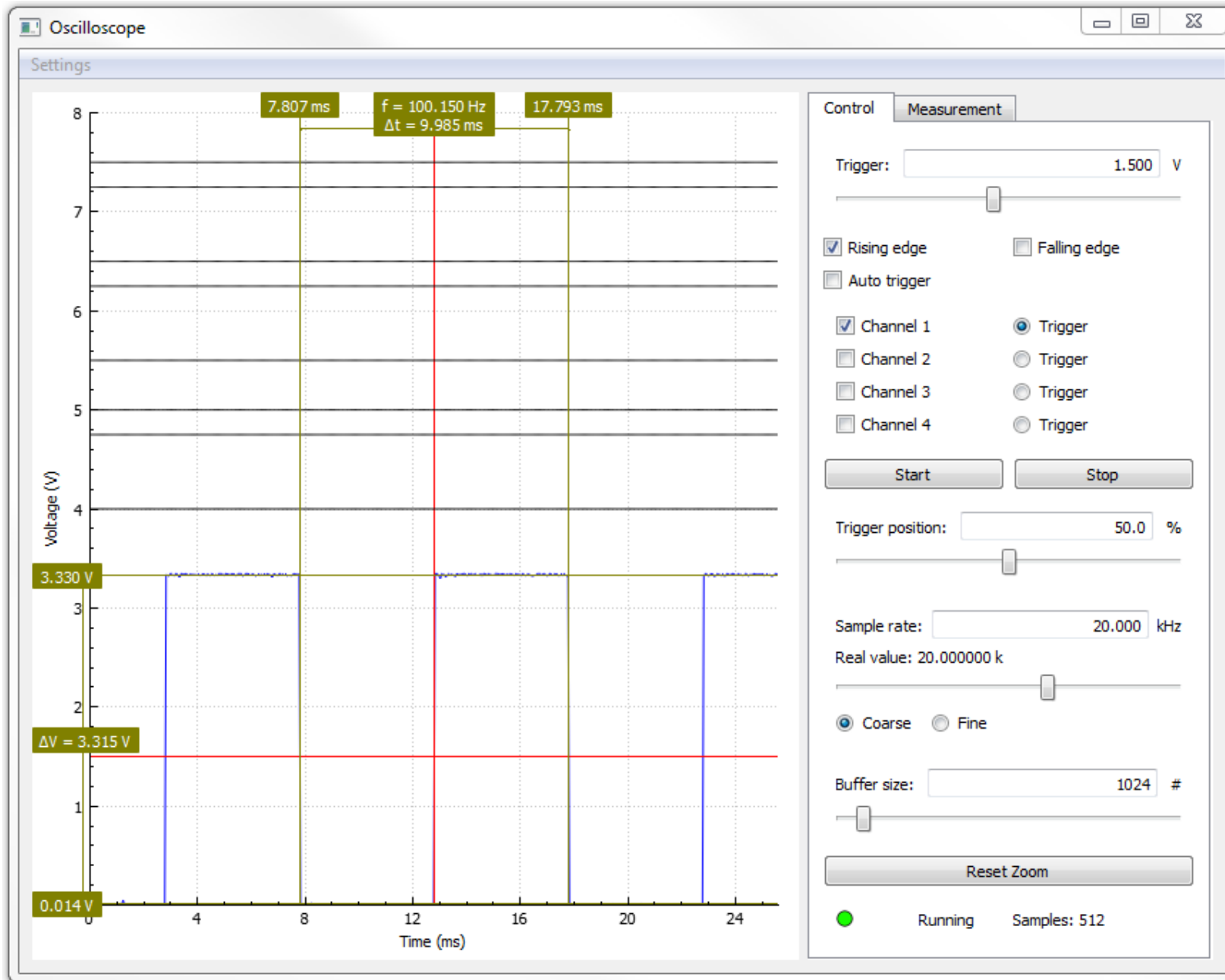
Kurzory X měření času, periody



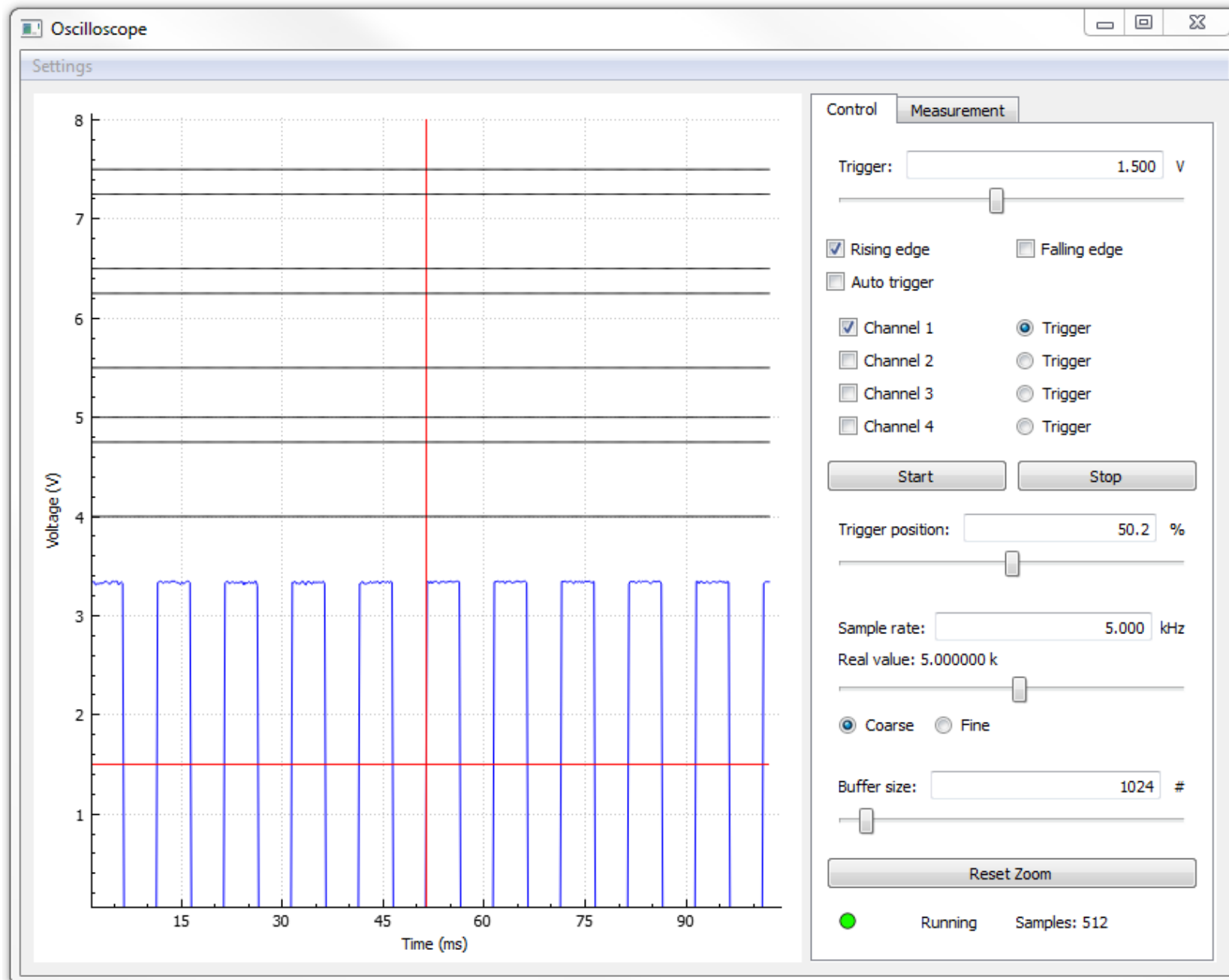
Kurzory Y, měření napětí



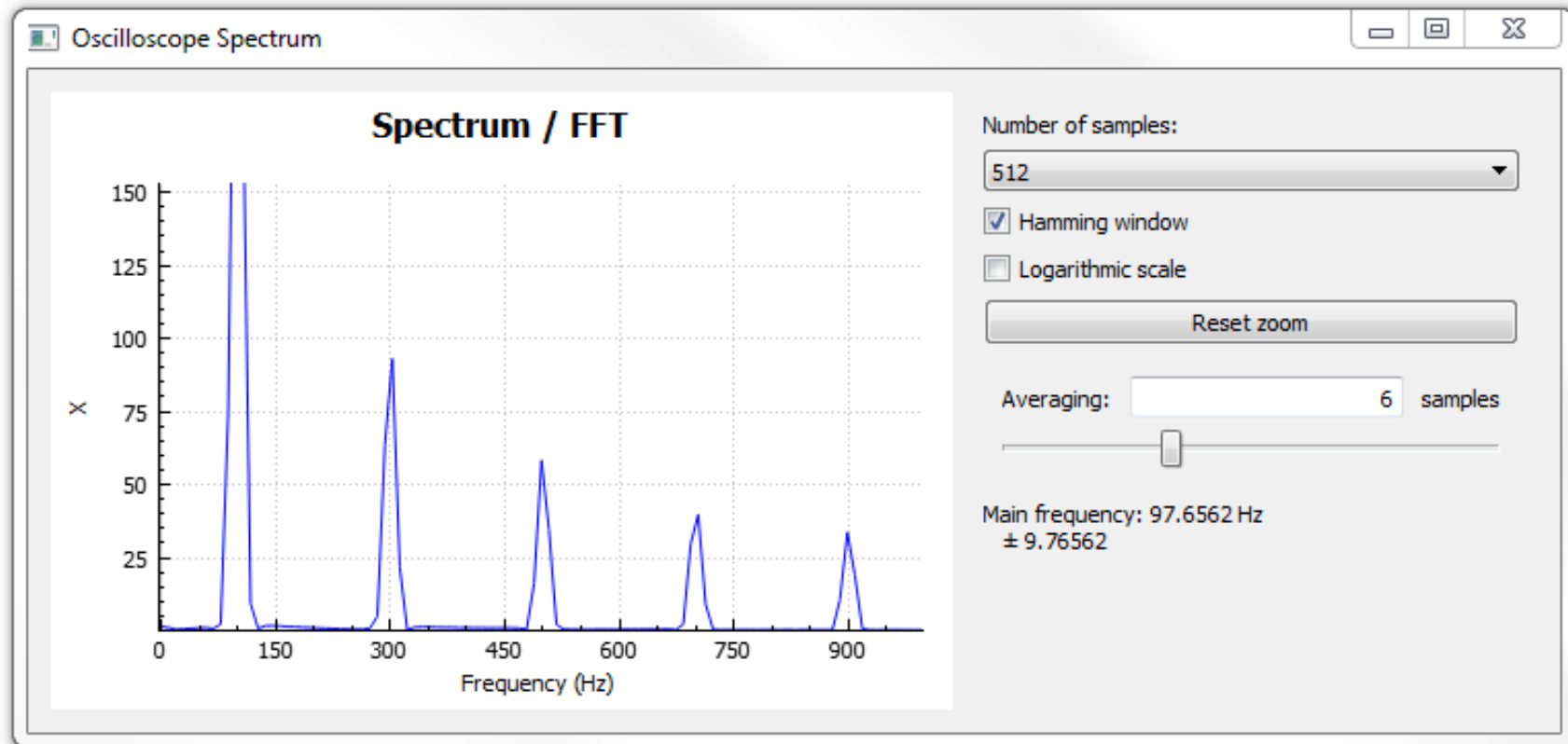
Kurzory X a Y současně



Impulsy 100 Hz



Spektrum obdélníkových impulsů 100 Hz

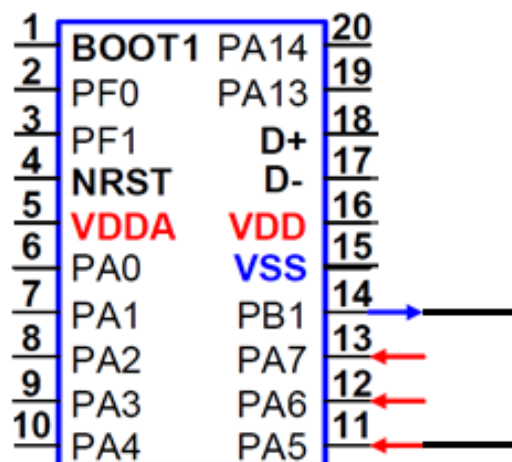


Úlohy – oživení funkce osciloskopu

Úlohy D2 – část 2

- Aktivovat funkci osciloskopu
- Zvolit frekvenci generátoru 100 Hz, spustit generátor
- Spustit osciloskop (propojení pin č. 11 na pin č. 14), 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 neblíkala?**
- 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.

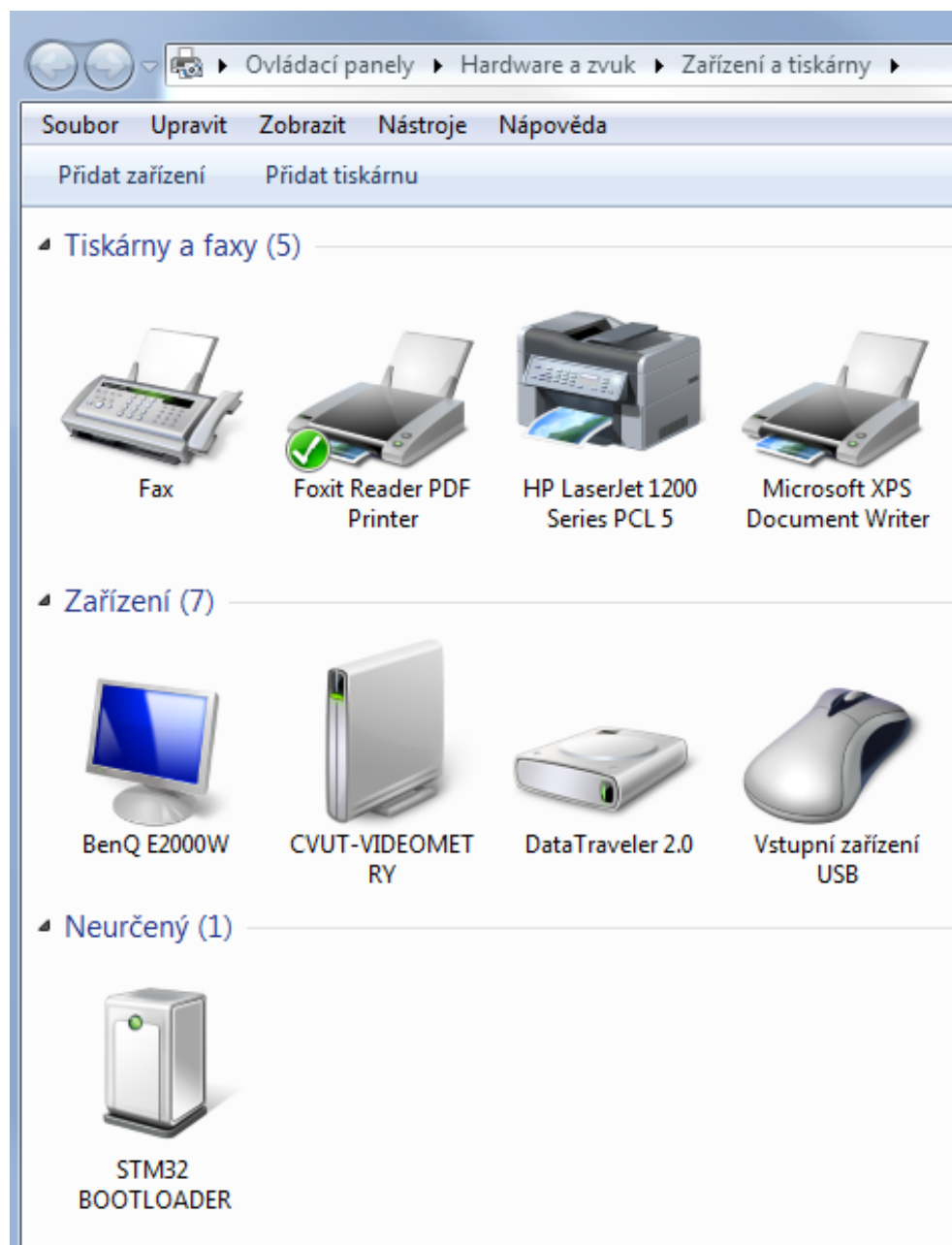
Instalace potřebného SW

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

Postup instalace potřebného SW

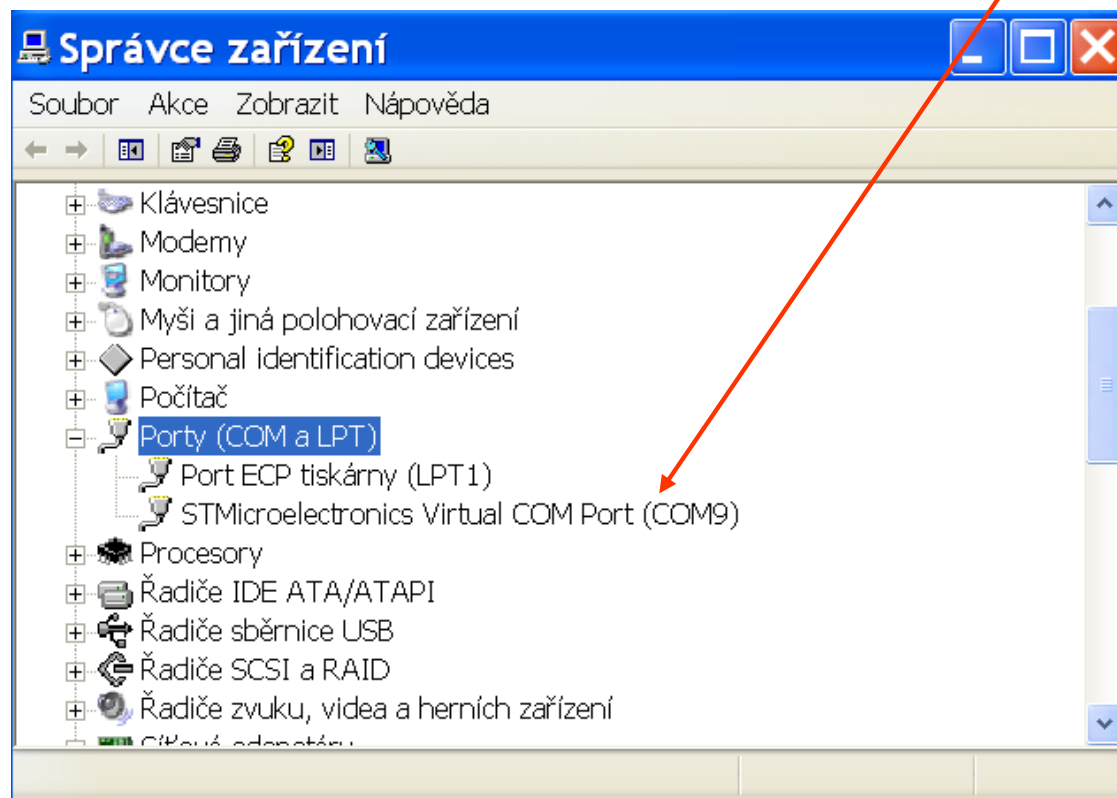
1. Zkopírovat složku *DFUSE* do vlastního počítače
2. Otevřít složku *DFUSE*
3. Nainstalovat aplikaci *DfuSe_Demo_V3.0.5_Setup*
4. Otevřít složku *VCP Driver*
5. Nainstalovat aplikaci *VCP_V1.3.1_Setup* podle typu systému (32bitový/64bitový operační systém)
6. Vyzkoušet připojení mikroprocesoru k počítači
7. Otevřít složku *F0_lab_2018*
8. Otevřít složku *application*
9. Spustit aplikaci *zero_elabviewer_v0.5*
10. Krátký stisk tlač. RESET
11. Navázat komunikaci

STM32F042 jako zařízení (v režimu BOOT)

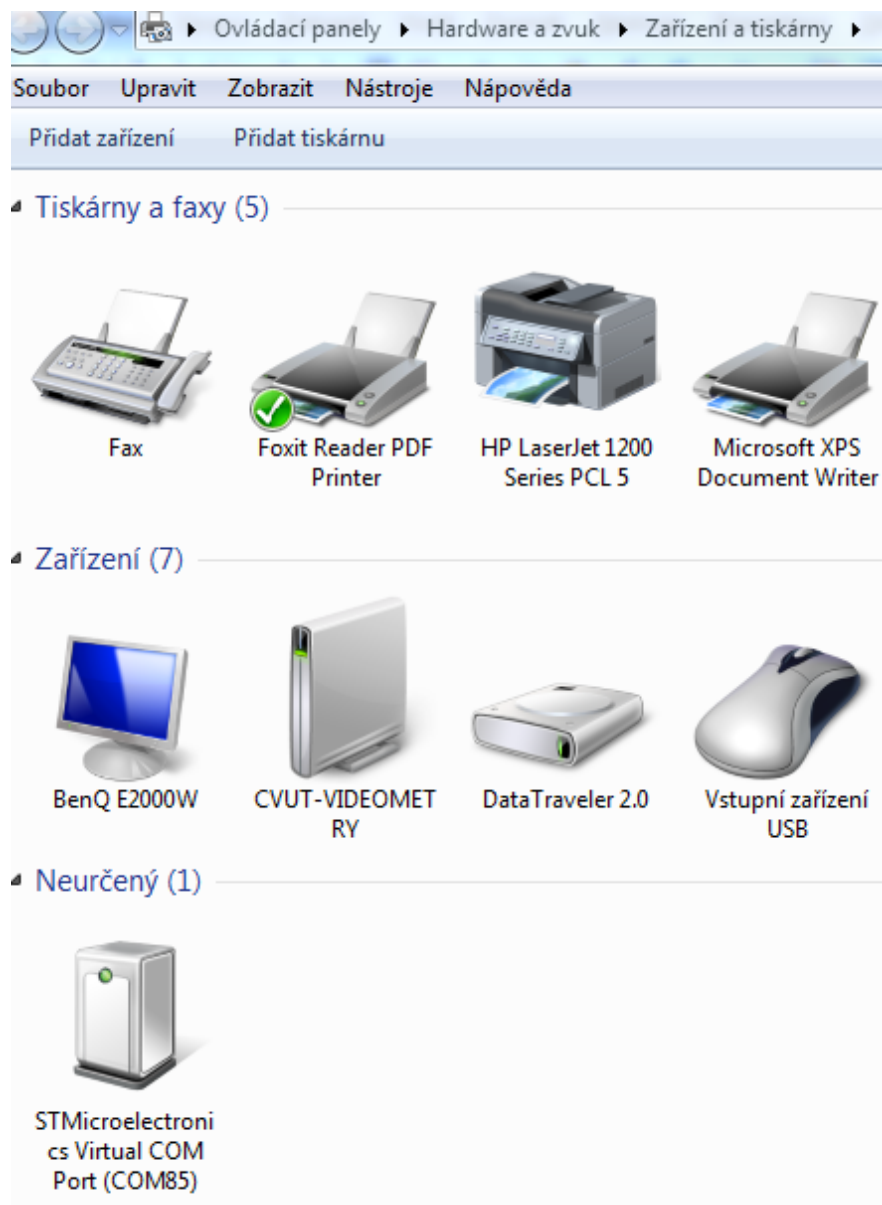


STM32F042 jako zařízení

Po spuštění firmware F0–Lab se v zařízeních objeví



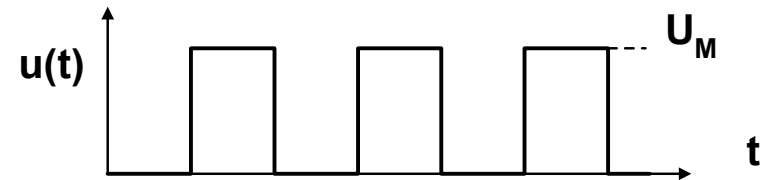
STM32F042 jako zařízení (v režimu běhu programu F0-Lab)



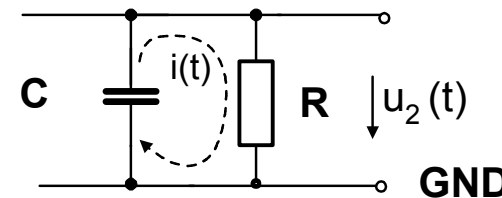
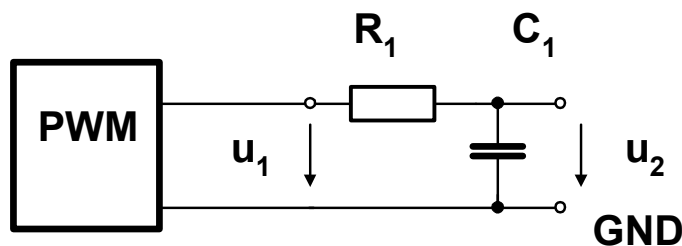
Konec části 1

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?

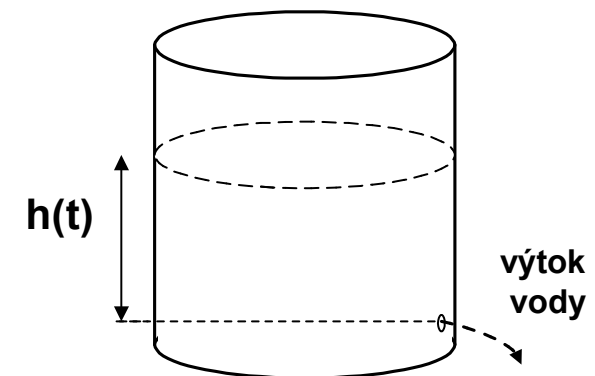
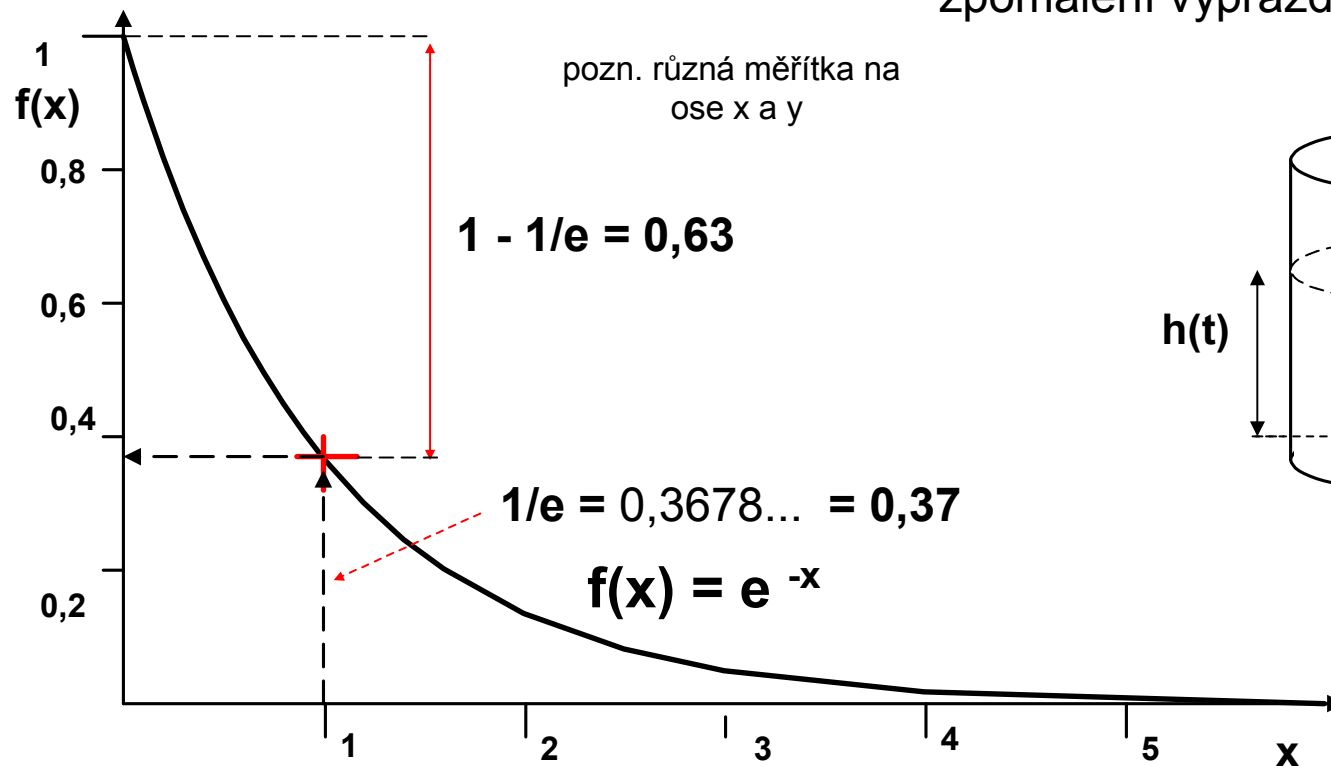
Přechodový děj, exponenciála

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

$e = 2,7182818$

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

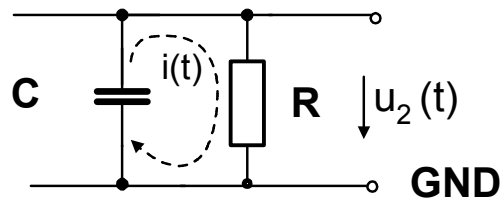
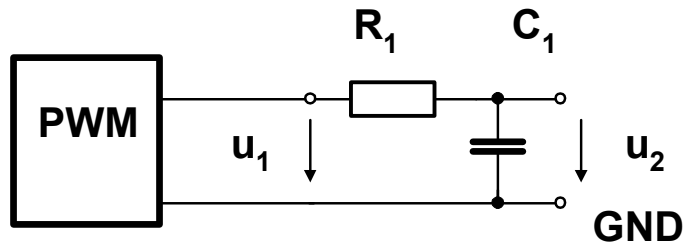
analogie: vytékání vody otvorem ze sudu, pokles výšky hladiny $h(t)$ v čase, snížení rychlosti výtoku, zpomalení vyprazdňování sudu



$$1/e = 0.3678794$$

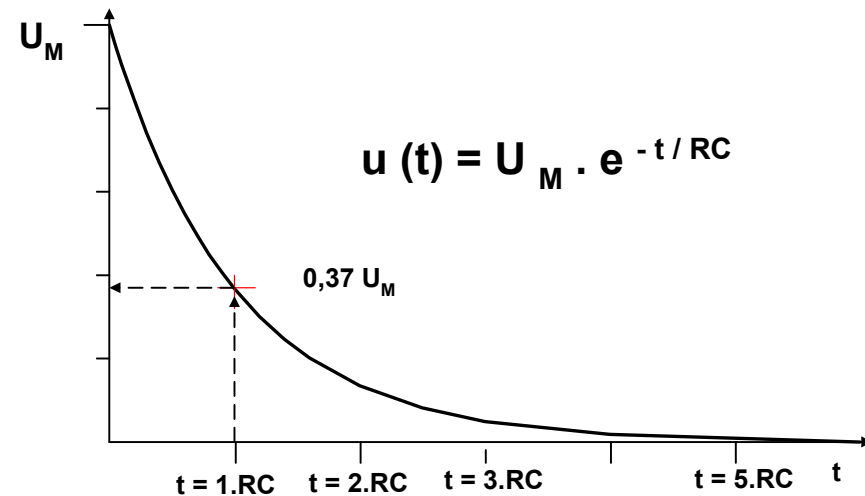
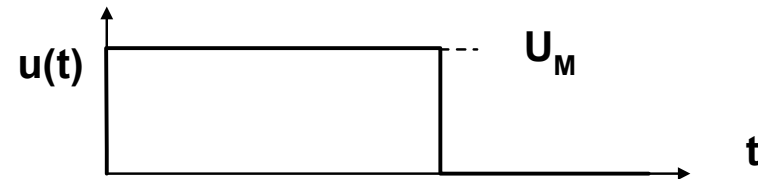
RC článek, odezva na skok

Vybíjení kondenzátoru přes R_1 (po jeho předchozím nabití)



exponenciální průběh – obecně

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

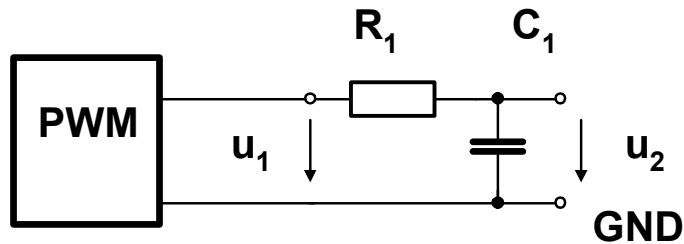


$$u_2(t) = U_M \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

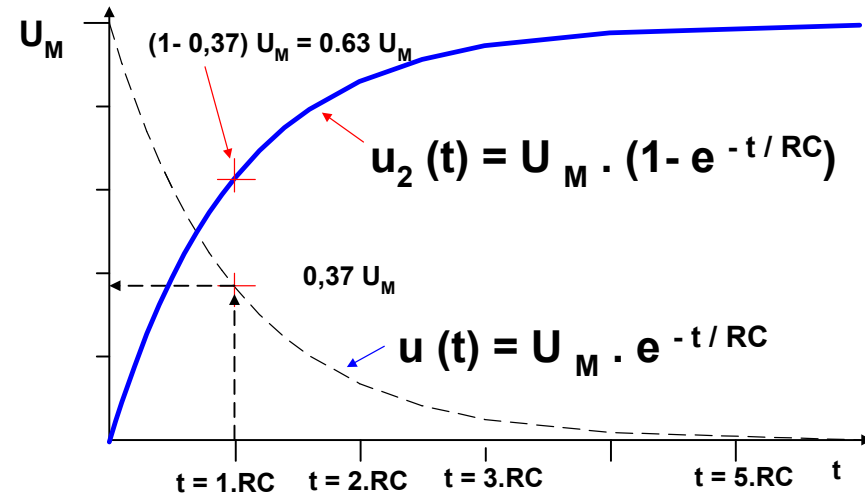
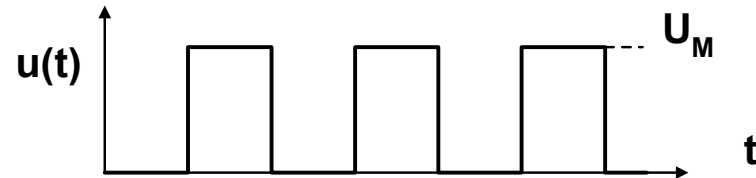
Vybíjení kondenzátoru nabitého původně na U_M .

RC článek, odezva na skok

Nabíjení kondenzátoru přes R_1



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

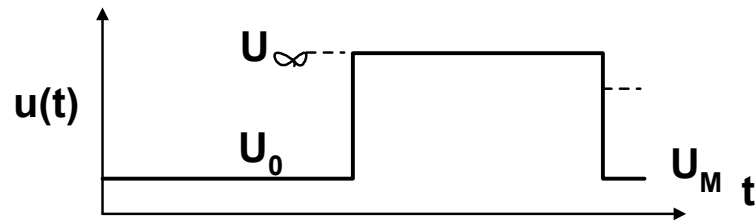


Lze popsat jako: velikost **skoku** napětí **x** průběh „**obrácené**“ exponenciály (1 - exp)

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

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**)

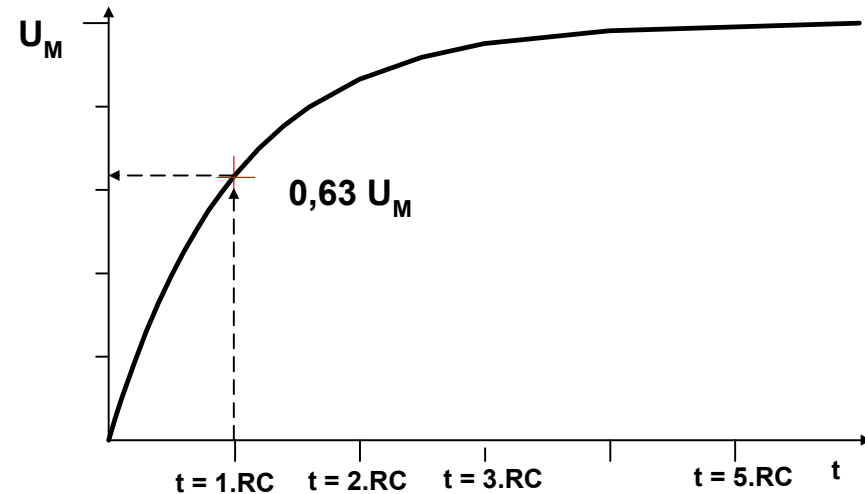
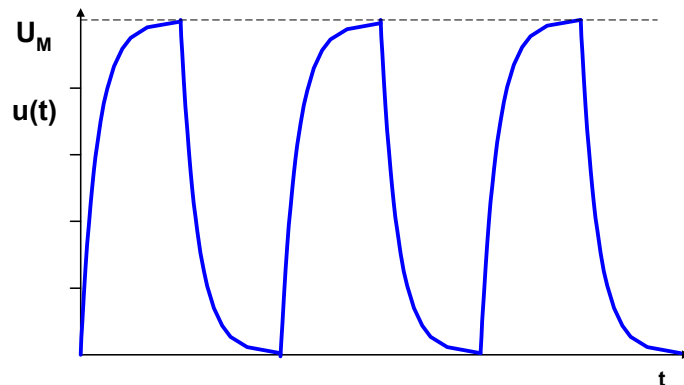
RC článek, odezva na skok – časová konstanta

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

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

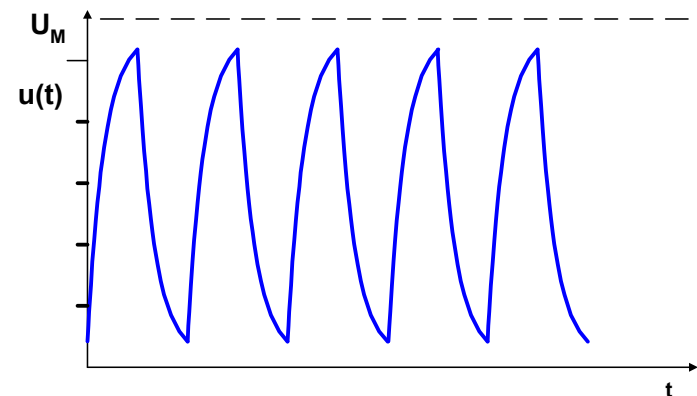
$T_+, T_- > \tau = RC$

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

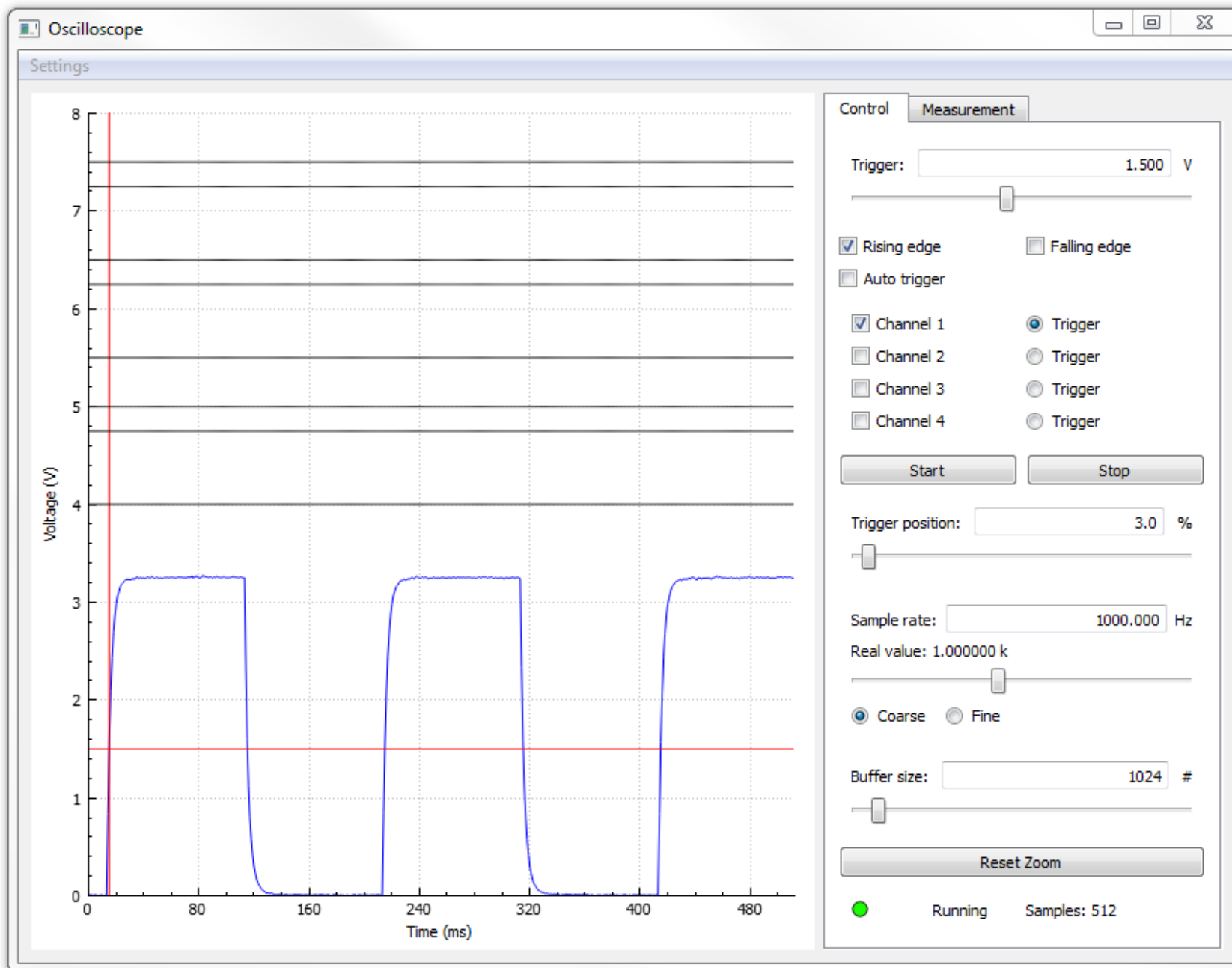


$T_+, T_- < \tau = RC$

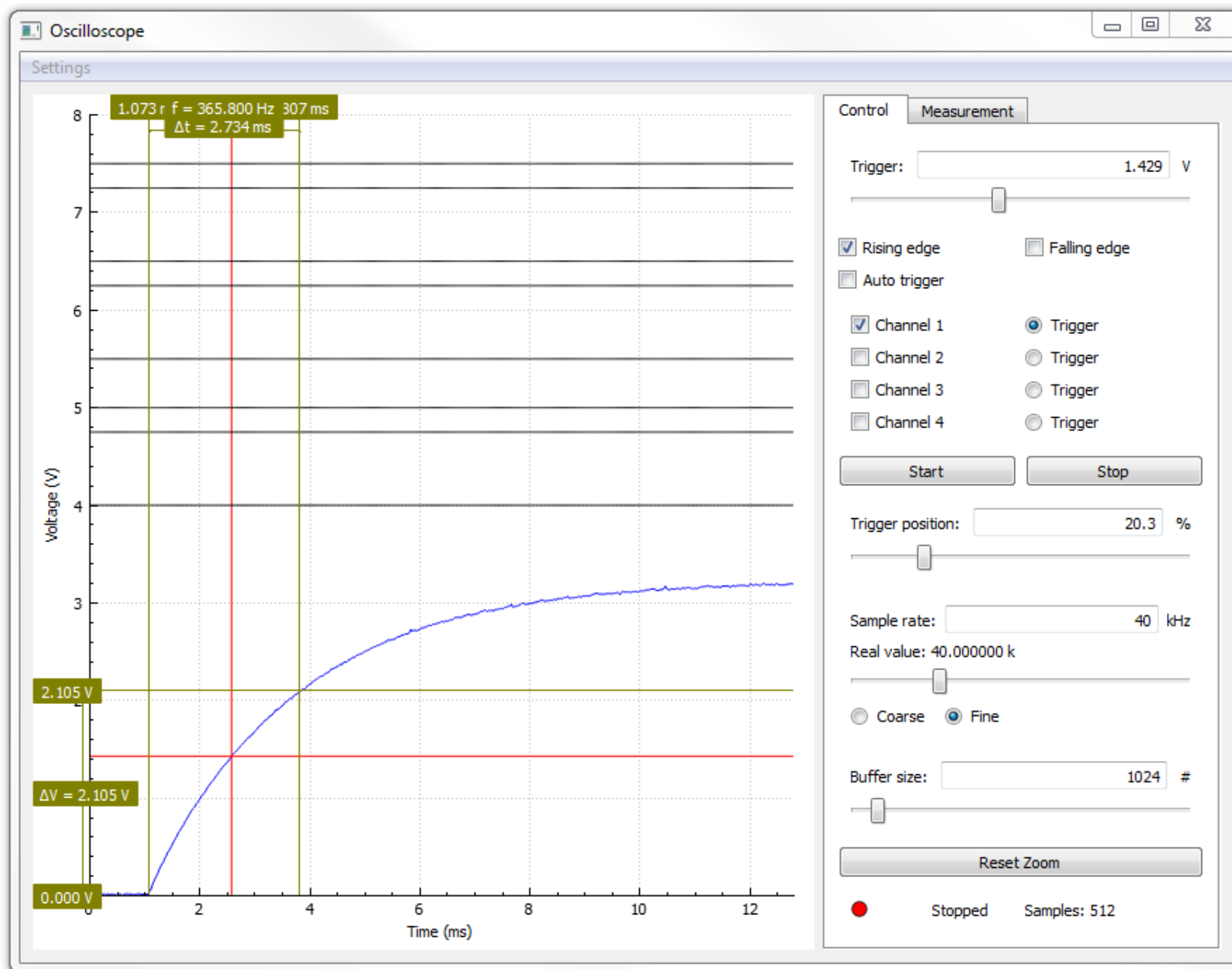
kondenzátor se **nestačí plně nabít a vybit**, **rozkmit signálu se snižuje**



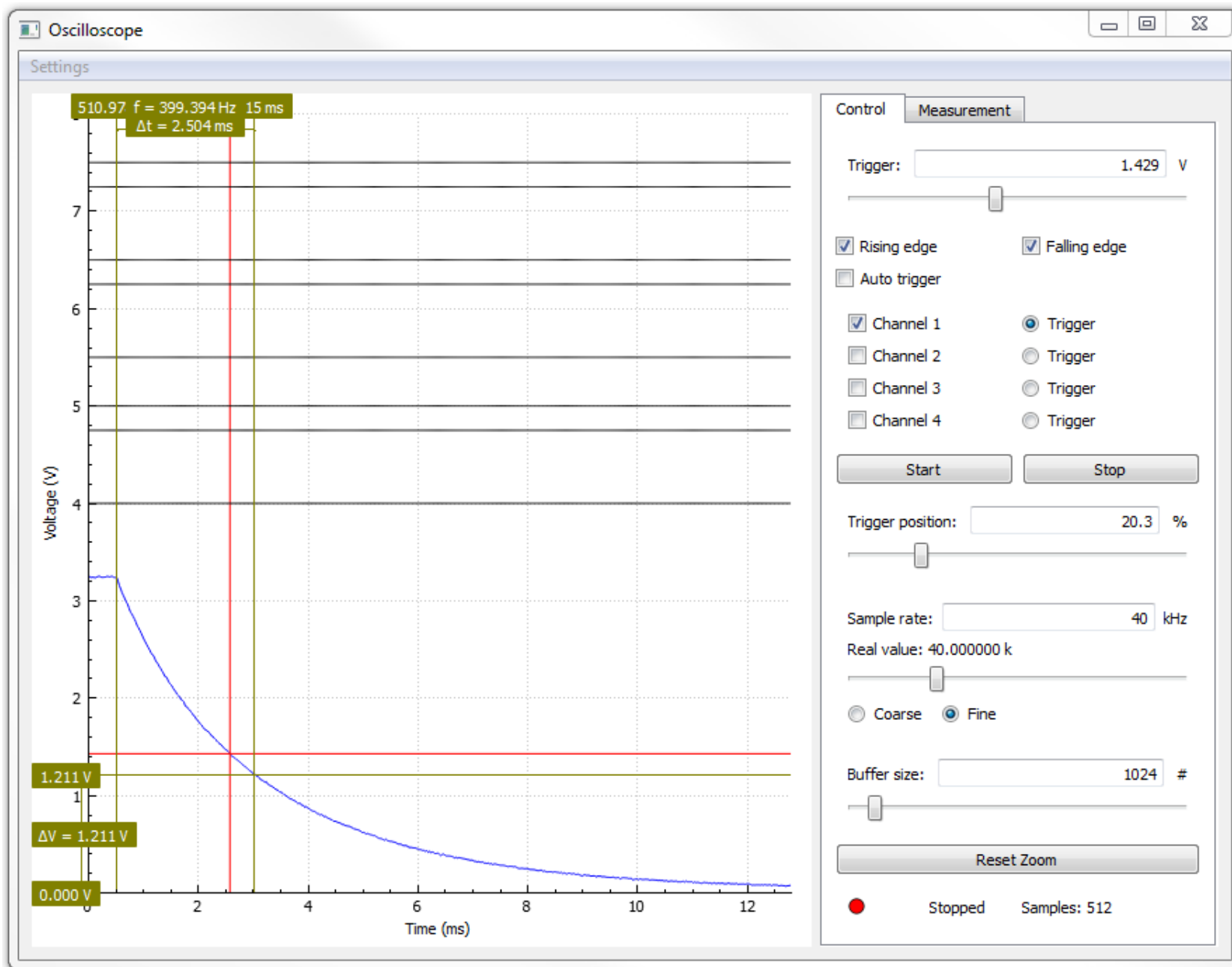
RC integrační článek 22 kΩ + 100 nF



RC integrační článek $22\text{ k}\Omega + 100\text{ nF}$, nabíjení



RC integrační článek 22 kΩ + 100 nF, vybíjení



Úlohy – experiment s RC článkem – v případě nedostatku času

Úlohy D2 – část 4

- Na výstup **PWM**, pin č.14 procesoru RC článek tvořený keramickým kondenzátorem o kapacitě **100 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 (příp. 51 k)** 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).

Nahrávání do FLASH STM32F042

▪
Do procesoru jsme již základní **firmaware** nahráli. Po zapnutí se projeví – **několikrát blikne PA_4, to je pon č. 10.**

V případě potřeby lze **nahrát znovu („flashovat“)** prostřednictvím **rozhraní USB** pomocí programu **DfuSe Demo**, případně pomocí **Cube Programmer**.

DfuSe Demo – starší, spolehlivý, ale vyžaduje soubor **xxx.dfu**,

IDE mbed produkuje soubor **XXX.BIN**

Nutno jej kovertovat do **XXX.dfu** pomocí „Dfu file manager“, je to krok navíc.

Cube programmer novější, pohodlnější, akceptuje přímo **soubor XXX.BIN**

Problém **instalace** na některých počítačích.

Nahrání firmware pomocí programu DfuSE Demo

