

# **ETC – Embedded Technology Club**

setkání 7, 3B 20.11. 2018

zahájení třetího ročníku

**Katedra měření, Katedra telekomunikací,,  
ČVUT- FEL, Praha**

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

# Náplň

## Dokončení z minulého klubu:

určení rychlosti pohybu prstu pomocí dvou optických závor a měření časového intervalu osciloskopem  
nastavení prahu – komparátor s tranzistorem a odporovým trimrem

## Nová náplň:

- **Pulsní šířková modulace PWM a její použití**  
- ti, kteří nerealizovali v úvodu , blikání LED pomocí PWM, určení nejvyšší rychlosti blikání, kterou je lidské oko schopno sledovat
- **PWM do LED, frekvence řádu několika set Hz, měnit střidu a vyhodnotit chování LED při změně střidy z hlediska pozorovatele**
- **Přechodový děj na článku RC, exponenciála**
- **Chování RC článku jako dolnoproustného filtru**
- **PWM signál ve zdroji nastavitelného stejnosměrného napětí,**

# Pulsní šířková modulace

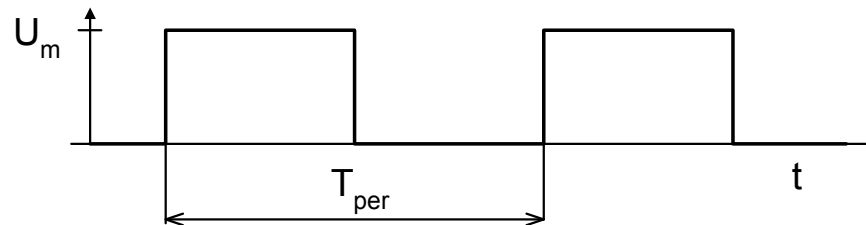
**Pulsní šířková modulace** *pulse width modulation = PWM*)

**Impulsní signál, obdélníkového průběhu, pouze dvě napěťové úrovně, obvykle „0“ a  $U_m$**

**Logický (číslicový) výstup z mikrořadiče – dva stavy**

**logický signál log „0“ (nízká napěť. úroveň, též „Low“ nebo „L“**  
(u mikrořadičů je obvykle pro „L“ napětí nulové  $U_{OUT\_L} = 0\text{ V}$ )

**logický signál log „1“ (vysoká napěť. úroveň, též „High“ nebo „H“)**  
(u mikrořad. je pro H napětí dané **napájecím. nap.  $U_{CC}$** )  $U_{OUT\_H} = 0\text{ V}$



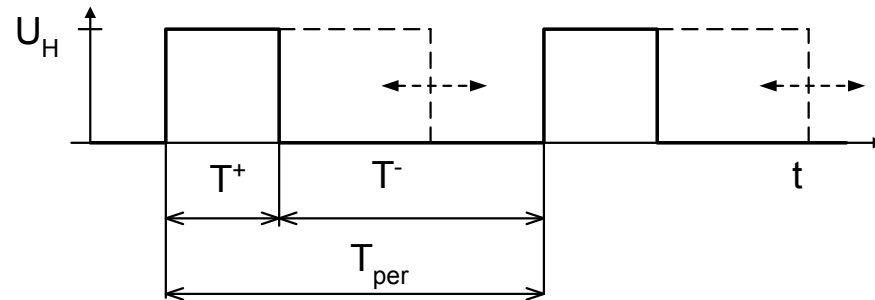
# Parametry signálu PWM

**PWM – parametry střída a perioda (frekvence)**

(*pulse width modulation = PWM*)

**střída – různé způsoby vyjádření poměru  $k_s = T^+ / T_{per}$ , 0,5 nebo pro názornost 50 % ( délka impulsu  $T^+$  vůči periodě)**

**PWM - změna střídny – změna šíře impulsu  $T^+$  „width“ při stálé periodě  $T_{per}$**



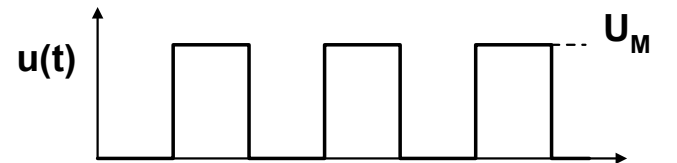
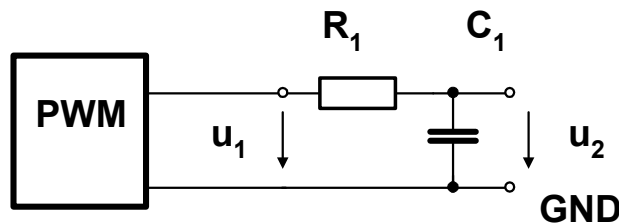
**střední hodnota signálu PWM změřená (pomalým stejnosměrným) voltmetrem)  $U_{střed} = k_s \times U_m$**

PWM - řízení jasu LED, proměnné podsvícení LCD v telefonu,...

## 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 ?



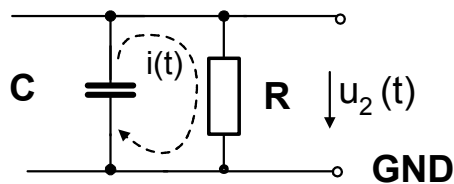
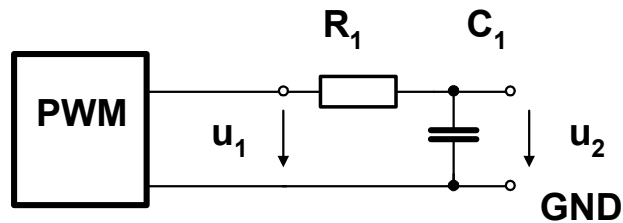
**Vnitřní odpor**  $R_V$  zdroje signálu **PWM**, **pod 50 Ohmů**, tedy pro naše další experimenty s rezistory od odporu několik kOhmů **je zanedbatelný**.

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

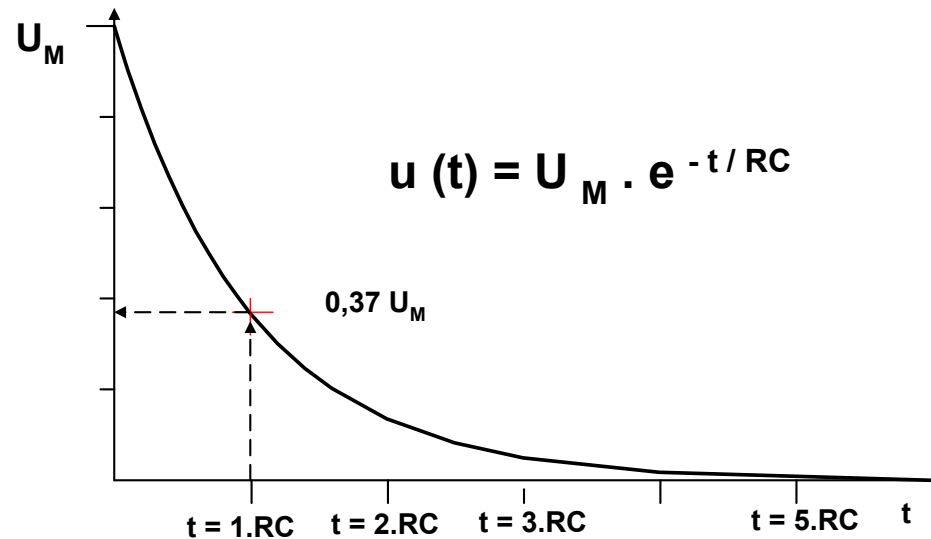
Otázka: co je to **zdroj napětí 0 V**, jaké je **jeho chování** z hlediska obvodu?

# RC článek, odezva na skok - vybíjení

Vybíjení kondenzátoru přes  $R_1$  (po jeho předchozím nabití)



vybíjení kondenzátoru



$$u(t) = u_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

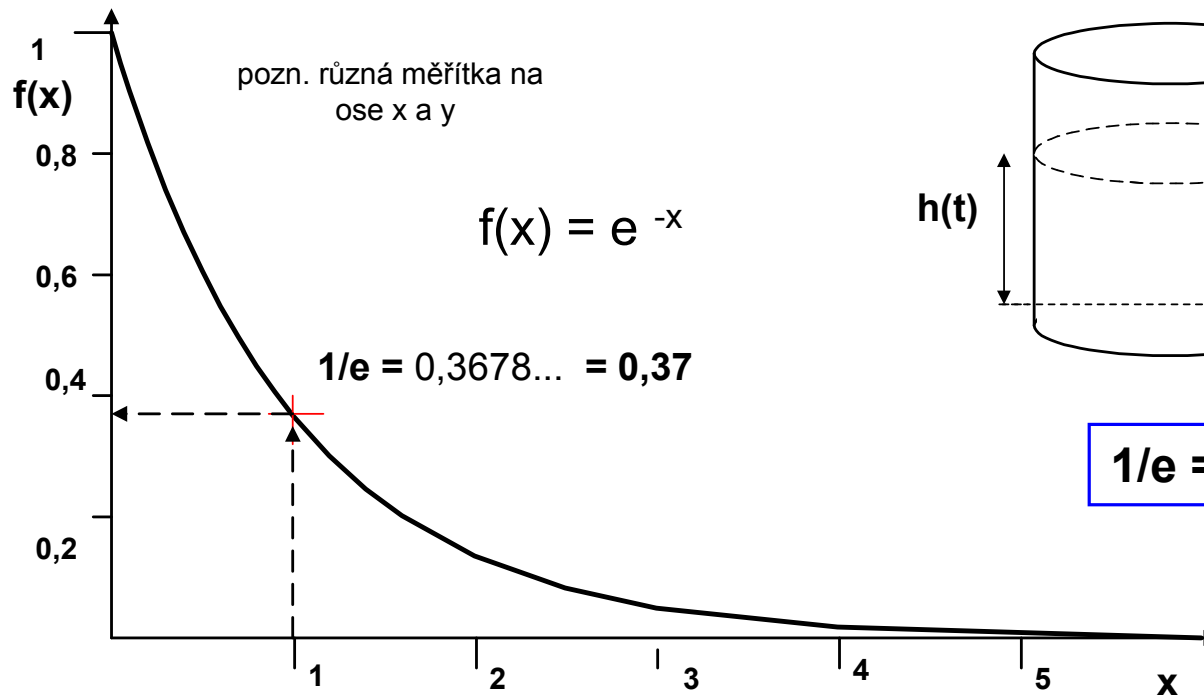
# Přechodový děj, exponenciála

Exponenciála, je řešením **diferenciální rovnice prvního řádu** popisující **vybíjení** RC článku (dif. rovnice zatím neznáme)

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

**e = 2,7182818**  
základ přirozených logaritmů

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



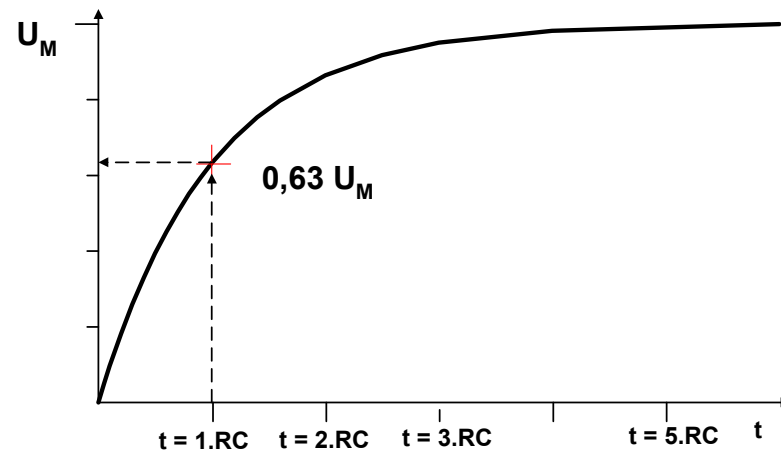
$$1/e = 0.3678794$$

# RC článek, odezva na skok- nabíjení

## Nabíjení kondenzátoru C přes R

Analogie – napouštění sudu ponořeného do vody dírkou v boku  
„exponenciála obráceně“

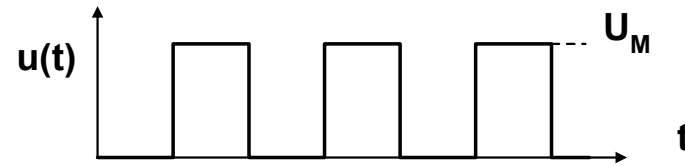
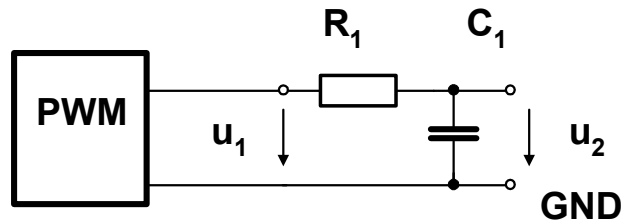
$$u(t) = U_M \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$





# RC článek, odezva na skok

Vybíjení kondenzátoru přes  $R_1$  (po jeho předchozím nabití)



Přechodový děj na článku RC, obecný popis

Počáteční a koncová hodnota – *analogie se sudem, dírka v sudu není úplně dole, ale někde uprostřed*

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

Obecně lze popsat jako:

počáteční napětí  $u_0$  + (velikost skoku napětí x průběh exponenciály)

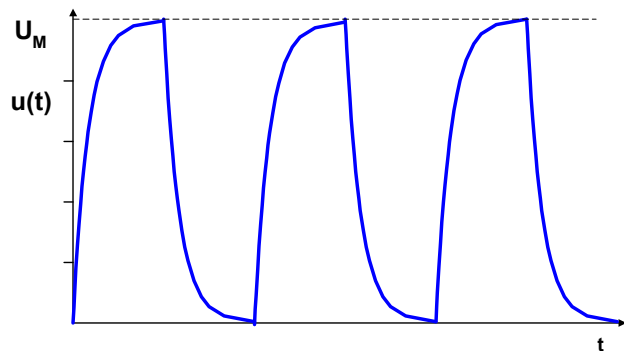
# RC článek, odezva na skok

## Periodické nabíjení a vybíjení kondenzátoru přes $R_1$

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

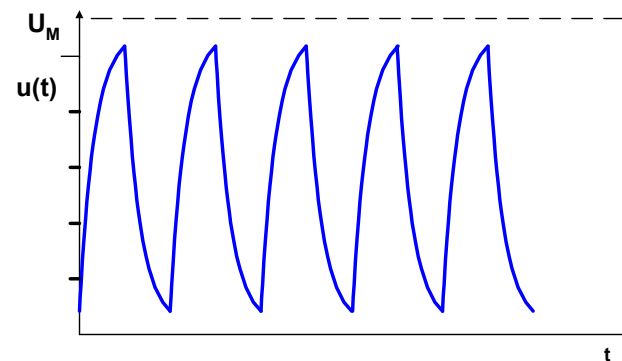
**$T_+, T_- > \tau = RC$**

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

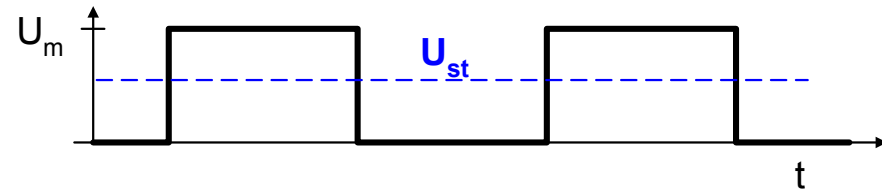


**$T_+, T_- < \tau = RC$**

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



# Generátor stejnosměrného napětí s PWM



## Signál PWM, filtrace-

Použít **vyšší frekvenci PWM**, s periodou podstatně kratší, než je časová konstanta, výstup nestačí sledovat vstup a ustálí se na střední hodnotě

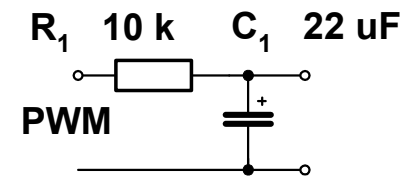
**střední hodnota napětí  $U_s$**

$U_s = U_H \cdot k_s = U_H \cdot (T_+ / T_{per})$  je závislá na střídě

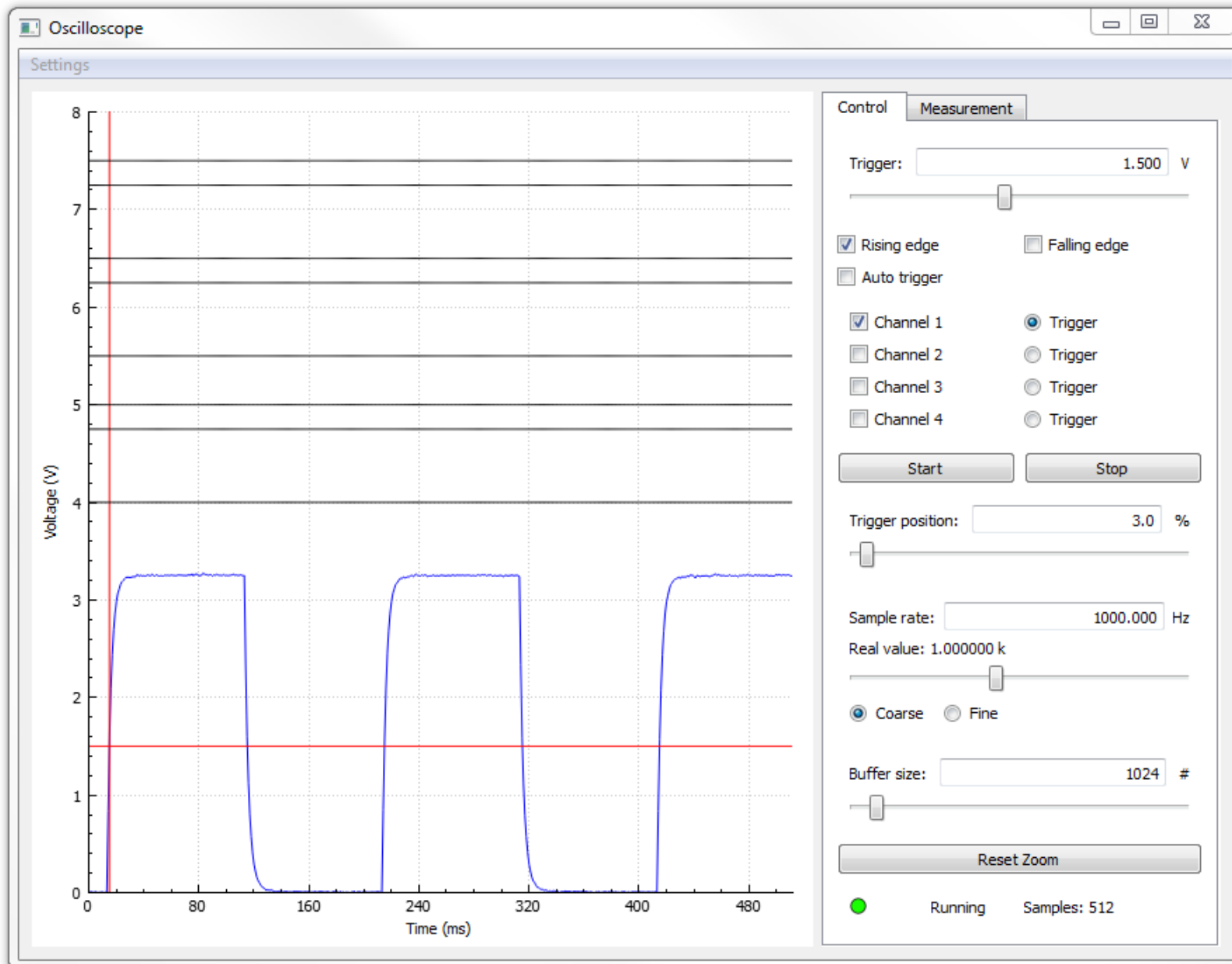
Ponechat jenom **stejnosemernou složku**,odfiltrovat střídavou složku **dolnoproustným filtrem** (zde s RC článkem)

**Pomocí PWM a filtru realizujeme zdroj nastavitelného stejnosměrného napětí**

**Problém-** zdroj napětí s takovým filtrem má velký **vnitřní odpor  $R_v = R_1$**

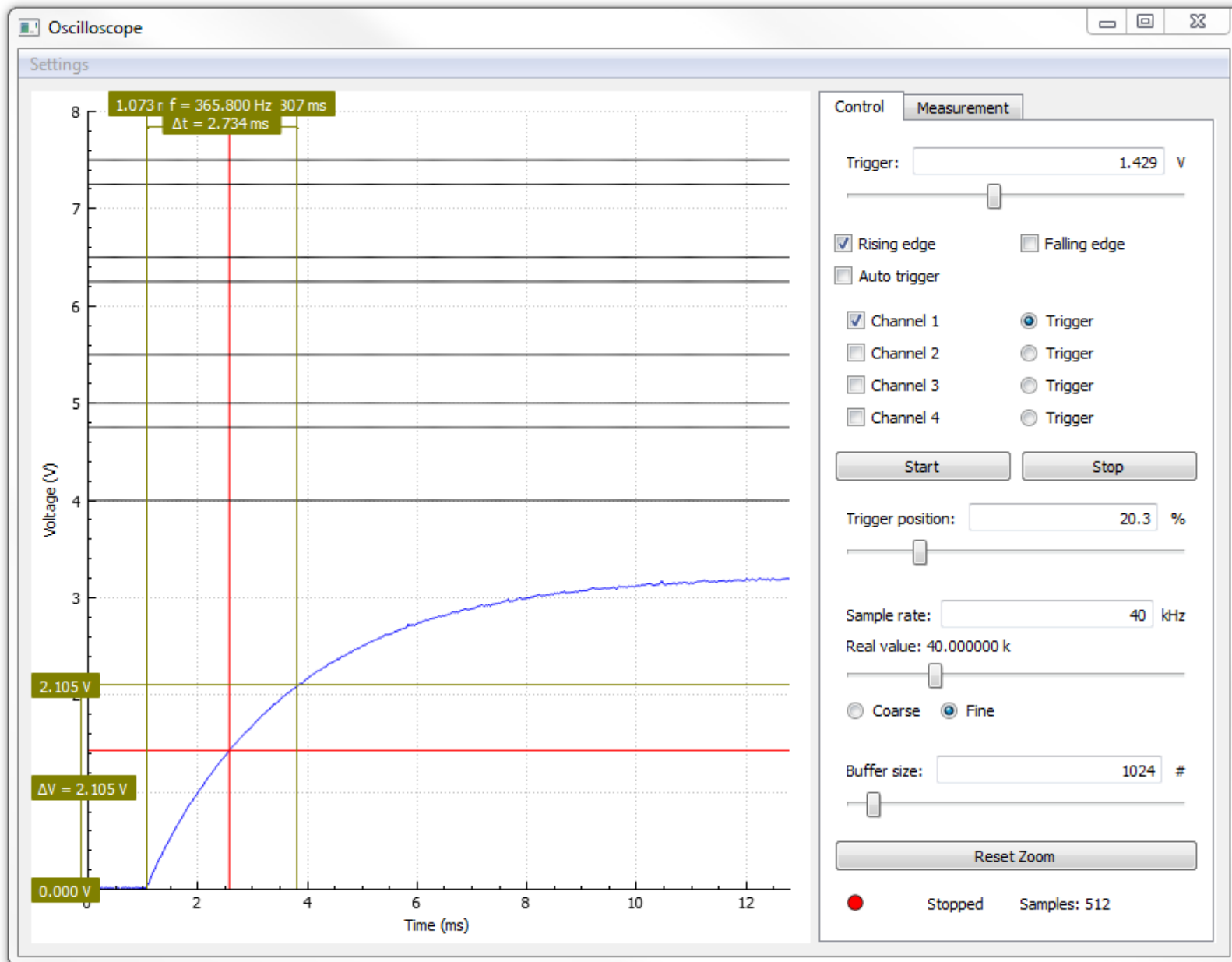


# RC integrační člunek 22 kΩ + 100 nF



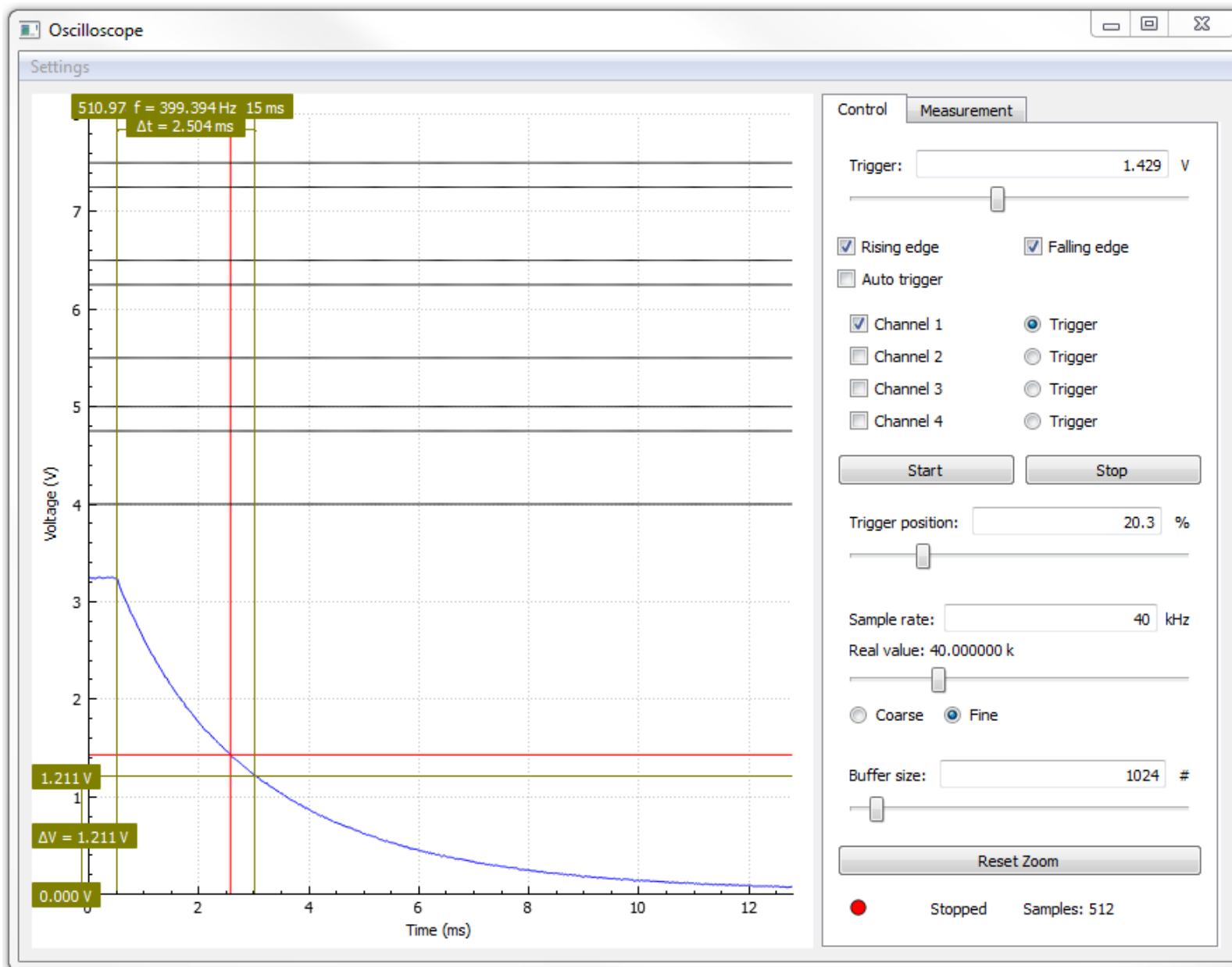
ETC člunek, ...

# RC integrační článek 22 k + 100 nF, nabíjení



ETC clus, 7, 0D 20.11.2010, 0V01, 1EE, 11A10

# RC integrační článek 22 k + 100 nF, vybíjení



ETC cl

## Experimenty:

**PWM, frekvence 1 Hz, střída 1:1 , RC článek s:**

- **elytrolytickým kondenzátorem 22 uF a rezistorem 10 k,**
- **trimrem 5 k s reistorem v sérii 470 Ohmů, měnit nastavení trimru**

**Pozorovat chování pomocí voltmetru se záznamem; osciloskopem RC článek 100 nF, 470 ohmů a trimr 5 k, stejný experiment, ale volit vhodnou frekvenci**

**RC článek 22 uF, + 10 k, frekvence střída 1:1, měnit frekvenci od 1Hz do 10 kHz, vyhodnotit chování**

**(zapojení PWM signál na kanál 2, trigger kanálem 2, výstup RC na kanál 1)**

**Při vhodně zvolené frekvenci, např. 5 kHz, měnit střidu PWM a pozorovat změnu ss napětí na výstupu.**

## Poznámka - Aliasing:

**Při pozorování signálu PWM pomocí voltmetru s funkcí „*show recording*“ je třeba si uvědomit, že voltmetr vzorkuje frekvencí 100 Hz. Tedy při nevhodně volené frekvenci nebo střídě PWM může docházet jevu označovanému jako „Aliasing“, což lze velmi zjednodušeně přirovnat ke stroboskopickému jevu.**

**Podobně při pozorování signálu PWM osciloskopem je v úloze třeba volit vzorkovací frekvenci osciloskopu alespoň 10 x větší, než je frekvence PWM**