



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno

Číslo a název projektu: CZ.1.07/1.5.00/34.0521 – Investice do vzdělání nesou  
nejvyšší úrok

Autor: Ing. Bohumír Jánoš

Tématická sada: Laboratorní cvičení z elektrotechnických měření

Téma: **Přechodné děje v obvodech RC a RL**  
Číslo materiálu: VY\_32\_INOVACE\_01\_08\_JABO



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Anotace:

Materiál je určen pro 3.ročníky SPŠEIT. Jedná se o výkladovou prezentaci k problematice měření přechodných dějů v obvodech RC a RL. Cílem cvičení je prohloubit si teoretické znalosti o přechodných dějích v jednoduchých sériových obvodech 1.řádu a ukázat možnosti měření přechodných dějů a jejich parametrů pomocí modulového výukového systému rc2000 -  $\mu$ LAB. Úloha je méně náročná na zapojování, ale náročnější na početní zpracování technické zprávy. Úloha je vhodná pro všechny studijní obory SPŠEIT s výukou předmětu Elektrotechnická měření.

# Přechodné děje v obvodech RC a RL

Ing. Bohumír Jánoš, SPŠEIT Brno

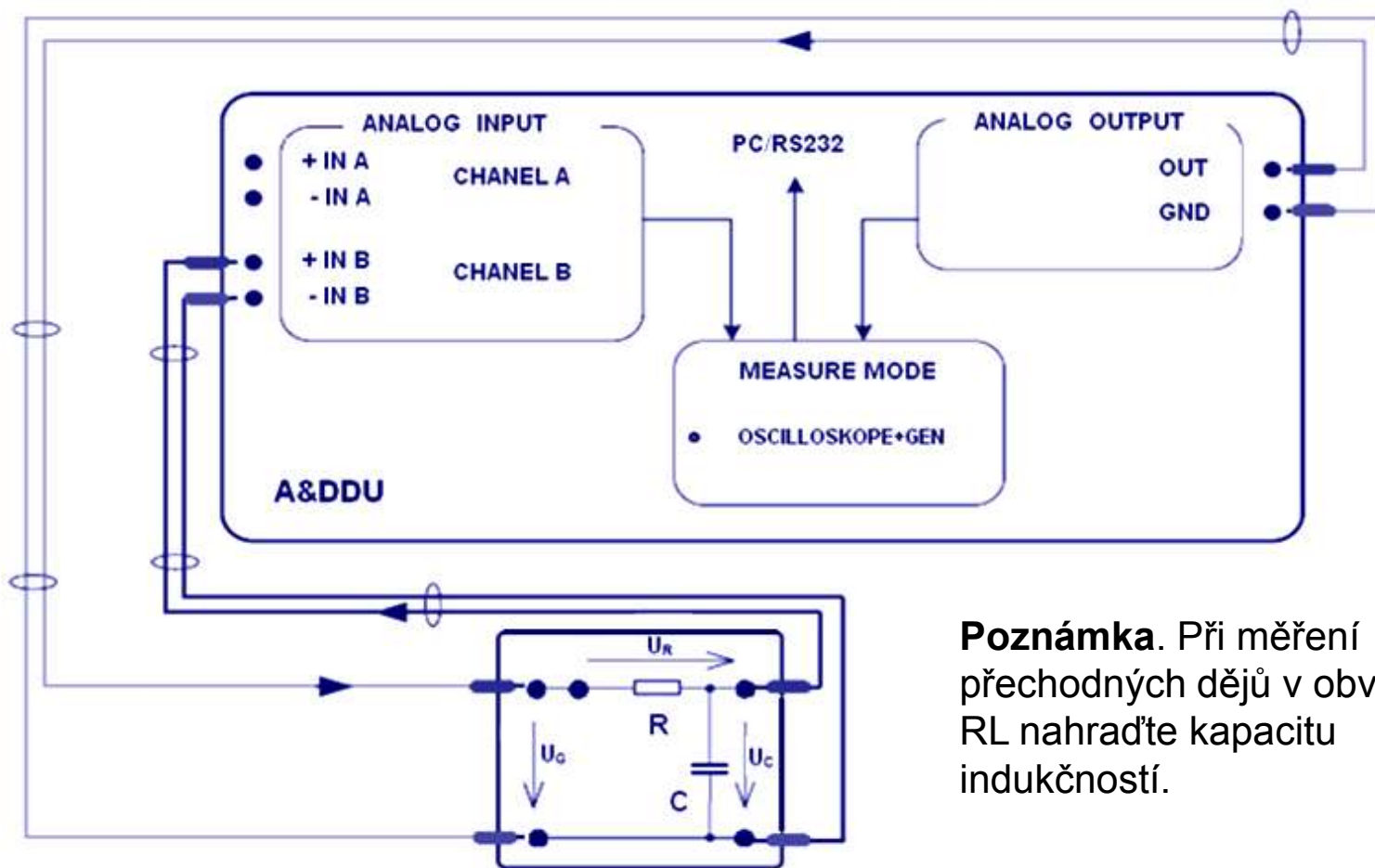
# 1 Zkoušený předmět

Obvody RC a RL sestavené z prvků modulového výukového systému rc 2000 -  $\mu$ LAB.

## 2 Zadání

- Určete amplitudu, offset, frekvenci a střihu obdélníkového signálu používaného pro studium přechodných dějů.
- Ověřte vlastnosti přechodného děje v RC obvodu pro obdélníkový signál. Změřte časové průběhy napětí na kondenzátoru a odporu. Určete časovou konstantu  $\tau$ , vypočítejte a zobrazte průběh napětí na kondenzátoru a odporu, porovnejte s naměřenými hodnotami.
- Ověřte vlastnosti přechodného děje v RL obvodu pro obdélníkový signál. Změřte časové průběhy napětí na cívce a odporu. Určete časovou konstantu  $\tau$ , vypočítejte a zobrazte průběh napětí na cívce a odporu, porovnejte s naměřenými hodnotami.

### 3 Schéma zapojení



**Poznámka.** Při měření přechodných dějů v obvodu RL nahradte kapacitu indukčností.

Obr.1 Zapojení pro měření přechodných dějů v obvodu RC

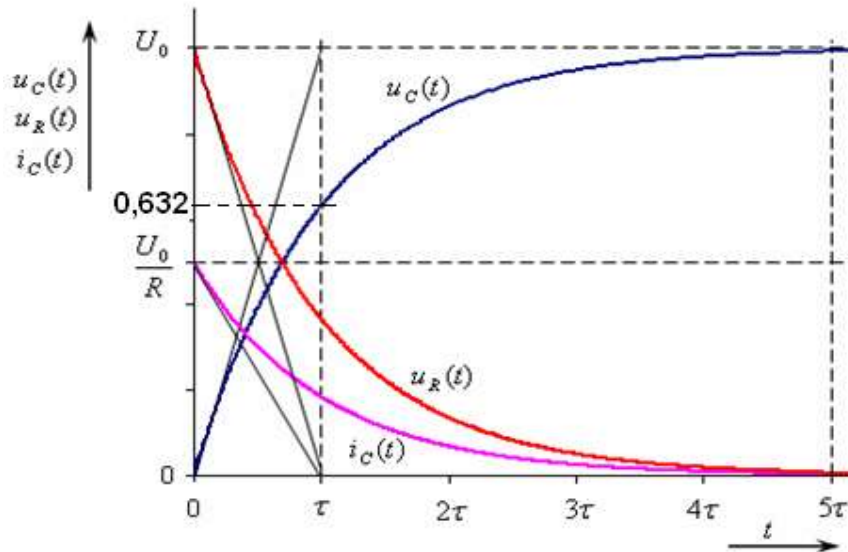
## 4 Teoretický rozbor úlohy

Přechodný děj probíhá v časovém intervalu mezi dvěma ustálenými stavy. V ustáleném stavu se energie soustavy nemění (popř. se mění periodicky), v přechodném stavu dochází ke změně energie soustavy. Přechodný děj vzniká většinou při náhlé změně napětí zdroje, a to hlavně při zapnutí nebo vypnutí obvodu od zdroje. Tento děj pak vzniká v obvodech, které obsahují prvky schopné hromadit (akumulovat) energii a potom ji odevzdat zpět do zdroje. Takovými prvky jsou cívka a kondenzátor

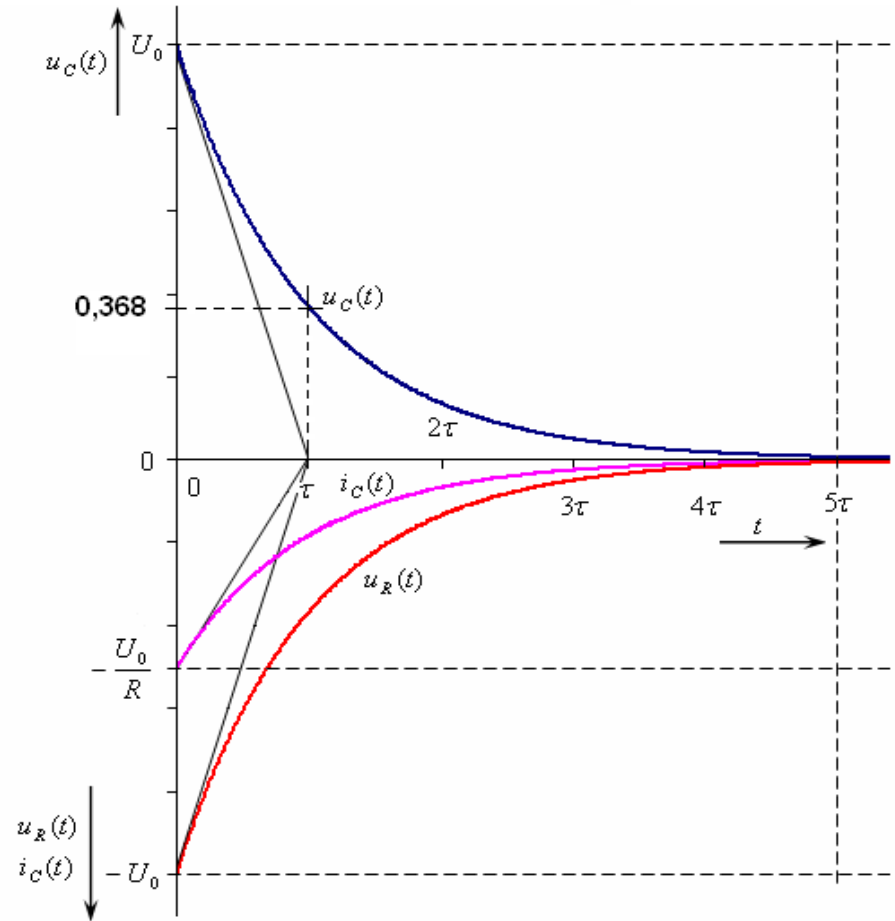
Názornou představu o fyzikálních poměrech při zkoumání přechodných dějů lze získat zobrazením časových průběhů napětí a proudu na osciloskopu. Měření budeme provádět pomocí modulového výukového systému rc2000 -  $\mu$ LAB, který slouží jako dvoukanálový osciloskop umožňující současné sledování vstupního a výstupního signálu. Buzení RC článku odpovídající připojování zdroje a zkratování obvodu je nahrazeno signálem periodického průběhu - obdélníkovým napětím z funkčního generátoru (obr.1). Obdélníkový signál zde plní funkci mechanického spínače.

Zkoumat budeme přechodný děj v sériovém obvodu RC. Časovou konstantu obvodu  $\tau$  můžeme zjistit graficky pomocí tečny k časovým průběhům napětí nebo proudu RC obvodu.

Příkladem může být určení časové konstanty z nabíjecí a vybíjecí křivky napětí na kondenzátoru (obr.2) v obvodu RC. Hodnotu  $\tau$  lze snadno odečíst jako dobu, za kterou napětí na kondenzátoru vzroste (resp. poklesne) na hodnotu 0,632 (resp. 0,368) násobku maximální hodnoty, což plyne ze vztahů (3) a (4) po dosazení  $t = \tau$ .



Obr.2 Grafické průběhy přechodových veličin v závislosti na čase v obvodu RC



Časová konstanta RC obvodu je dána vztahem:

$$\tau = R \cdot C \quad [\text{ms}] \quad (1)$$

Pro obvod RC platí rovnice:

$$u_R(t) + u_C(t) = u_G(t) = \begin{cases} U_0 & \text{pro nabíjení} \\ 0 & \text{pro vybíjení} \end{cases} \quad [\text{V}] \quad (2)$$

Analytickým řešením rovnice pro ideální obvodové prvky jsou vztahy:

a) Připojení zdroje k obvodu – nabíjení

$$u_R(t) = R \cdot i(t) = U_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}, \quad [\text{V}] \quad (3)$$

$$u_C(t) = U_0 \cdot \left( 1 - e^{\frac{-t}{\tau}} \right) \quad [\text{V}] \quad (4)$$

## b) Zkratování obvodu – vybíjení

$$u_R(t) = R \cdot i(t) = -U_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}, \quad [\text{V}] \quad (5)$$

$$u_C(t) = U_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \quad [\text{V}] \quad (6)$$

Při zkoumání přechodného děje v obvodu RL cívka spotřebuje elektrickou energii pro vytvoření magnetického pole (nastává přechodný děj). Při zániku magnetického pole se energie vrací do obvodu ve formě indukovaného napětí (nastává opět přechodný děj). Časová konstanta obvodu RL:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad [\text{ms}] \quad (7)$$

Pro odvození průběhů napětí na cívce a odporu v sériovém RL obvodu lze využít obdobné schéma zapojení uvedené na obr.1, pouze s tím rozdílem, že kondenzátor nahradíme cívkou.

Pro obvod RL v případě ideálních obvodových prvků platí rovnice:

$$u_R(t) + u_L(t) = u_G(t) = \begin{cases} U_0 & \text{vznik proudu} \\ 0 & \text{zánik proudu} \end{cases} \quad [\text{V}] \quad (8)$$

a) Připojení zdroje k obvodu – vznik proudu

$$u_L(t) = R \cdot i(t) = U_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}, \quad [\text{V}] \quad (9)$$

$$u_R(t) = U_0 \cdot \left( 1 - e^{\frac{-t}{\tau}} \right) \quad [\text{V}] \quad (10)$$

b) Zkratování obvodu – zánik proudu

$$u_L(t) = -U_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}, \quad [\text{V}] \quad (11)$$

$$u_R(t) = U_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \quad [\text{V}] \quad (12)$$

## 5 Postup měření

- Sestavte měřicí systém podle obr.1. Do obvodu připojte RC článek, vstup IN B jednotky A&DDU bude měřit napětí  $u_C$  na kondenzátoru C. Do tab.1 si zapište hodnoty součástek R a C.
- Spustíte program RC 2000 a z *Výběru programů* zvolte nabídku Oscilloscope + Gen. Na funkčním generátoru nastavte obdélníkový signál 5 V s kmitočtem 1 kHz takto: v sekci *Output* zvolte tlačítko Open, v dialogovém okně vyberte definiční soubor obdélníkového impulsu *1kHzPulse5V.aio*, resp. ho vytvořte. Rozsah zobrazení kanálu OUT i B ponechejte 5 V, rozsah časové osy 1,0 ms.
- Vyberte sekvenční měření Sequence. Stiskem virtuálního tlačítka B1 v sekci *Measurement* spustíte měření  $u_C(t)$  (žlutá křivka). Odpojte zdroj a zapojení upravte tak, aby vstup IN B měřil napětí  $u_R(t)$  na odporu R. Zdroj zapněte a stiskem virtuálního tlačítka B2 v sekci *Measurement* spustíte měření (modrá křivka).
- Zapněte kursor (tlačítkem Cursor) a s jeho pomocí nastavte na zobrazené žluté křivce průběhu  $u_C(t)$  časovou konstantu  $\tau$  ( $t=\tau$ ) podle výpočtu daného vztahem (1) pro nástupnou hranu (nabíjení C) i sestupnou hranu (vybíjení C). Odečtené hodnoty napětí  $u_C$  zapište do tab.1. Na modré křivce průběhu  $u_R(t)$  zjistěte a zapište do tabulky hodnoty napětí  $u_R$ . Totéž měření opakujte i pro  $t=2\tau$ .
- Popište sejmutou obrazovku v editaci popisů Legend: *Edit* . Editaci ukončete stiskem tlačítka *End*. Příkazem Print: *Save screen to file* uložte sejmutou obrazovku na svůj disk.
- Při měření přechodných dějů v obvodu RL postupujte obdobným způsobem.

## 6 Zpracování naměřených hodnot

Tab.1 Přechodný děj v sériovém obvodu RC

$v =$  °C

	Měřeno				Vypočteno				Odchylka				
	$\tau$	$t=\tau$		$t=2\tau$		$t=\tau$		$t=2\tau$		$t=\tau$		$t=2\tau$	
		$u_{cm}$	$u_{rm}$	$u_{cm}$	$u_{rm}$	$u_{cm}$	$u_{rm}$	$u_{cm}$	$u_{rm}$	$\delta_{uc}$	$\delta_{ur}$	$\delta_{uc}$	$\delta_{ur}$
	ms	V	V	V	V	V	V	V	V	V	%	%	%
Nabíjení	0,1					3,16	1,84						
Vybíjení	0,1					1,84	-1,84						
Poznámka: $R = 10 \text{ k}\Omega$ , $C = 10 \text{ nF}$ , $U_g = 5 \text{ V}$													

Tab.2 Přejchodný děj v sériovém obvodu RL

$v =$  °C

	Měřeno				Vypočteno				Odchylka				
	$\tau$	$t=\tau$		$t=2\tau$		$t=\tau$		$t=2\tau$		$t=\tau$		$t=2\tau$	
		$u_{lm}$	$u_{rm}$	$u_{lm}$	$u_{rm}$	$u_{lm}$	$u_{rm}$	$u_{lm}$	$u_{rm}$	$\delta_{ul}$	$\delta_{ur}$	$\delta_{ul}$	$\delta_{ur}$
	ms	V	V	V	V	V	V	V	V	%	%	%	%
Připojení													
Zkratování													
Poznámka: $R = 2 \text{ k}\Omega$ , $L = 1 \text{ H}$ , $U_g = 5 \text{ V}$													

## 7 Příklad výpočtu

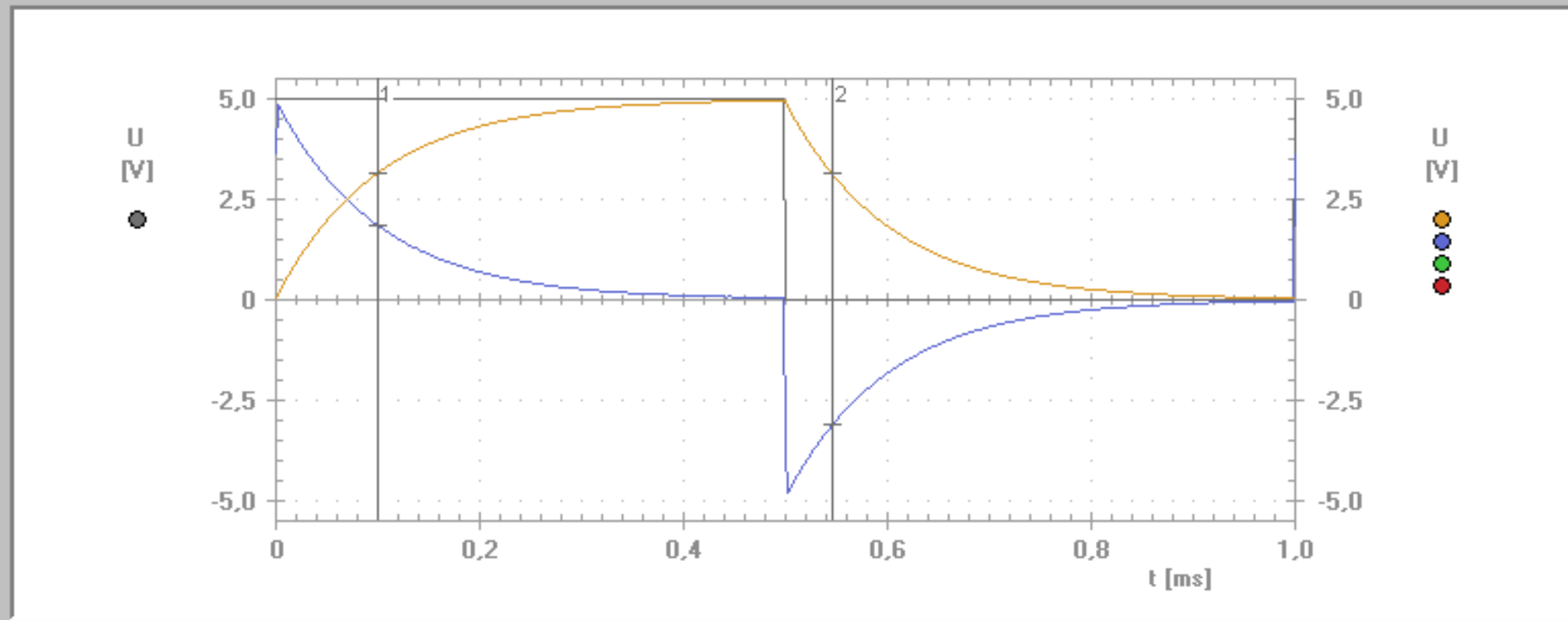
Výpočet vztahů (1) až (12).

## 8 Grafické řešení

Předpokládané průběhy napětí ukazují následující screenshots (snímky obrazovky).

Legend	Edit	Delete	Function	Cursor	1	2	Status	File
● OUT	Ug		Output	Mode	t [ms]	0,100	0,546	Stop
● B1	Uc		Cursor	Paired	OUT	5,00 V	0,00 V	Open
● B2	Ur		Measure	Voltage	B1	3,15 V	3,15 V	Save
			Utility		B2	1,85 V	-3,10 V	Print
								Exit

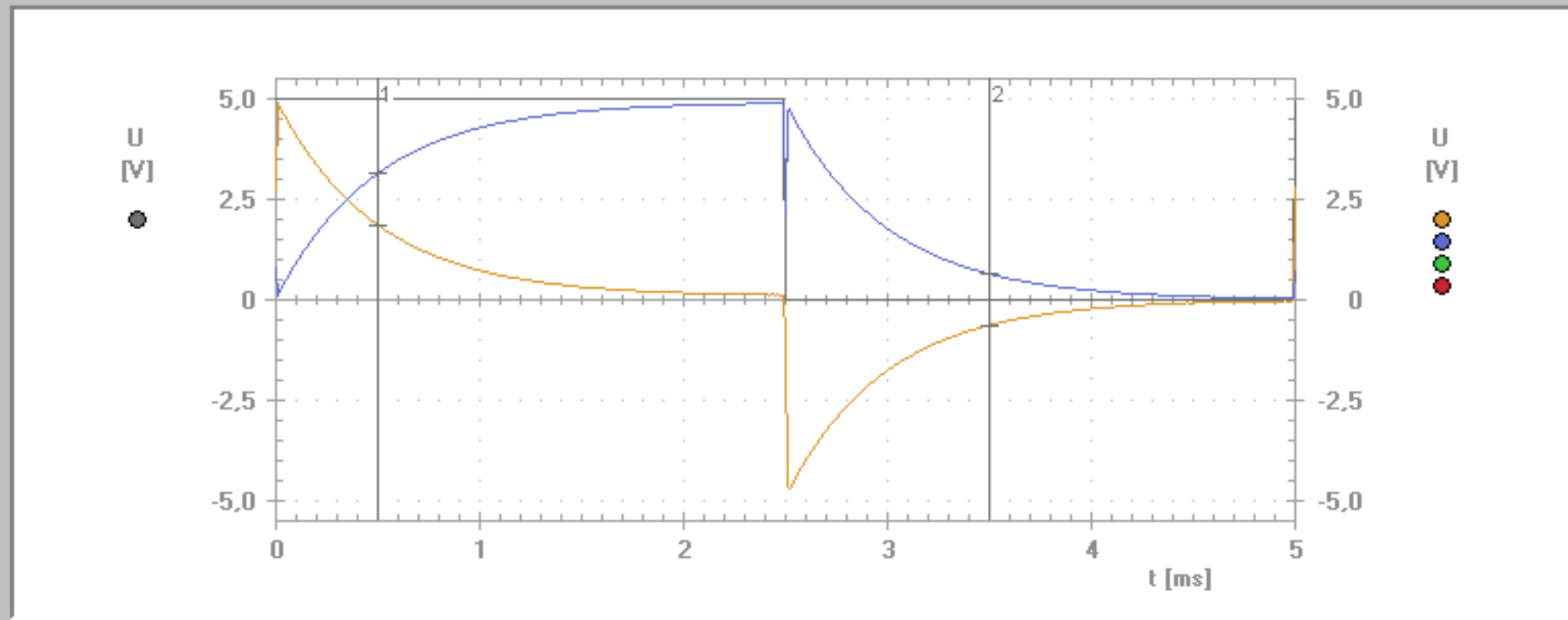
Init



Measurement					Time	Gain	Average
Normal	Run	Single	Sequence	● B1 ● B2 ● B3 ● B4 Clr	◀ ▶	● OUT ▲ ▼ ● B ▲ ▼	Off ▲ ▼

Legend	Edit	Delete	Function	Cursor	1	2	Status	File
● OUT	Ug		Output	Mode	t [ms]	0,50	3,50	Stop
● B1	U <sub>I</sub>		Cursor	Paired	OUT	5,00 V	0,00 V	Open
● B2	U <sub>r</sub>		Measure	Voltage	B1	1,85 V	-0,65 V	Save
			Utility		B2	3,15 V	0,65 V	Print
								Exit

Init



Measurement					Time	Gain	Average
Normal	Run	Single	Sequence	<span style="color: orange;">●</span> B1 <span style="color: blue;">●</span> B2 <span style="color: green;">●</span> B3 <span style="color: red;">●</span> B4                     Clr	◀ ▶	● OUT                     ▲ ▼ <span style="color: orange;">●</span> <span style="color: blue;">●</span> <span style="color: green;">●</span> <span style="color: red;">●</span> B                     ▲ ▼	Off                     ▲ ▼

## 8 Použité přístroje

- Odporová dekáda (1k-999kohm)
- Kapacitní dekáda (1 nF - 999 nF)
- Indukčnost 1H
- Měřicí systém rc2000 -  $\mu$ LAB (A&DDU jednotka, zdroj 5 V/3 A, napájecí kabely – 1× červený, 1× zelený)
- Propojovací pole
- PC + program RC 2000+*1kHzPulse5V.aio*
- Vodiče + propojovací sondy

## 9 Závěr

Uved'te, čím jsou způsobeny rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami. Pomocí naměřených hodnot napětí ověřte, zda pro RC a RL obvody platí vztahy (2) a (8).

## 10 Seznam použité literatury

- [1] Hojka, J. – Boltík, J. – Nobilis, J.: Radioelektronická zařízení I. SNTL, Praha, 1986.