


# **Studium přechodových jevů v obvodech s diskrétními parametry - vzdálený experiment**

Study of transients in circuits with discrete parameters - Remote  
Experiment

Dalibor Macík

---

Bakalářská práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Dalibor MACÍK  
Osobní číslo: A08068  
Studijní program: B 3902 Inženýrská informatika  
Studijní obor: Informační a řídicí technologie

Téma práce: Studium přechodových jevů v obvodech s diskrétními parametry pomocí vzdáleného experimentu po Internetu

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte otázky fyzikálních principů přechodových jevů v diskrétních RLC obvodech.
2. Sestavte experimentální aparaturu na bázi systému ISES ( Internetový školní experimentální systém).
3. Proveďte ověřovací měření na prvcích sady elektronických obvodů ISES.
4. Převeďte laboratorní experiment na vzdáleně řízený na bázi server-klient pomocí techniky www stránky a kompilovaných Java appletů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. SEDLÁK, Bedřich; ŠTOLL, Ivan. Elektřina a magnetismus. Praha : Academia a Univerzita Karlova, 1993. 600 s.
2. GERSHENFELD, Neil. The Physics of Information Technology. Cambridge : Cambridge, 2000. 370 s.
3. HELMAR, Frank. Fyzika a technika polovodičů. Praha : SNTL, 1990. 283 s.
4. FRASER, D. A. The Physics of Semiconductor Devices. Oxford : Oxford University Press, 1979. 132 s.
5. MAYER, Daniel. Analýza elektrických obvodů maticovým počtem. Praha : Academia Praha, 1966. 338 s.
6. F. Lustig: ISES – Intelligent School Experimenta. Lustig: Hardware and software system, [ [http://www.ises.info/default\\_a.html](http://www.ises.info/default_a.html) ]

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. František Schauer, DrSc.  
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

7. června 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Cílem práce bylo sestavit vzdálený experiment „Přechodové jevy v RLC obvodu“ šířený po Internetu pro výuku. Experiment bude využit pro výuku jednak pro studium rezonančních jevů v RLC obvodu a rovněž pro vysvětlení energetických pochodů při vlastních oscilacích.

K realizaci fyzikálního hardware jsem si zvolil systém Internetový Školní Experimentální Systém (ISES- UK v Praze). Výsledkem měření přechodových charakteristik při proměnném tlumení je charakterizace obvodu a určení všech čtyř parametrů RLC obvodu. V první fázi návrhu vzdáleného experimentu bylo nutno sestavit pomocí hardwarového a softwarového vybavení ISES laboratorní experiment, který posloužil, k výběru optimálních parametrů a režimu využití experimentu. V dalším jsem experiment převedl na vzdálený experiment šířený po internetu pomocí softwaru ISES Web Control Kit. K tomu bylo nutno sestavit HTML stránku k řízení experimentu, která je složena z Java appletů, jež tvoří jednotlivé prvky experimentu, a aplikovat všechny potřebné subservery – Image server, Measure server a HTML server.

Klíčová slova: RLC obvod, ISES, vzdálený experiment, přechodové jevy

## ABSTRACT

The goal of the thesis was to design and setup the remote experiment „Transient phenomena in RLC circuit“ spread across the Internet for teaching. Experiment will be used both for the study of resonant phenomena in RLC oscillator circuit, and for the explanation of energy transformations for its natural oscillations.

As the physics hardware I choose the Internet School Experimental System (ISES- Charles University in Prague). As the result of the measurements of the transient characteristics with variable damping is the characterization of the circuit and the determination of all four RLC circuit parameters. The first step in the building of remote experiment was to setup, using the hw and sw of ISES, the hands on experiment. This served for the optimum choice

of its parameters and its regime of exploitation. In the next step I transformed the hands – on experiment to the remote one using the sw ISES Web Control Kit. For this purpose the HTML page for the control of the experiment was compiled, using the preprepared Java applets for the selected composite parts of the experiment and to apply the subservers – Image server, Measure server and HTML server.

Keywords: RLC circuit, ISES, remote experiments, transients

Úvodem této bakalářské práce chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Františku Schauerovi, DrSc., který mi poskytl potřebné informace k dané problematice, cenné rady, připomínky, náměty a především prostředky k vytvoření této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, za podporu během celého mého studia.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>OBSAH .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 HISTORIE .....</b>	<b>12</b>
<b>2 RLC OBVOD.....</b>	<b>13</b>
2.1 PRVKY OBVODU .....	13
2.2 SÉRIOVÝ RLC OBVOD .....	14
2.3 ENERGETICKÉ POMĚRY V OBVODU .....	17
<b>3 ISES .....</b>	<b>19</b>
3.1 ISES HARDWARE.....	19
3.2 ISES SOFTWARE.....	21
3.3 ISES WEB CONTROL KIT .....	22
<b>4 VZDÁLENÝ EXPERIMENT .....</b>	<b>30</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>31</b>
<b>5 REALIZACE EXPERIMENTU .....</b>	<b>32</b>
5.1 ZDROJ ELEKTROMOTORICKÉHO NAPĚTÍ.....	32
5.2 NEPÁJIVÉ KONTAKTNÍ POLE .....	33
5.3 RELÉOVÁ DESKA .....	33
5.4 SOUPRAVA S ELEKTRONICKÝMI PRVKY ISES .....	34
5.5 ISES ŘÍDICÍ PANEL .....	34
5.6 WEBKAMERA .....	34
5.7 KARTA ROZHRANÍ PRO SBĚR A PŘEVOD DAT.....	34
5.8 SERVER .....	34
<b>6 ŘÍDICÍ SOUBOR MEASURE SERVERU.....</b>	<b>35</b>
6.1 INICIALIZAČNÍ BLOK.....	35
6.2 BLOK PRO ČTENÍ A ZÁPIS HODNOT NA DEKÁDY .....	35
6.3 BLOK OBSLUHY JEDNOTLIVÝCH DEKÁD .....	36
6.4 BLOK RYCHLÝ EXPERIMENT .....	37
6.5 BLOK ON USER CHANGE.....	37
<b>7 HTML STRÁNKY .....</b>	<b>38</b>
7.1 INICIALIZACE STRÁNKY.....	38
7.2 TLAČÍTKA PRO OVLÁDÁNÍ DEKÁD .....	38
7.3 RYCHLÝ EXPERIMENT .....	39
7.4 ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT .....	40
7.5 OBRAZ EXPERIMENTU .....	40
<b>8 CHARAKTERIZACE OBVODU.....</b>	<b>41</b>
8.1 URČENÍ VLASTNÍ FREKVENCE OBVODU .....	41
8.2 KOEFICIENT ÚTLUMU .....	42
8.3 VÝPOČET PARAMETRŮ OBVODU .....	44
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>45</b>

---

<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>49</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>51</b>

## ÚVOD

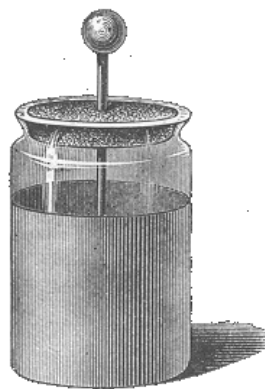
Cílem práce bylo vytvořit funkční experiment, který bude součástí laboratoří fyziky z oblasti elektroniky, a to „Přechodové jevy v RLC obvodu“. Bylo zapotřebí pomocí výběru správného software a hardware sestavit plně počítačově orientovaný laboratorní experiment pro popis RLC obvodu. V další fázi práce bylo nutno transformovat takto fungující experiment na vzdálený, šířený po Internetu. Celý systém pak pracuje na bázi server-klient, s maximálním softwarovým řešením a minimální hardwarovou podporou.

Dále bylo nutno pomocí takto fungujícího experimentu provést ukázkové měření a charakterizovat daný RLC obvod, tedy pomocí řízeného a proměnného tlumení určit všechny čtyři parametry RLC obvodu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE

První důkaz, že kapacitor může produkovat elektrické kmity, byl objeven v roce 1826 francouzským vědcem Felixem Savary. Zjistil, že když byla Leydenská sklenice vybita přes drát omotaný kolem železné jehly, někdy jehla byla zmagnetizovaná v jednom směru a někdy v opačném směru. Správně odvodil, že to bylo způsobeno tlumeným oscilační proudem v drátu, který obrátil magnetizaci jehly tam a zpět, dokud nebyl příliš malý na to, aby měl vliv na zmagnetizování jehly, takže jehla byla zmagnetizována v náhodném směru. [1]



*Obr. 1.1: Leydenská sklenice [10]*

Britský vědec William Thomson v roce 1853 matematicky popsal, že vybíjení Leydenské sklenice přes induktor by mělo být oscilační a odvodil rezonanční frekvence oscilace. Britský rozhlasový výzkumník Oliver Lodge vybíjením velkokapacitní Leydenské sklenice přes dlouhý drát vytvořil laděný obvod s rezonanční frekvence ve zvukovém rozsahu, který produkoval hudební tón právě, když byla vypouštěna jiskra. [3]

V roce 1857 německý fyzik Wilhelm Berend Feddersen fotografoval jiskru vyrobenou rezonančním obvodem Leydenské sklenice v rotujícím zrcadle, poskytovat viditelný důkaz oscilací. V roce 1868 James Clerk Maxwell vypočítal účinek použití střídavého proudu v obvodu s indukčností a kapacitou, který ukazuje, že reakce je maximální při rezonanční frekvenci. [4]

První příklad elektrické přenosové rezonanční křivky zveřejnil v roce 1887 rakouský fyzik Heinrich Hertz v jeho průkopnické práci o objevu rádiových vln. První patent pro rádiový systém, který dovolil ladění, byl podán Lodgem v roce 1897, ačkoli první praktický systém byl objeven až v roce 1900 italským rozhlasovým průkopníkem Guglielmo Marconim [2].

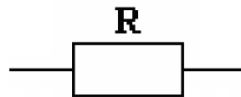
## 2 RLC OBVOD

RLC obvody je název pro obvody, které jsou obecně tvořeny rezistorem o odporu  $R$ , ideální induktorem s indukčností  $L$  a ideálním kapacitorem s kapacitou  $C$ . [5]

### 2.1 Prvky obvodu

#### 2.1.1 Rezistor

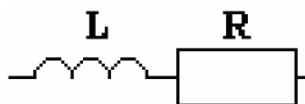
Rezistor je pasivní elektrotechnická součástka projevující se v elektrickém obvodu v ideálním případě jedinou vlastností - elektrickým odporem. Důvodem pro zařazení rezistoru v komunikačních RLC obvodech je obvykle získání napětí pro přenos signálu (informace). [6]



Obr. 2.1: Rezistor

#### 2.1.2 Reálný induktor

Induktory jsou elektrotechnické součástky, které vytvářejí magnetické pole, případně na magnetické pole reagují (např. indukci napětí). Jsou tvořeny vodičem, který je navinut ve formě řady závitů na jádru induktoru, nebo jsou samonosné. Samotný vodič má ale elektrický odpor, a proto je nutno skutečný induktor chápat jako sériové spojení ideálního induktoru a rezistoru, který představuje odpor vinutí induktoru. U induktorů, které mají podstatně větší indukčanci ve srovnání s odporem svého vinutí, je možné odpor vinutí vůči indukčanci celého induktoru zanedbat. [5]

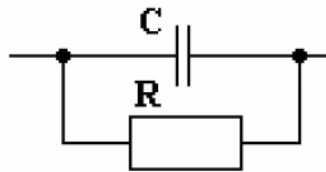


Obr. 2.2: Reálný induktor

#### 2.1.3 Reálný kapacitor

Kapacitory jsou součástky, které slouží pro kumulaci elektrické energie. V nejjednodušším provedení jsou to kapacitory deskové, které jsou tvořeny minimálně dvěma vzájemně rovnoběžnými deskami, mezi nimiž je dielektrikum (izolant). A právě reálný izolant mezi deskami kapacitoru je příčinou vzniku ztrát, které ovlivňují celkovou impedanci kapacitoru

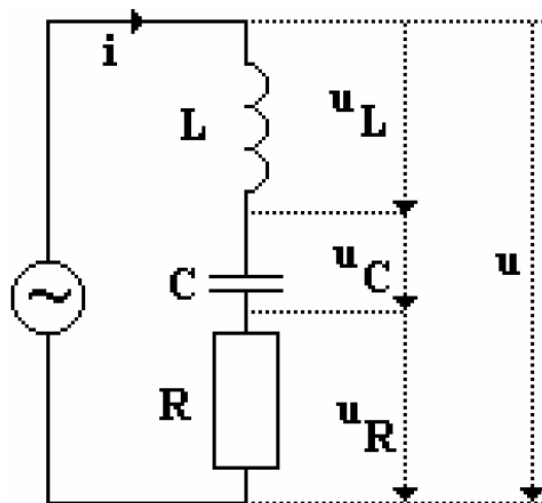
zapojeného do obvodu střídavého proudu. Skutečný kapacitor tedy lze nahradit paralelním zapojením ideálního kapacitoru a rezistoru, který představuje ztráty v dielektriku. [5]



Obr. 2.3: Reálný kapacitor

## 2.2 Sériový RLC obvod

Všemi prvky obvodu RLC (Obr. 2.4) prochází stejný proud, ale napětí na jednotlivých prvcích se liší jak hodnotou, tak i vzájemnou fází: napětí na rezistoru má stejnou počáteční fázi jakou proud, napětí  $u_L$  na induktoru předbíhá proud a napětí  $u_C$  na kapacitoru se za proudem zpožďuje. Stejná počáteční fáze proudu a napětí na rezistoru je dána vlastností rezistoru a fyzikálními principy, na kterých je přenos náboje v rezistoru založen. Na induktoru a kapacitoru je ale situace jiná. U kapacitoru je fázový posuv způsoben tím, že „ve fázi“ je napětí a náboj na kapacitoru a sledovaný proud je integrálem náboje ( $\varphi = -90^\circ$ ) a u indukčnosti tím, že napětí na induktoru je dáno derivací proudu podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce ( $\varphi = 90^\circ$ ). [5]

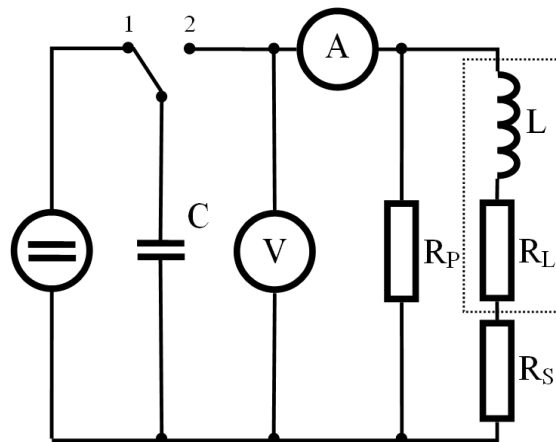


Obr. 2.4: Sériový RLC obvod [5]

### 2.2.1 Přechodové jevy v RLC obvodu

Složení obvodu je podobné jako v předchozím odstavci. Rezistor, induktor i kapacitor jsou zapojeny do série, ale rozdíl je ve zdroji, kterým je 4,5V baterie a ve druhé odporové

dekádě, která je připojena paralelně ke kapacitoru. Celý obvod je obsluhován jedním spínačem.



Obr. 2.5: RLC obvod v experimentu

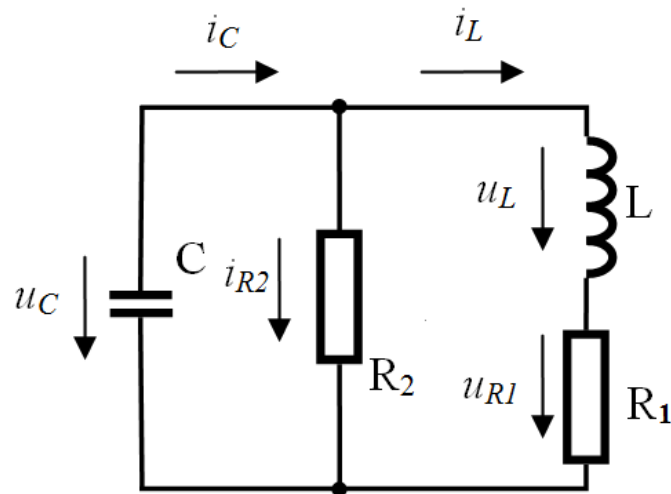
Je-li spínač v poloze 1, kapacitor se nabíjí. Po přepnutí spínače do polohy 2 se **kapacitor** začne přes **induktor** a dekádu vybíjet. Časový záznam průběhu napětí na obvodu měříme voltmetrem V a proud induktorem ampérmetrem A.

Po přepnutí spínače do polohy 2 dojde k vybíjení kapacitoru přes induktor a dekádu. Energie elektrického pole, akumulovaná v kapacitoru, se mění na energii magnetického pole induktoru, část energie se mění v Joulovo teplo na odporech v obvodu. Pokud je odpor obvodu dostatečně malým (rozběr je uveden v dalším), dojde ke vzniku tlumených kmitů s vlastní frekvencí  $\omega_0$  ve formě napětí na obvodu (proudu obvodem) ve tvaru

$$u(t) = u(0)e^{-bt} \sin(\omega_0 t) \quad (1)$$

Předbíhání proudu vzhledem k napětí na kapacitoru je způsobeno periodickým nabíjením a vybíjením kapacitoru přes induktor. V okamžiku, kdy dosáhne napětí na kapacitoru maximální hodnoty, prochází kapacitorem nulový proud. Pak se kapacitor se v první čtvrtině periody začíná vybíjet, což znamená, že postupně klesá napětí mezi jeho deskami a roste proud, který jím protéká. Jakmile proud dosáhne svého maxima (v čtvrtině periody), je kapacitor vybit a začíná se nabíjet opačně, než byl nabit původně. Proud postupně klesá, až dosáhne opět nulové hodnoty. V ten okamžik je kapacitor nabit na napětí, které je ovšem opačné, než napětí, na které byl nabit na začátku periody. Ve třetí čtvrtině periody se kapacitor opět vybíjí a proud se zvětšuje. Právě popsany děj se periodicky opakuje.

Pro matematický popis obvodu využijeme náhradní schéma (Obr. 2.6).



Obr. 2.6: Náhradní schéma RLC obvod

Tento obvod lze popsat následující soustavou rovnic:

$$R_1 = R_{1D} + R_L, R_2 = \frac{R_C \cdot R_{2D}}{R_C + R_{2D}} \quad (2)$$

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \quad (3)$$

$$u_{R2} = R_2 i_{R2} \quad (4)$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}, \frac{du_L}{dt} = L \frac{d^2 i_L}{dt^2} \quad (5)$$

$$u_{R1} = R_1 i_{R1} \quad (6)$$

$$i_L = i_{R1} \quad (7)$$

$$0 = i_C + i_{R2} + i_L \quad (8)$$

$$u_{R1} + u_L = u_C = u_{R2} = u \quad (9)$$

Využitím II. Kirchhoffova zákona lze dospět k diferenciální rovnici:

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + 2b \frac{du}{dt} + \omega_0^2 u = 0 \quad (10)$$

kde

$$2b = \frac{1}{R_2 C} + \frac{R_1}{L}, [b] = s^{-1} \quad (11)$$

$$\omega_0^2 = \left( \frac{1}{LC} \right) \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (12)$$

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 - b^2 \quad (13)$$

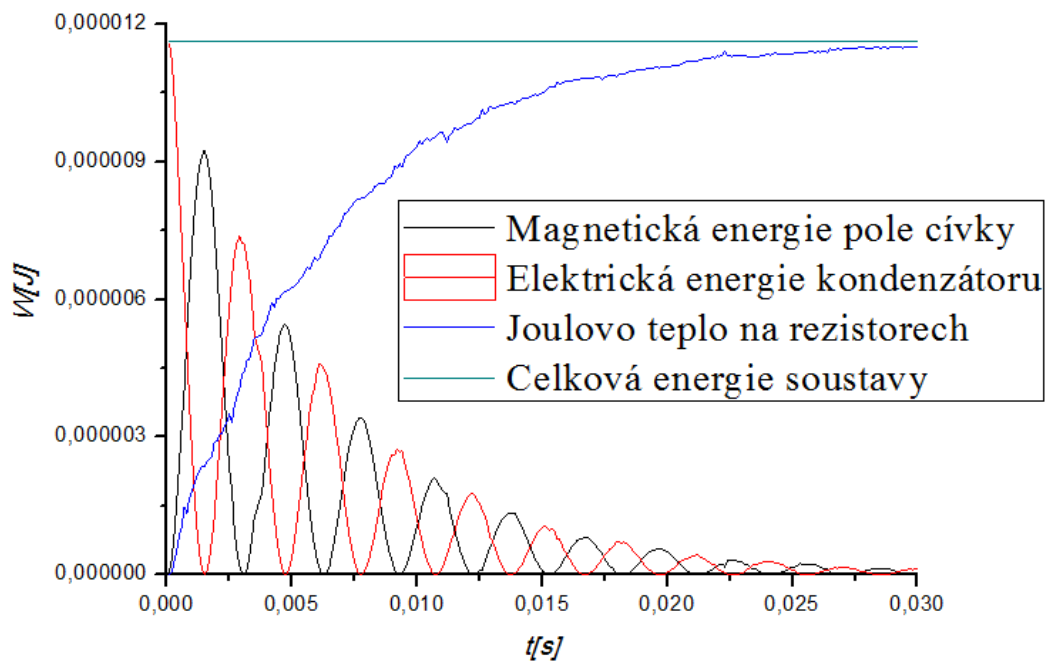
Její řešení je při splnění podmínky  $\omega_0 > b$ :

$$u(t) = u(0)e^{-bt} \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (14)$$

Veličina  $b$  se nazývá součinitel útlumu a veličina  $e^{-bt}$  udává, jak se relativně zmenší amplituda za periodu. [8]

### 2.3 Energetické poměry v obvodu

Tato kapitola pojednává o přeměně energie v obvodu. Jak bylo už řečeno v předchozí kapitole, celková energie soustavy zůstává nezměněna, ale energie elektrického pole, akumulovaná v kondenzátoru, se mění na energii magnetického pole induktoru a část energie se postupně s časem mění na Joulovo teplo na odporech.



Obr. 2.7: Přeměna energie v RLC obvodu

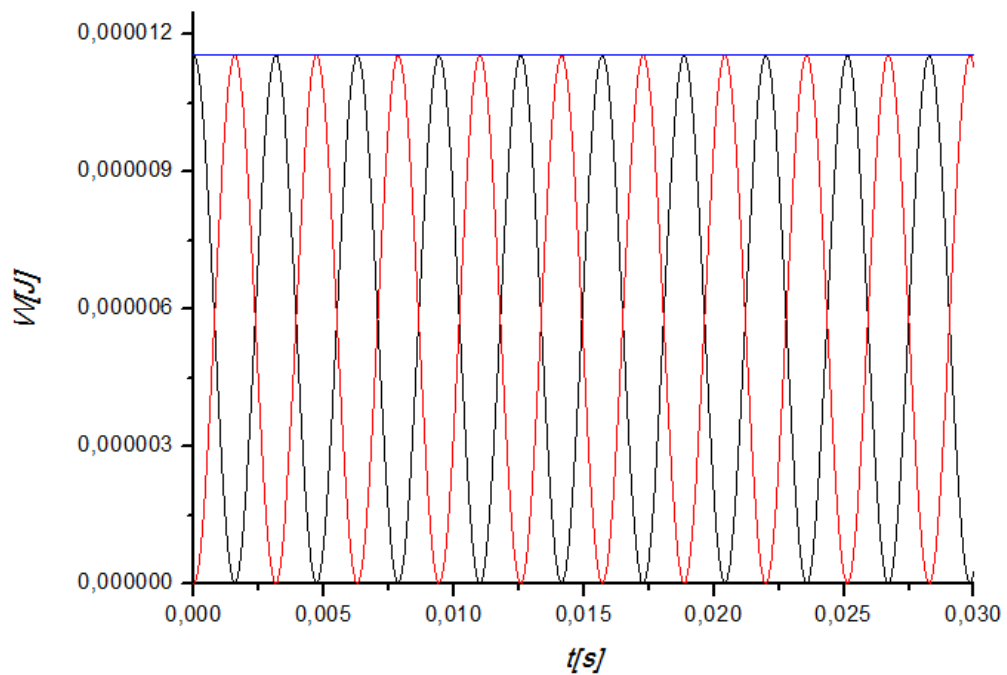
Matematické vztahy pro popis tohoto děje jsou následující:

$$W_C(t) = \frac{1}{2} Li^2(t), [W] = J \quad (15)$$

$$W_C(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (16)$$

$$W_{celk}(t) = W_{;L}(t) + W_C(t) + W_R(t) = konst. \quad (17)$$

Jak vyplývá z rovnice (14), s rostoucím tlumením se počáteční energie kapacitoru rychleji mění na teplo vyvinuté v obvodu. Proto by u teoretického LC obvodu, složeného z ideálního induktoru a kapacitoru (např. v supravodivém uspořádání) nedocházelo k tlumení a celý přechodový děj by se opakoval do nekonečna (Obr. 2.8).



Obr. 2.8: Přeměna energie v ideálním LC obvodu bez ztrát

### 3 ISES

K realizaci vzdáleného experimentu je nezbytné zvolit správný systém, který je schopen obstarat jak stránku fyzickou, tak i stránku programovou. Tato kapitola představí systém ISES a všechny jeho části, které slouží k sestavení vzdáleného experimentu.

Laboratoře začaly hrát velkou roli ve vyučování a studování přírodních věd, kde se odehrává studium reálných jevů pomocí reálných experimentů, pro snadnější pochopení daného jevu a jeho podrobné prozkoumání. Taktéž vzdálené e-laboratoře se jeví jako jednoduchý a uživatelsky přátelský nástroj s reálnými e-experimenty. I proto vznikl systém ISES pro provoz měření v laboratořích jak fyziky, tak i biologie nebo chemie.



*Obr. 3.1: Využití systému ISES v laboratořích*

ISES je otevřený systém pracující pod operačním systémem Windows. Prostřednictvím tohoto systému jsme schopni jednoduše realizovat jak reálné, tak i vzdálené experimenty v našich laboratořích. Systém se fyzicky skládá z fyzikálního hardware, tvořeného řídicím panelem, datové karty, sady proměnných modulů a snímacích prvků (asi 40) a taktéž softwarového grafického a vyhodnocovacího prostředí.

#### 3.1 ISES hardware

Fyzická část systému ISES se skládá ze tří základních prvků. Řídicí panel, který obsahuje vstupy a výstupy a plug-in sloty pro moduly, napojená na kartu rozhraní (National Instruments) pro sběr a D/A a A/D převod dat a plug-in měřicí moduly.

### 3.1.1 ISES řídicí panel

**Řídicí panel** s vstupy a výstupy a plug-in sloty pro moduly, poskytuje snadný způsob rozhraní na prakticky jakémkoliv počítači. Systém nabízí možnost současného měření a zobrazování dat na 8 vstupních kanálech a řízení procesů prostřednictvím dvou analogových a čtyřech binárních výstupních kanálech. Ten odesílá informace převodníkové kartě pro sběr a převod dat. [9]

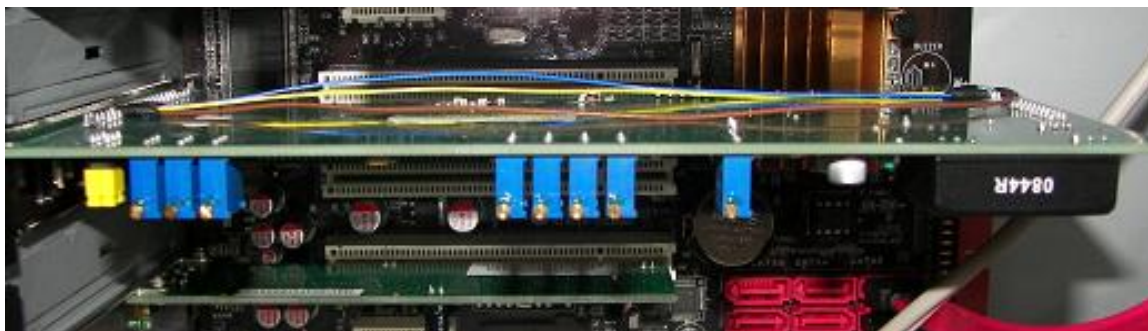


*Obr. 3.2: ISES řídicí panel*

Kanály s analogovým výstupem mohou pracovat jako programovatelné zdroje napětí (stejnsměrný i střídavý s 8 druhy výchozích signálů, manuálně ovládané nebo uživatelsky definované signály). Maximální vzorkovací frekvence je 100 kHz a umožňuje studium např. akustických signálů nebo jiných vysokofrekvenčních signálů. [9]

### 3.1.2 ISES karta rozhraní

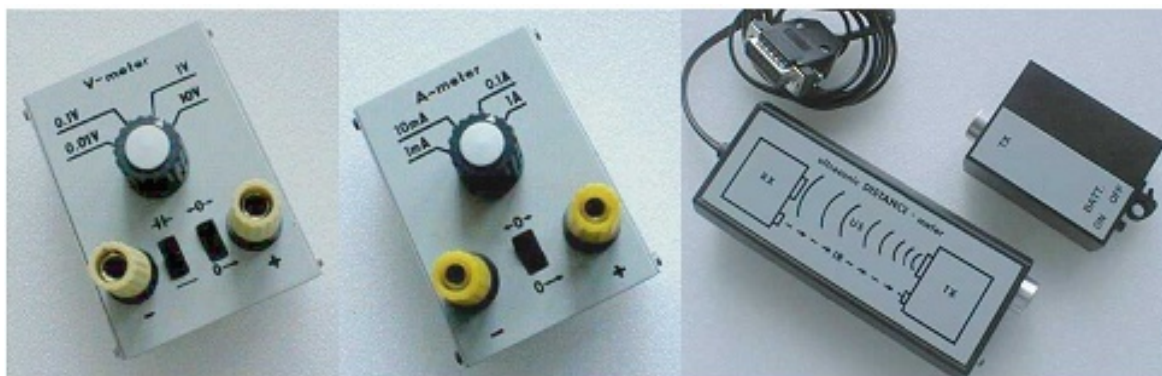
Tato karta v provedení professional obsahuje A/D a D/A 12-bit převodníky, 16x A/D vstup (0-5V), dále softwarový převod, doba jednoho převodu 60 ms, 1x D/A výstup (+/- 5V), vzorkovací kmitočet počítače XT, AT/12MHz a je klasicky zapojena jako rozšiřující karta přes rozhraní PCI. [9]



Obr. 3.3: Karta rozhraní

### 3.1.3 ISES moduly

ISES moduly jsou snadno zaměnitelné prostřednictvím univerzálního konektoru a počítač automaticky zjistí jejich přítomnost, a přečte jejich rozsah. Systém je vybaven moduly jako např.: voltmetr ( $\pm 5 \text{ mV} \div 10 \text{ V}$ , obr. 2), ampérmetr ( $\pm 0.5 \text{ mA} \div 1 \text{ A}$ ), ohmmetr, měřiče kapacity, teploměry ( $-20^\circ \text{ C} \div +120^\circ \text{ C}$ ), mikrofon, snímač odchylek, nastavitelný předzesilovač, booster, relé spínače, tlakoměr a mnoho dalších. Pro chemii je to elektromagnetický kapalinový ventil a digitální byreta. [9]

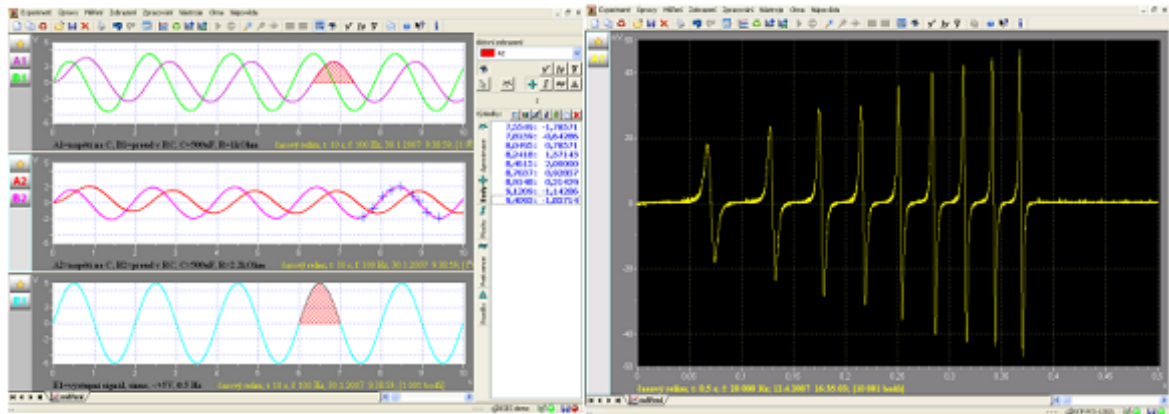


Obr. 3.4: ISES moduly [17]

Moduly se dělí na vstupní (určené pro odečet dat měřených veličit z dané aplikace, např. ampérmetr, voltmetr, sonar) a výstupní (pro zásah do ovládaných laboratorních prvků, např. booster, relé). [9]

## 3.2 ISES software

Data v systému ISES jsou zobrazena jak v analogové nebo digitální podobě, na variabilní počet panelů, s možností zobrazení přímo hodnot, získaných pomocí modulů nebo jejich kombinací (sčítání, odčítání, produktu, kvocient, atd.). Tento software umožňuje zpracování dat (integrace, diferenciacie, přiblížení atd.) a snadný export dat pro další grafické procesy. [9]



Obr. 3.5: Softwarové prostředí ISES pro zobrazení a zpracování naměřených dat [9]

### 3.3 ISES WEB CONTROL kit

Tento programový balík slouží pro přeměnu laboratorního ISES experimentu na jeho vzdálenou verzi, šířenou po internetu. Celý software experimentu se skládá z několika částí, které zde budou postupně rozebrány. Jedná se o několik serverových programů, které zprostředkovávají komunikaci s klientem a experimentem. Ovládací rozhraní je zprostředkováno HTML stránkou s Java applety, které jednak ovládají jednotlivé části experimentu, ale také se starají o zobrazování naměřených dat. Celý systém je v našem případě instalován na platformě Windows XP. [9]

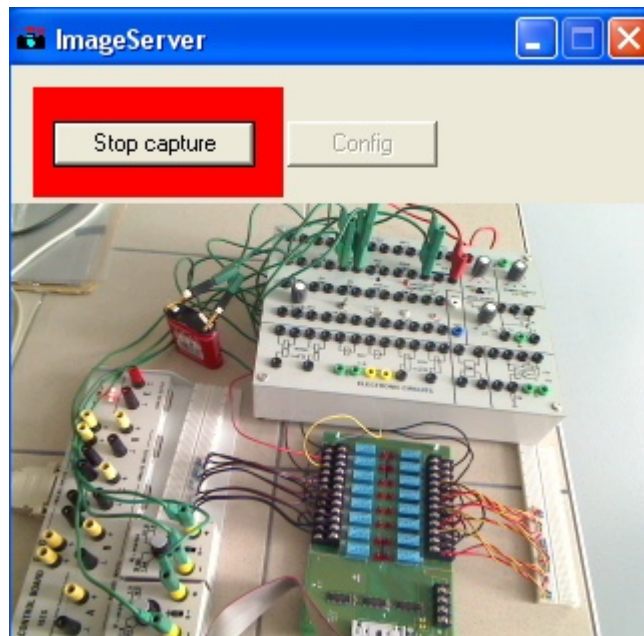
#### 3.3.1 Image server

Tento program umožňuje, ve spolupráci s Java appletem, umístit na webovou stránku video z VFW (Video for Windows) kompatibilního zdroje, například z USB webové kamery či grabovací karty. Program periodicky ukládá aktuální obraz ze zdroje do souboru formátu jpeg. Jméno souboru, rozlišení a kvalitu komprese je možno měnit. Rovněž je možné ukládat až do tří (použitelné množství závisí na výkonu procesoru počítače serveru, na kterém program běží) různých souborů s nezávisle nastavitelným rozlišením a kvalitou komprese. [9]

##### 3.3.1.1 Hlavní okno

Toto okno se objeví po startu programu s výjimkou prvního spuštění, kdy se zobrazí Konfigurační dialog (Obr 3.6). Jsou zde dvě tlačítka: Config, kterým je možno vyvolat

Konfigurační dialog a tlačítko Start capture, kterým se zahájí zpracování obrazu. Po dobu zpracování obrazu funguje toto tlačítko jako vypínač zpracování. [9]

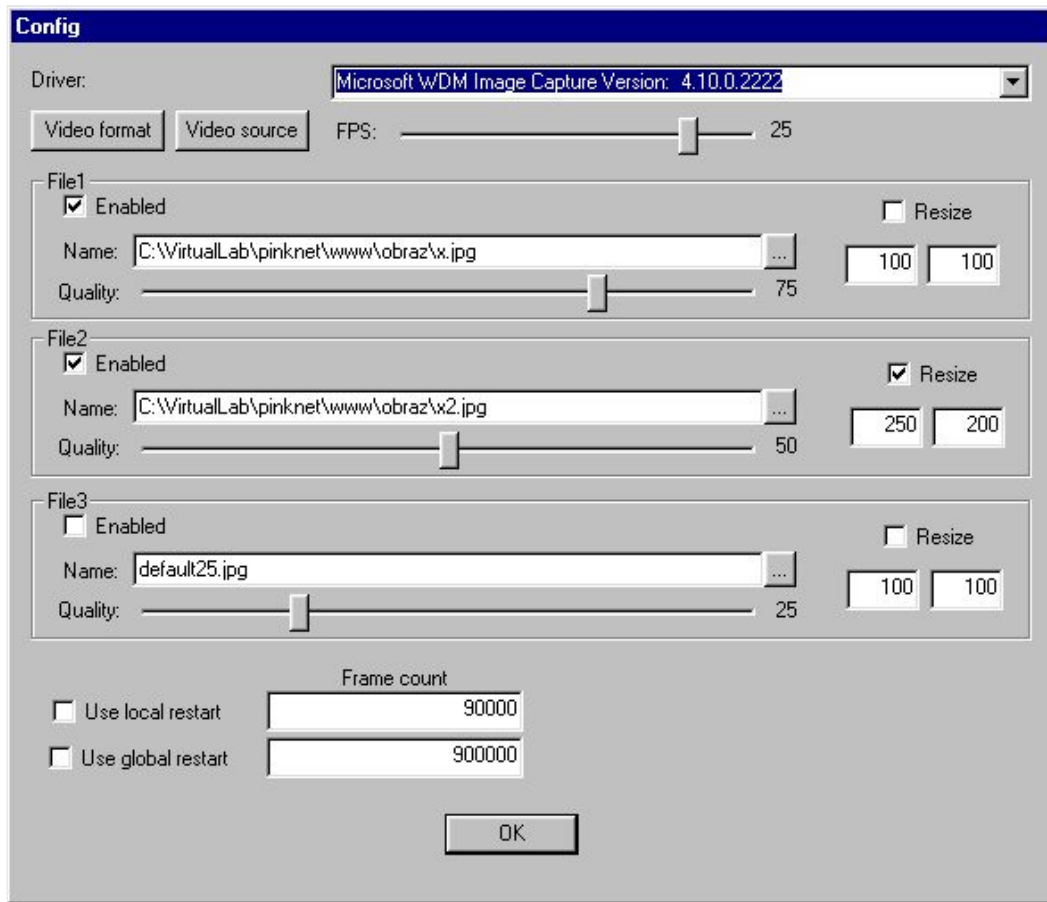


Obr. 3.6: Záběr fyzikálního hw z web kamery

### 3.3.1.2 Konfigurační dialog

Tento dialog sestává ze tří logických bloků.

V jeho horní části se nastavuje zdroj obrazu. Jednak je zde možno pomocí comboboxu vybrat jeden ze zdrojů obrazů dostupných v systému. V případě USB zařízení či zařízení vybavených WDM ovladači se zde pravděpodobně bude nacházet zařízení jménem *Microsoft WDM capture*. Pomocí tlačítek *Video format* a *Video source* se vyvolají konfigurační dialogy umožňující nastavit různé parametry zařízení. Obsah těchto dialogů závisí na ovladači konkrétního zařízení a liší se mezi zařízeními. Pomocí posuvníku je zde dále možno nastavit snímkovou frekvenci, v počtu snímků za sekundu, se kterou je video zaznamenáváno. [9]



Obr. 3.7: Konfigurační dialog [9]

V prostřední části se nacházejí tři stejné bloky umožňující nastavit parametry výstupních souborů. Jméno, kvalitu komprese a rozlišení. [9]

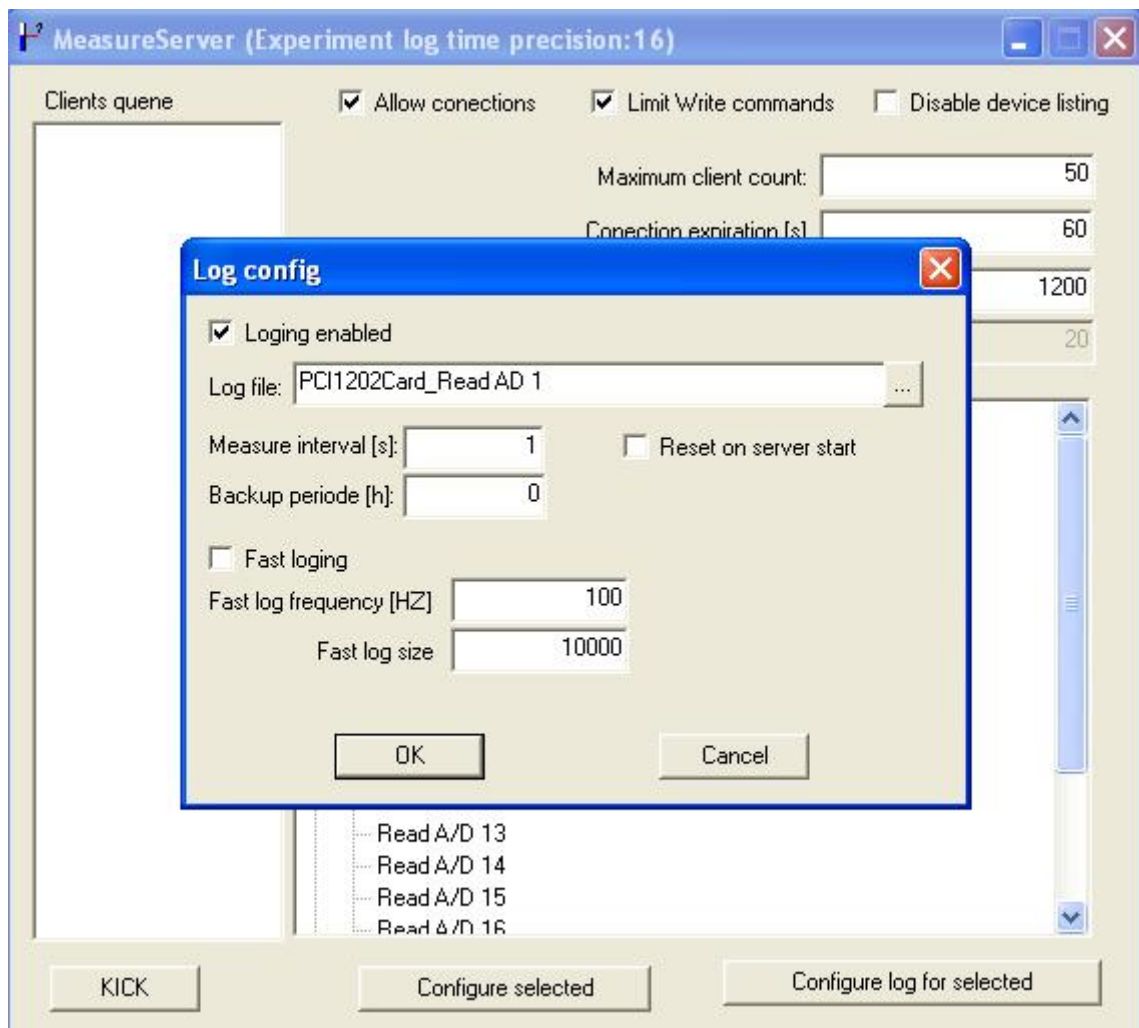
V dolní části se pak nacházejí parametry sloužící pro nastavování speciálních vlastností ImageServeru. V aktuální verzi je to možnost provést po určitém počtu zachycených obrazů restart zachytávání. Cílem této akce je řešení potencionálních problémů s některými ovladači, které nebyly výrobcem koncipovány pro dlouhodobé zachytávání a po nějaké době narazí na implementační limit. Program nabízí dvě varianty restartu. Tzv. lokální varianta pouze přeruší aktuální záznam a nastartuje nový. Globální varianta navíc ještě reinitializuje zachytávací ovladač. [9]

### 3.3.2 Measure server

MeasureServer tvoří hlavní část celého měřicího systému a zajišťuje realizaci serverové strany experimentu. Program se skládá ze dvou logických částí. [9]

První z nich jsou pluginy. Jedná se o dll soubory poskytující pevně stanovený interface, pomocí kterého poskytují informace o pinech, ze kterých je možné číst hodnoty, či do

kterých je možno hodnoty zapisovat. Pluginy realizují přístup k zařízení či implementují logiku experimentu. [9]



Obr. 3.8: Measure server [9]

Druhou částí je vlastní program MeasureServer. Ten při svém startu nainicializuje dostupné pluginy a následně poskytuje vzdáleným uživatelům funkce pro čtení a zápis hodnot jednotlivých pinů. Kromě toho také nabízí možnost logování hodnot pinů (dlouhodobé s velmi malou frekvencí v řádu sekund, či krátkodobé s frekvencí v řádu desítek Hz), záznam prováděných experimentů a následné získání těchto hodnot klientskou stranou. [9]

### 3.3.2.1 Konfigurace programu

Hlavní dialog programu slouží zároveň i pro konfiguraci většiny funkcí. V jeho levé části se nachází fronta aktuálně připojených klientů. U každého klienta je uvedena jeho IP adresa a následně tříznakový kód udávající informace o typu připojení (přímé/http), režimu

práce (readonly/readwrite) a vlastnictví řízení. Pomocí tlačítka *Kick* je možno ukončit spojení s uživatelem, který je v tomto seznamu vybrán. [9]

V pravé horní části je možnost konfigurovat parametry ovlivňující připojování k serveru. Pomocí *Allow connections* je možno zakázat jakékoliv nové připojení k serveru. V případě, že je zaškrtnuto *Limit write commands*, může posílat řídicí příkazy pouze první readwrite klient z fronty, v opačném případě mohou používat řízení všichni připojení readwrite uživatelé. Zaškrtnutím *Disable device listing* se zakáže funkce umožňující klientovi zjistit seznam všech dostupných zařízení. Dále je zde možné nastavit maximální počet současně připojených klientů a dobu, po které dojde k ukončení spojení v případě, že z něj v jejím průběhu nepřijde žádný požadavek od klienta. V případě, že je řízení omezeno na prvního uživatele ve frontě, je zde možnost omezit dobu, po kterou může zařízení exklusivně používat. Po uplynutí tohoto intervalu je, pokud je ve frontě ještě někdo, je první uživatel přesunut na konec fronty a řízení je předáno dalšímu uživateli ve frontě. Systém teoreticky umožňuje, ve spolupráci s dalším programem, omezit okruh možných uživatelů například použitím hesla. Prakticky to dosud nebylo nikdy testováno. [9]

V pravé dolní části je zobrazeno okno se seznamem načtených pluginů. Pod každým pluginem je seznam jím nabízených pinů. Pomocí tlačítek *Configure selected* a *Configure log for selected* je možno dále provádět nastavení jednotlivých pinů a pluginů a parametrů ovlivňujících logování pinů. [9]

### 3.3.2.2 Logování

Každý z pinů může být logován. Existují dva typy logů:

Douhodobý log. Tento log ukládá data s periodou v řádu sekund či minut pro účely dlouhodobého sledování například teploty. Tento log se ukládá do souborů na disku a může přežít (pokud není v nastavení logu uvedeno, že se má při startu vymazat) ukončení a nový start serveru. Každý soubor má místo na 5000000 záznamů (cca 40MB) a po jeho zaplnění se začnou nejstarší hodnoty přepisovat. Tento log je využíván applety *historygraph2* a *historylist*. [9]

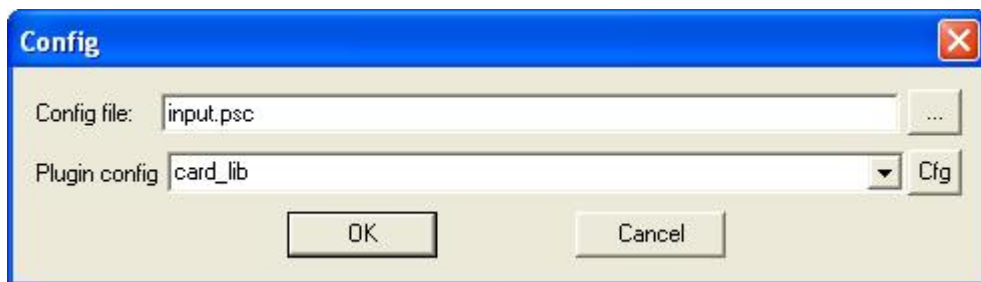
Krátkodobý log s frekvencí v řádu desítek Hz a omezenou délkou. Tento log je uložen pouze v paměti a při ukončení serveru se vymaže. Při použití appletů využívajících data z krátkodobého logu (*fastgraph*, záznam experimentu, 2d grafy) musí být *fastlog* zapnutý pro piny, používané těmito applety. [9]

### 3.3.2.3 Pluginy

Pluginy mají koncovku ldp. Obsahově se jedná o běžné dli soubory, které poskytují pevně určenou množinu funkcí. MeasureServer při startu vyhledá a inicializuje všechny, pluginy které se nacházejí v jeho adresáři. V současnosti existuje celá řada paginu, které se liší jak v možnostech a i použití. Pro experiment byl využit scriptable plugin. [9]

### 3.3.2.4 Scriptable Plugin

Je v současnosti nejsilnějším a zároveň nejsložitějším z pluginů. Pomocí tohoto pluginu je možné dosáhnout ekvivalent funkce téměř kteréhokoliv z ostatních pluginů s výjimkou pluginů, které ovládají konkrétní HW. Navíc je možné dosáhnout některých činností na které starší pluginy nestačí jako je generování složitějšího signálu či vysokorychlostní experiment. Základní princip fungování je podobný pluginu ConfLogicPlugin s tím, že operace pro jednotlivé piny jsou místo sady pravidel zadány jednoduchým programem. [9]



Obr. 3.9: Konfigurační dialog [9]

Konfigurační dialog (Obr. 3.9) je jednoduchý, neboť většina nastavení je popsána v externím souboru .psc, který se stará o celou logiku Measure serveru. První prvek v dialogu je políčko pro zadání jména souboru, který obsahuje popis nastavení. Druhý prvek je kombinace výběrového boxu a tlačítka, pomocí kterých je možné měnit konfiguraci pluginů, které ScriptablePlugin využívá (dáno obsahem souboru s popisem nastavení). [9]

Soubor s popisem nastavení je načítán pouze při startu serveru, takže při jeho změně je nutné server ukončit a znovu spustit. [9]

### 3.3.3 Java applety

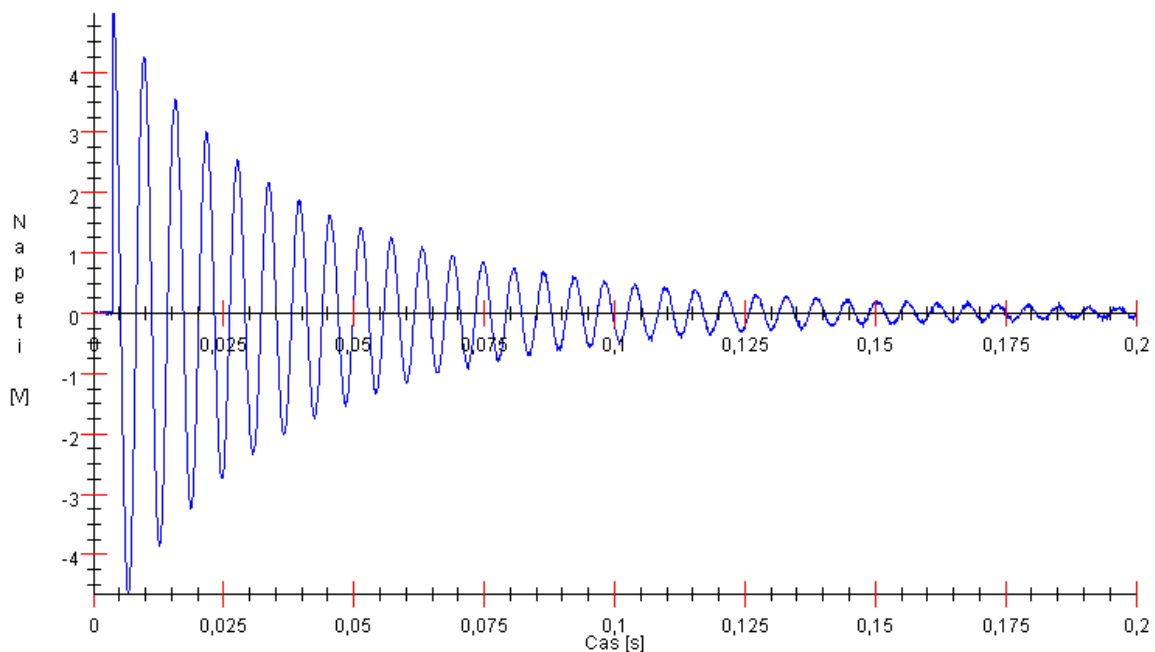
Pro tvorbu WWW stránky využívající služeb těchto serverů slouží sada JAVA appletů. Tyto applety tvoří balíček virtuallmeasureclient. S výjimkou několika samostatně fungujících appletů jsou všechny ostatní applety závislé na přítomnosti appletu connectionhub, který zajišťuje spojení se serverem a poskytuje jim funkce pro komunikaci

se serverem. Connectionhub dále umožňuje posílání událostí, kdy se jeden či několik appletů zaregistrují pro příjem události, kterou může jiný applet generovat. Tento mechanismus je používán hlavně pro předávání příkazů mezi tlačítky a řídicími applety. Dále connectionhub obsahuje 50 celočíselných slotů pomocí, kterých si mohou applety vyměňovat informace. [9]

V případě, že applet podporuje proměnný počet pinů či popisek. Má obvykle jeden parametr, který udává kolik pinů/popisek se má použít a následně několik parametrů sloužících pro nastavení pinu/popisky. V takovém případě tyto parametry obsahují číslo, které udává pro který pin/popisku parametr je. V popisu jednotlivých parametrů je tato část označena pomocí  $\langle X \rangle$ . Například pokud je parametr pojmenován jako `experiment_device_<X>` tak nastavení pro první pin bude uloženo v parametru `experiment_device_1` a nastavení pro druhý pin v parametru `experiment_device_2`. [9]

### 3.3.3.1 Popis appletu

Zde bude na praktickém příkladě ukázáno nastavení appletu pro graf s popisem jednotlivých parametrů.



*Obr. 3.10: Java applet představující graf v HTML stránce*

Graf, který je zobrazen na obrázku 3.10 přesně odpovídá parametrům, jejichž nastavení je vidět na obrázku 3.11.

```

<!-- Graf napeti -->
<applet codebase="/" archive="virtuallabmeasureclient.jar"           //hlavička tagu:
code=virtuallabmeasureclient.hub.modules.experimentgraph2.class //obsahuje umístění balíku appletů
width=760 height=430                                             //a defaultní velikost
    <param name=window_width value="750">                       //šířka appletu
    <param name=window_height value="300">                       //výška appletu
    <param name=hub_name value="hub">                             //jméno řídicího appletu connectionhub
    <param name=event_id value="2" >                             //zobrazit hodnoty při vzniku události č. 2
    <param name=reset_event value="1" >                         //vymazat graf při vzniku události č. 1
    <param name=storage_index value="2">                         //jméno úložiště dat odkud jsou data pro zobrazení čteny
    <param name=maximal_sample_count value="500000">           //maximální počet zobrazených bodů
    <param name=drop_sample_count_start value="1">             // vypuštění prvního bodu
    <param name=explicit_minimum_y value="-5">                 //minimum y-ové osy
    <param name=explicit_maximum_y value="5">                 //maximum y-ové osy
    <param name=explicit_minimum_x value="-1">                 //minimum x-ové osy
    <param name=explicit_maximum_x value="1">                 //maximum x-ové osy
    <param name=device_count value="1">                       //počet používaných pinů
    <param name=device_name_1 value="burst_0">                 //název používaného pinu
    <param name=s_min_1 value="34">                             //parametry pro přemapování naměřených hodnot
    <param name=s_max_1 value="4095">                         //z 12-bitového převodníku na explicitní hodnotu
    <param name=d_min_1 value="-5">                             //
    <param name=d_max_1 value="5">                             //
    <param name=color_1 value="0000ff">                       //barva křivky - RGB - zde je to tedy modrá
    <param name=fractional_digit_count_1 value="3">           //počet desetinných míst při práci s daty
    <param name=display_fractional_digit_count_x value="3">   //počet zobrazených desetinných míst
    <param name=axis_display_mode value="1">                   //zobrazit osy
    <param name=values_description value="N|a|p|e|t|i||[V]"> //popis y-ové osy
    <param name=time_description value="Cas [s]">             //popis x-ové osy
    <param name=step_x value="0.005">                         //malý krok na x-ové ose
    <param name=step_x_big value="0.025">                     //velký krok na x-ové ose
    <param name=step_y value="0.25">                         //malý krok na y-ové ose
    <param name=step_y_big value="1">                         //velký krok na y-ové ose
</applet>

```

Obr. 3.11: Nastavení parametrů Java appletu představující graf v HTML stránce

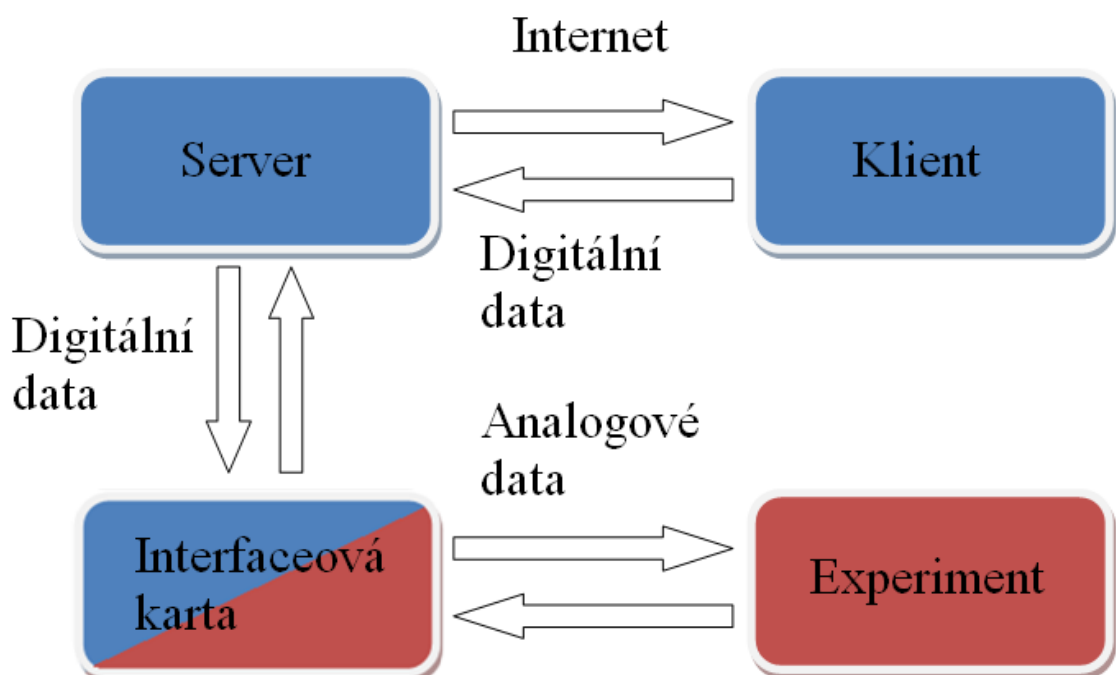
Každý applet obsahuje několik parametrů, přičemž se parametry dělí do 3 skupin. První skupina parametrů je povinná, bez nich nebude applet spuštěn a experiment, resp. Measure server, bude hlásit softwarovou chybu. Druhým typem jsou parametry tzv. povinné za určité situace, tedy například pokud nastavíme appletu *tlačítko* pin, kterému bude posílat hodnotu, je parametr hodnoty povinný. Takže pokud applet *tlačítko* nemá přiřazený pin, parametr hodnota nebude používat. Poslední skupinou jsou parametry nepovinné, kdy v případě jeho nevyplnění bude použito výchozí nastavení.

### 3.3.4 WEB server - NGINX

Tento program je odpovědný za vyřizování požadavků HTTP od klientů. Klient ve webovém prohlížeči zadá buď příslušnou IP adresu, nebo slovní jméno serveru a WEB server na klientovo vyžádání odešle sdílený obsah, webovou stránku. V našem případě byl nahrazen původní PinkNet pro nedostatečnou funkčnost programem NGINX. Jedná se o volně dostupný HTTP server, ale také proxy server, který se stará o přesměrování portů, případně, že klient nemá povolený nestandardní port Measure serveru, který komunikuje na portu 8899, dojde k přesměrování na standardní port 80, čímž nahrazuje také funkci http relay serveru, který je součástí ISES web control kitu právě pro tento účel.

## 4 VZDÁLENÝ EXPERIMENT

Jedná se o novou formu experimentu. Technicky, vzdálený experiment probíhá v místě odlišném od studenta. V důsledku toho se skládá ze dvou částí, jedna je experimentální hardware (se zkoumaným fenoménem), a druhým je software pro přenos pokynů od experimentátora k experimentu a pro přenos naměřených dat k experimentátorovi. Veškerá komunikace probíhá přes Internet pomocí webových služeb a odpovídajícího komunikačního rozhraní.



*Obr. 4.1: Schéma vzdáleného experimentu*

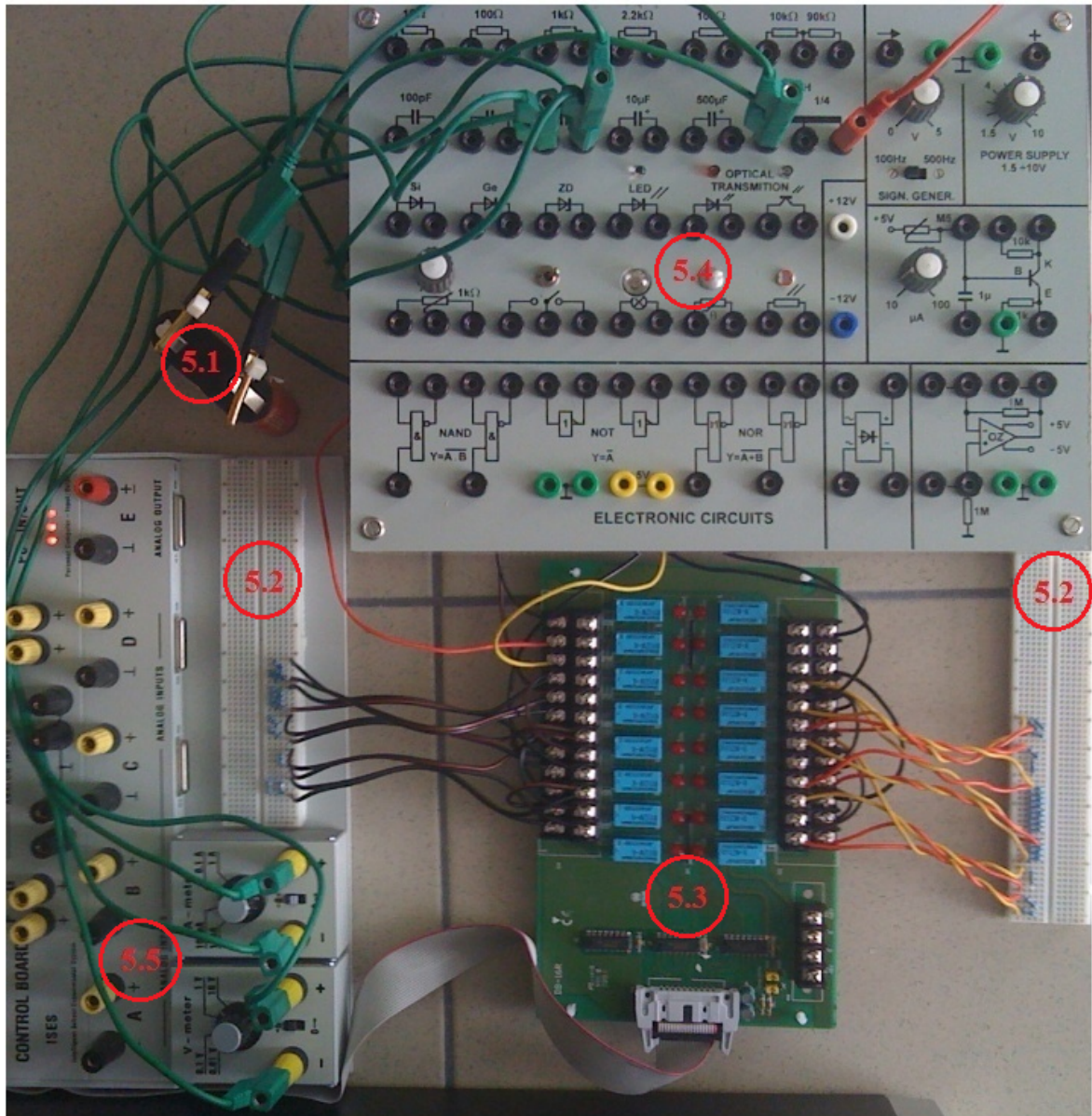
Tento fakt přináší velké výhody. Především jediné, co student pro měření potřebuje je pouze počítač s připojením na internet, což je v dnešní době naprostá samozřejmost. Dále se eliminuje možnost poškození drahého měřícího vybavení, způsobené chybou studenta, či dokonce zranění studenta, při práci s elektronickým zařízením.

Bohužel tento způsob experimentů není i přes všechny jeho výhody příliš rozšířený. Jedním z důvodů je bezpochyby komplikovanost řešení vzdáleného experimentu, kterou však plně řeší systém ISES, který poskytuje kompletní softwarovou i hardwarovou podporu pro vytvoření vzdáleného experimentu.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 REALIZACE EXPERIMENTU

V této kapitole bude popsán způsob, jakým byl experiment sestaven. Jsou rozebrány jednotlivé součásti aparatury a popsána jejich činnost. Experiment se skládá z několika částí: zdroje elektromotorického napětí 5.1, nepájivého kontaktního pole 5.2, reléové desky 5.3, soupravy s elektronickými prvky ISES 5.4 (s kapacitorem a induktorem), webkamery, zařízení systému ISES 5.5 (řídící panel, karta rozhraní a zásuvné moduly) a server.



Obr. 5.1: Sestavený experiment “Přechodové jevy v RLC obvodě“

### 5.1 Zdroj elektromotorického napětí

Pro tento experiment je nezbytné, aby byl v obvodu zapojen zdroj elektromotorického napětí, který nabíjí kapacitor v době, kdy je ke zdroji připojen. Původně byla použita 4,5V

baterie (s velmi malou životností), který byla nahrazena přístrojovým zdrojem stejnosměrného napětí 5V.

## 5.2 Nepájivé kontaktní pole

Na svorky relé na reléové desce jsou připojeny odpory. Jednotlivé kombinace odporů (Tab. 5.1, 5.2), které tvoří dané dekády, byly zasazeny do tohoto pole, které zpřehledňuje celé zapojení a v případě potřeby poskytuje možnost snadné výměny některého odporu.

Odpor [kΩ]	5 kΩ	10 kΩ	20 kΩ	40 kΩ	80 kΩ
0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0
10	0	1	0	0	0
30	0	1	1	0	0
50	0	1	0	1	0
70	0	1	1	1	0
90	0	1	0	0	1
110	0	1	1	0	1
130	0	1	0	1	1
140	0	0	1	1	1
150	0	1	1	1	1

Odpor [Ω]	10 Ω	20 Ω	40 Ω	80 Ω	150 Ω	300 Ω
0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0
30	1	1	0	0	0	0
40	0	0	1	0	0	0
50	1	0	1	0	0	0
70	1	1	1	0	0	0
100	0	1	0	1	0	0
150	1	1	1	1	0	0
300	1	1	1	1	1	0
500	1	1	1	1	1	1

Tab. 5.1, 5.2: Tabulky kombinací odporů pro sériovou a paralelní dekádu

## 5.3 Reléová deska

Tato deska se skládá z 16 dvoupolohových relé a je připojena přímo do karty rozhraní. První pět relé tvoří sériovou dekádu, dalších šest dekádu paralelní a jedno relé slouží k přepínání kapacitoru mezi zdrojem napětí a induktorem. Deska je ovládána programem Measure server, v němž bylo nezbytné naprogramovat ovládací soubor, který je popsán v kapitole 6.3.

## 5.4 Souprava s elektronickými prvky ISES

Tato souprava slouží v laboratořích pro demonstraci různých elektronických součástí. Nachází se zde například několik druhů diod, optoelektrické členy, indukory, kapacitory, logické členy, atd. Pro tento experiment byla použita induktor s indukčností 1H a kapacitor o kapacitě 1  $\mu$ F. Konsole byla použita pouze pro demonstrační účely. V budoucnu bude nahrazena běžným induktorem a kapacitorem.

## 5.5 ISES řídicí panel

ISES řídicí panel je zprostředkovatelem mezi měřícími členy ISESu (zásuvnými moduly) a kartou rozhraní na vyhodnocování dat z měření. Obě tyto zařízení jsou podrobně popsány v kapitole 3. Pro tento experiment potřebuje pouze odečet napětí a proudu, jsou tedy zapojeny pouze voltmetr (kanál A) a ampérmetr (kanál B).

## 5.6 Webkamera

Pokus je neustále snímán interaktivní webovou kamerou, kterou je možno podle potřeby nasměrovat a “zoomovat“, avšak momentálně je nastavena pouze pro statický záběr vzdáleného experimentu.

## 5.7 Karta rozhraní pro sběr a převod dat

Tato karta je zapojena do rozhraní PCI a obsahuje několik A/D a D/A 12-bitových převodníků, data naměřené analogovými moduly ISES jsou digitalizována a předána Measure serveru k dalšímu zpracování. Tato karta také umožňuje řízení analogových zařízení, jako jsou například relé na reléové desce.

## 5.8 Server

Celý pokus je nyní provozován na nepřetržitě běžícím fyzickém stroji s veřejnou IP (<http://www.remotelab2.fai.utb.cz>) adresou, ke kterému je připojena jak webkamera, tak ISES řídicí panel pro odečet a sběr dat. Potřebný software zprostředkovává obsah do internetu.

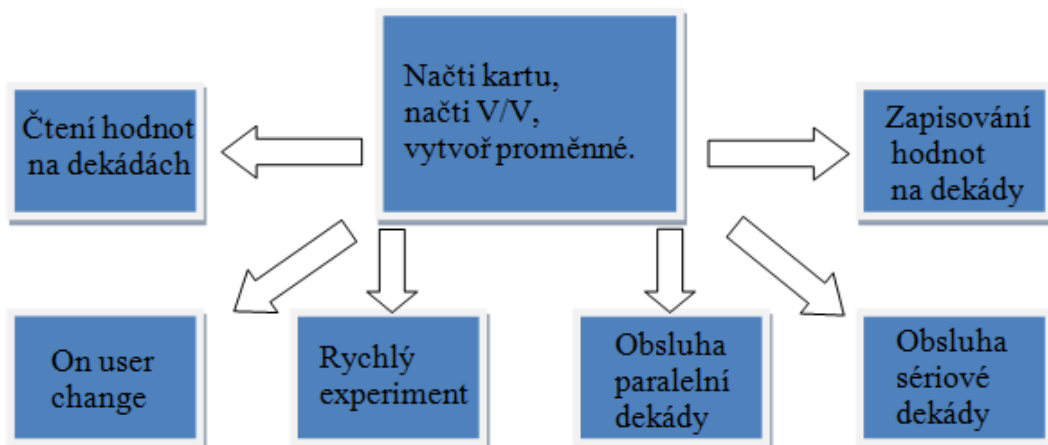
## 6 ŘÍDÍCÍ SOUBOR MEASURE SERVERU

Soubor s příponou `.psc` obsahuje kompletní logiku, podle níž experiment pracuje. Zde se také zavádí jednotlivé zařízení – piny, které jsou přiřazeny Java appletů. Tento soubor bylo zapotřebí naprogramovat v programovacím jazyku podobnému C. V této kapitole bude popsán způsob, jakým soubor pracuje a to za pomoci několika vývojových diagramů.

### 6.1 Inicializační blok

Úvodní část program. Program nejdříve načte kartu rozhraní v počítači, následně nainicializuje fyzické vstupy a výstupy, které budou používány a vytvoří pomocné proměnné pro práci s daty.

Po skončení úvodního bloku, se program rozdělí na několik paralelně fungujících částí, které budou popsány dále.

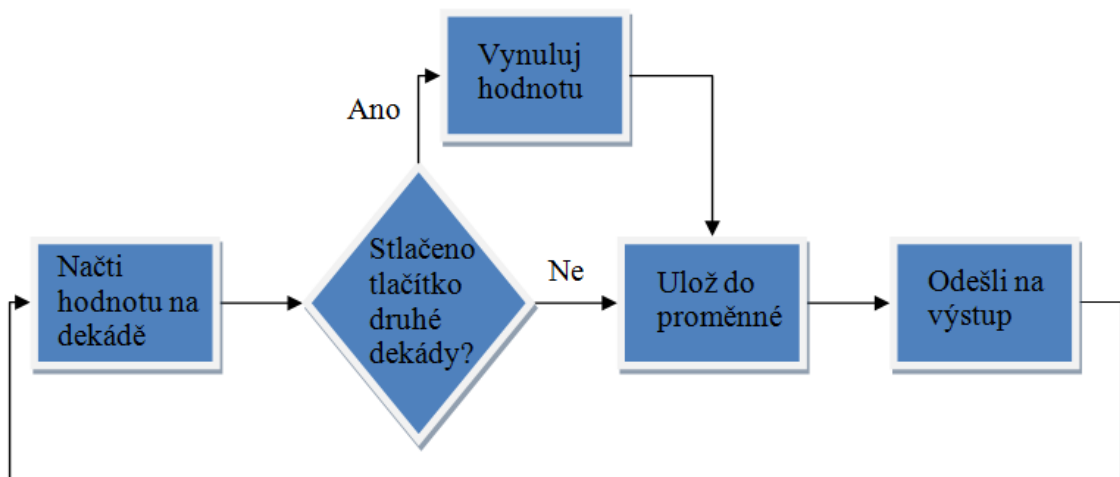


Obr. 6.1: Schéma inicializačního bloku

### 6.2 Blok pro čtení a zápis hodnot na dekády

Pro každou dekádu je vytvořena pomocná proměnná, do níž se ukládá aktuální hodnota na dekádě. Pro každou proměnnou existují dva cykly, přičemž v jednom dochází k periodickému čtení aktuální hodnoty a ve druhém cyklu k zapisování aktuální hodnoty na dekádě. Tyto proměnné jsou dále použity pro applet, který zobrazuje aktuální hodnotu na dekádě v HTML stránce experimentu.

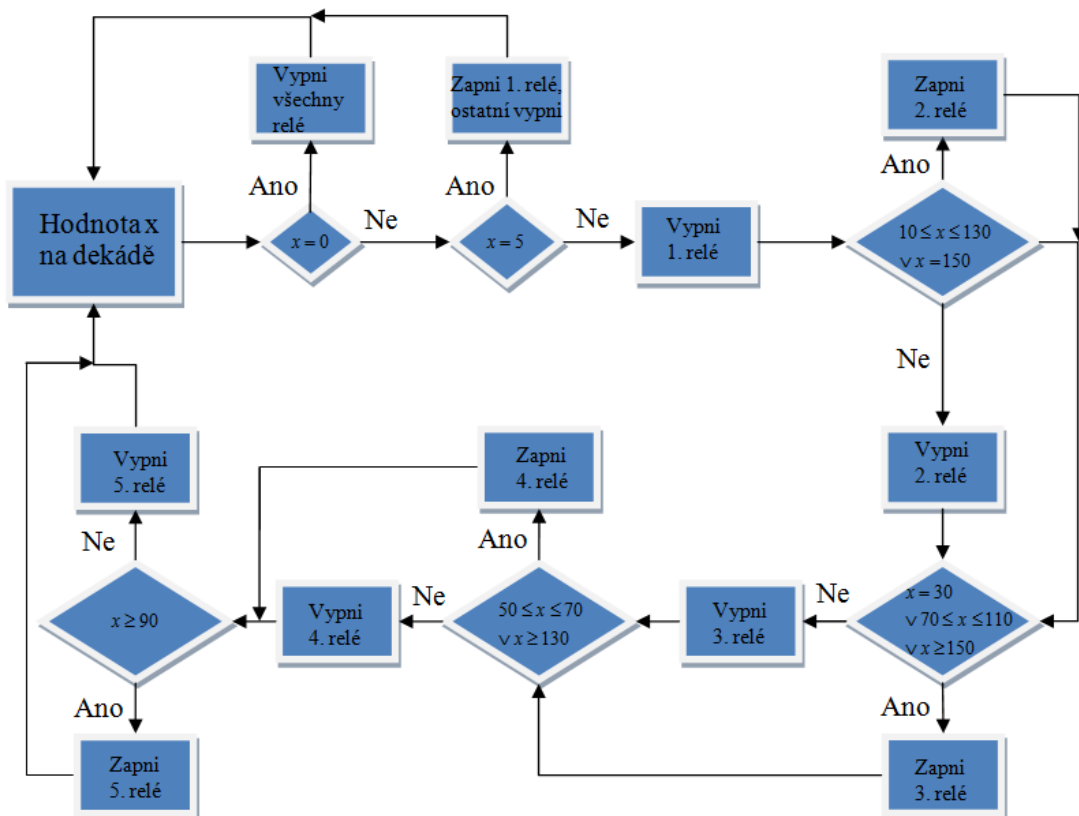
Navíc v této části programu dochází ke kontrole vzájemných hodnot na dekádách. Tedy je-li zmáčknuto tlačítko pro jednu dekádu, druhá se automaticky vynuluje, resp. sériová dekáda se nuluje a paralelní se rozpojí a vznikne tedy nekonečně velký paralelní odpor.



Obr. 6.2: Schéma bloku pro čtení a zápis na dekády

### 6.3 Blok obsluhy jednotlivých dekád

Obsluha každé dekády probíhá v nekonečném cyklu stejně jako ostatní části programu. V cyklu se vyhodnotí hodnota pomocné proměnné, která obsahuje hodnotu na dekádě (proměnná je podrobně popsána v předchozí kapitole).



Obr. 6.3: Schéma bloku pro obsluhu sériové dekády

Podle hodnoty proměnné se zapnou/ vypnou relé na reléové desce, k nimž jsou připojeny rezistory. Jak vyplívá ze schématu (Obr 6.3), celý cyklus se skládá z několika rozhodovacích funkcí. Na každé relé je připojen rezistor a jejich vzájemným skládáním se získá požadovaný odpor. Výhodou toho zapojení je, že pro rozmezí odporů od  $0\Omega$  do  $150\Omega$  s krokem po  $5\Omega$  nám stačí pouze pět relé. Kombinování rezistorů je řešeno v kapitole 5.2.

#### 6.4 Blok Rychlý experiment

Tento blok představuje krátkodobý experiment, jehož maximální délka může být až 10s a jedná se o jednu velkých výhod Scritable pluginu. Umožňuje provést krátké měření s vzorkovací frekvencí až 10 000Hz, která je nezbytná pro naměření rychlý dějů jako jsou například přechodové jevy v RLC obvodu nebo experiment na volný pád.

Struktura tohoto bloku je velice jednoduchá. Blok získá od appletu na HTML stránce parametry měření – délka experimentu, maximální počet vzorků, apod. Při zmáčknutí příslušného tlačítka se vygeneruje událost, která spustí rychlý experiment.

Samotný rychlý experiment se skládá ze tří částí:

- Inicializační blok - zde se přepne relé, které připojí kapacitor k induktoru.
- Blok on\_sample – v tomto bloku dochází k samotnému měření. Přečte se hodnota na analogovém vstupu (voltmetr, ampérmetr) a uloží se. Zde je možné provádět operace s právě naměřenými vzorky, jako je sčítání, násobení apod.
- Ukončovací blok – zde se přepne relé do původní polohy a kapacitor se opět začne nabíjet.

#### 6.5 Blok On user change

Jedná se o jeden krátký cyklus, který kontroluje, zda je uživatel stále připojen. V případě, že ano, cyklus neprovede žádnou změnu a celý program funguje dál. Pokud se ovšem uživatel odpojí, program to zaregistruje a převede celý experiment, včetně všech proměnných, do výchozího nastavení a připraví experiment pro dalšího uživatele.

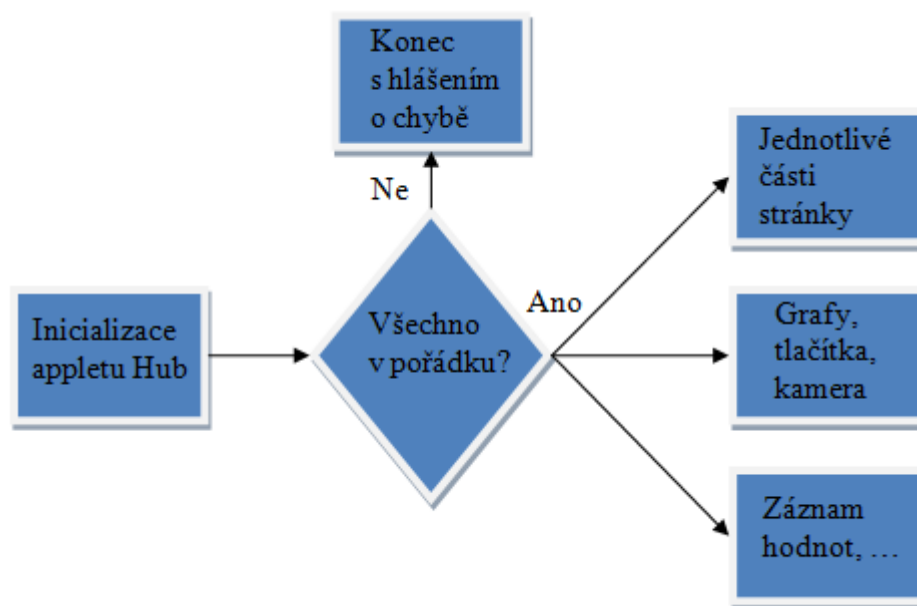
## 7 HTML STRÁNKY

Tato kapitola rozebere hlavní principy, podle kterých stránka, pro ovládání experimentu, pracuje. Kompletní zdrojový kód stránky, ve kterém jsou jednotlivé části stránky okomentovány, se nalézá v příloze.

Jak už bylo řečeno v teoretické části, stránka se vytváří pomocí Java appletů, které jsou součástí sady ISES control web. K sestavení stránky stačí základná znalosti programovacího jazyku HTML, popř. znalost CSS kaskádových stylů.

### 7.1 Inicializace stránky

Hlavním appletem, který koordinuje činnost ostatních appletů je *HUB* (Obr. 7.1). Při startu stránky, provede kontrolu jednotlivých částí, a v případě poruchy spojení, chyby v Measure serveru apod. ukončí načítání jednotlivých appletů a ohlásí chybu. V případě úspěšné inicializace applet *HUB* povolí práci ostatním appletům.

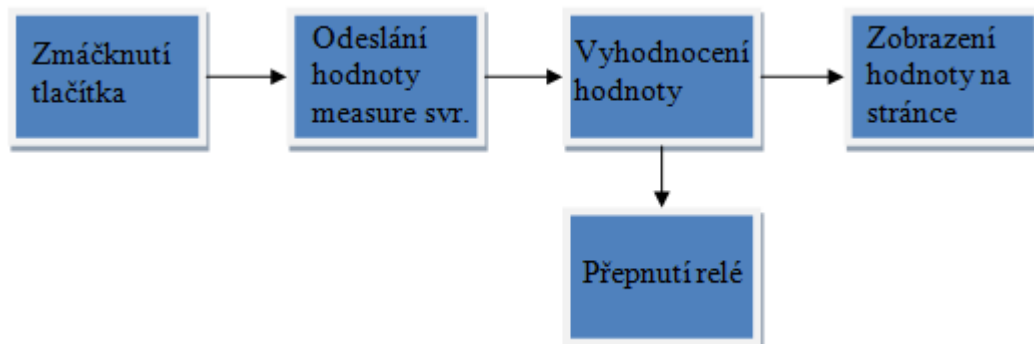


Obr. 7.1: Schéma inicializace HTML stránky

### 7.2 Tlačítka pro ovládání dekád

Dále budou rozebrány jednotlivé části stránky. Funkce tlačítek pro nastavení hodnoty odporu na dekádách (Obr. 7.2) probíhá v jednoduchém cyklu. Při stlačení tlačítka je hodnota přiřazena tlačítku, odeslána Measure serveru, který provede její vyhodnocení, tedy

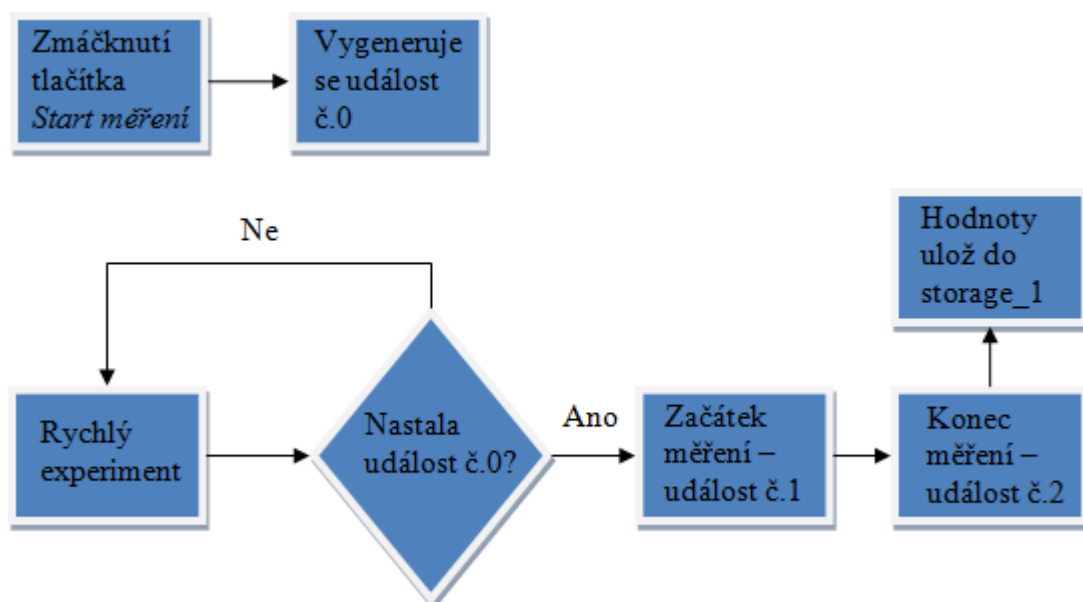
podle potřeby zapne/ vypne relé a odešle hodnotu appletu, pro zobrazení aktuální hodnoty na stránce.



Obr. 7.2: Schéma ovládání dekády

### 7.3 Rychlý experiment

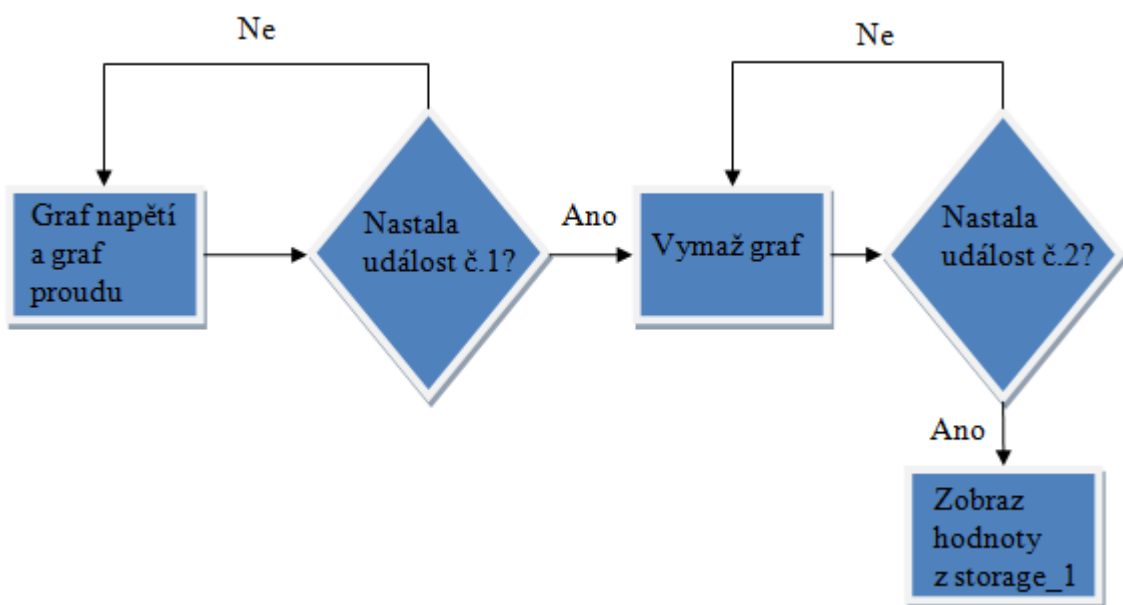
Dalším důležitým aspektem stránky je applet *rychlý experiment* (Obr. 7.3), který se stará o správné naměření dat. Při zmáčknutí tlačítka *Start měření*, se vygeneruje událost č. 0. Na tuto událost čeká applet *rychlý experiment* a při jejím vzniku applet začne pracovat. Před měřením vygeneruje událost č. 1, proběhne měření a po jeho ukončení vygeneruje událost č. 2. Všechny naměřené data jsou uloženy do úložiště `storage_1` a data jsou připravena pro další použití.



Obr. 7.3: Schéma funkce appletu *rychlý experiment*

## 7.4 Zobrazení naměřených hodnot

Další důležitou částí stránky, jsou applety pro zobrazení naměřených hodnot do grafu (Obr. 7.4). Tento applet čeká, dokud nebude vygenerována událost č. 1 - start měření. Po jejím vzniku se graf vymaže a je připraven pro nová data. Applet dále čeká na vygenerování události č. 2 – konec měření, což znamená, že v úložišti storage\_1 jsou připraveny nové data. Data z úložiště se zobrazí do grafu a také jsou aktivovány tlačítka pro export dat, která umožňují naměřená data zobrazit v tabulce a tím je uživateli předat k dalším možným úpravám.



Obr. 7.4: Schéma funkce appletu graf

## 7.5 Obraz experimentu

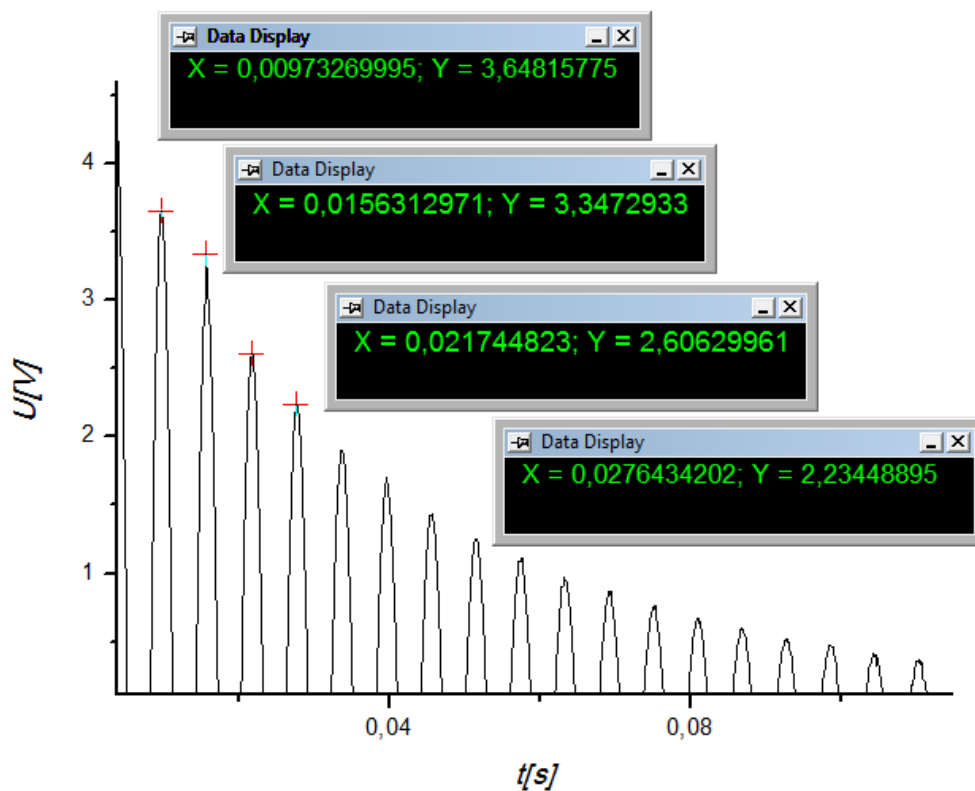
Poslední důležitou částí stránky je zobrazení obrazu. Tedy webkamera namířená na experiment periodicky každou sekundu snímá obraz experimentu. Původně byl obraz zobrazován pomocí dalšího appletu. Bohužel tento applet nepracoval příliš efektivně a odezva mezi sejmutím obrazu a jeho zobrazení byla okolo 5-10 sekund. Proto byl tento applet vyměněn za jednoduchý skript, který funkci appletu plně nahrazuje a nyní je obraz zobrazen s odezvou menší jak 1 sekunda.

## 8 CHARAKTERIZACE OBVODU

Poslední kapitola této práce bude zaměřena na ukázkové měření, tedy ověří, zda experiment funguje a měří správně a zda pomocí naměřených dat lze získat parametry RLC obvodu. K samotnému výpočtu parametrů budou použity vztahy z kapitoly 2.2.1.

### 8.1 Určení vlastní frekvence obvodu

Frekvenci vlastních kmitů RLC obvodu určíme pomocí systému ISES odečtením času periody  $T$  z grafu závislosti napětí na čase v oblasti maxim a jejího převodu na frekvenci  $f$ .



Obr. 8.1: Odečtení periody

$k$	1	2	3	4
$t_k [s]$	0,0097327	0,0156313	0,0217448	0,0276434
$(t_k - t_{k-1}) [s]$	0,005899	0,006114	0,005899	
$\bar{T} [s]$	0,00597			
$\bar{f} [Hz]$	167,4976			

Tab. 8.1: Výpočet frekvence obvodu

### 8.2 Koeficient útlumu

Nejdůležitějším vztahem v této kapitole, bude rovnice č. 11, kterou můžeme upravit následovně:

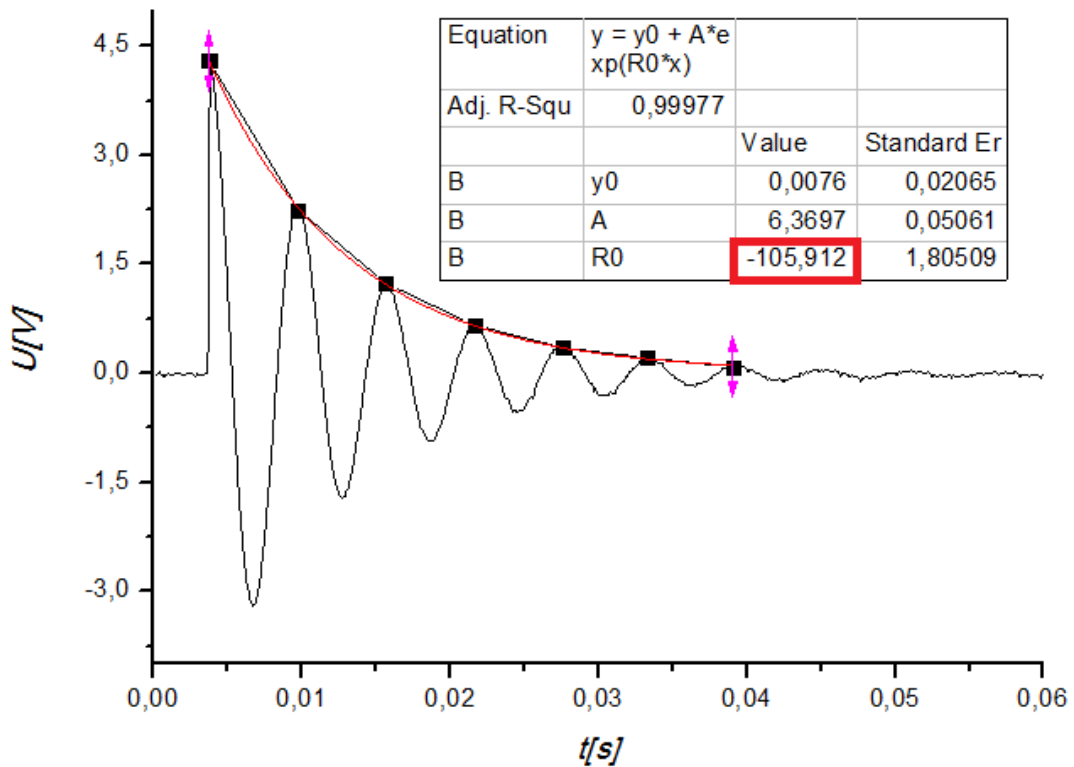
V případě, že  $R_{2D} = \infty$  :

$$b = \left( \frac{1}{2R_c C} + \frac{R_L}{2L} \right) + \frac{1}{2L} R_{1D} \tag{18}$$

V případě, že  $R_{1D} = 0$  :

$$b = \left( \frac{1}{2R_c C} + \frac{R_L}{2L} \right) + \frac{1}{2C} \frac{1}{R_{2D}} \tag{19}$$

Budeme vycházet z rovnice č. 14 pro závislost napětí na čase a graf naměřeného napětí proložíme ve zvolených bodech exponenciální aproximací prováděnou v prostředí Origin (nebo sw. ISES) tak, abychom dostali koeficient útlumu  $b$ .



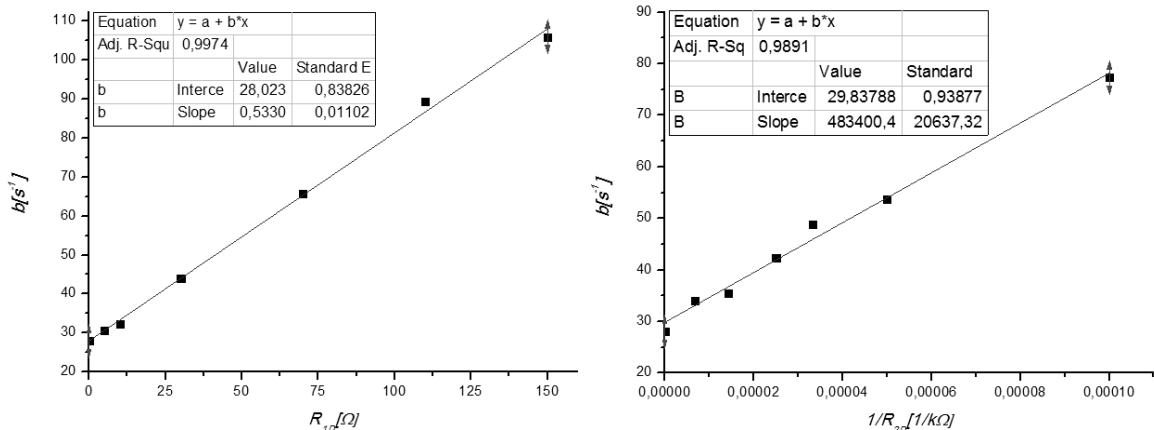
Obr. 8.2: Odečtení koeficientu útlumu

Provedeme obdobné měření pro několik velikostí odporů na obou dekádách, a to jak změnou hodnoty odporu na sériové dekádě, tak i na paralelní dekádě. V tomto případě bylo provedeno sedm měření pro každou dekádu.

$R_{1D} [\Omega]$	0	5	10	30	70	110	150
$b [s^{-1}]$	28,022	30,657	32,324	44,087	65,789	89,277	105,912
$R_{2D} [k\Omega]$	$\infty$	150	70	40	30	20	10
$b [s^{-1}]$	28,022	33,946	35,480	42,268	48,849	53,785	77,362

Tab. 8.2: Odečtení hodnot koeficientů útlumu z aproximací

Jak je patrné z tabulky, hodnota koeficientu útlumu je přímo úměrná velikosti sériového odporu a nepřímo úměrná paralelnímu odporu a je patrný lineární růst. Nyní získané hodnoty promítneme do grafu a provedeme lineární aproximaci, součinitele útlum  $b$  a pomocí rovnic (18) a (19) vypočítat všechny parametry obvodu.



Obr. 8.3: Lineární aproximace koeficientu útlumu pro obě dekády

V případě, že  $R_{2D} = \infty$  :

$$b = 28,023 + 0,533 R_{D1} \quad (20)$$

V případě, že  $R_{1D} = 0$  :

$$b = 29,838 + 483400,446 \frac{1}{R_{D2}} \quad (21)$$

### 8.3 Výpočet parametrů obvodu

Po získání rovnic pro koeficient útlumu na sériové a paralelní dekádě je nyní zapotřebí pomocí rovnic (18),(20) a (19), (21) a vypočítat parametry obvodu. Nejdříve vypočítáme indukčnost induktoru L a kapacitu kapacitoru C.

Tedy pro indukčnost induktoru L platí z rovnice (18) :

$$0,533 = \frac{1}{2L}$$

$$L = 0,938H$$

Pro kapacitu kapacitoru C platí z rovnice (19):

$$483400 = \frac{1}{2C}$$

$$C = 1,034 \cdot 10^{-6} F = 1,034 \mu F$$

Nyní je zapotřebí spočítat parazitní odpor kapacitoru označení a induktoru označení. Položíme průměr absolutních členů rovnic koeficientu útlumu roven absolutnímu členu rovnice (18) resp. (19). Tedy:

$$28,931 = \frac{1}{2R_c C} + \frac{R_L}{2L}$$

Získáváme jednu rovnici o dvou neznámých, takže výpočet odporů není možný, bez znalosti jednoho z odporů. Proto byl odpor induktoru proměřen nezávisle a byl zjištěn odpor  $R_L=15,51\Omega$ . Nyní je možné spočítat parazitní odpor kapacitoru:

$$28,931 = \frac{1}{2R_c C} + \frac{R_L}{2L}$$

$$R_c = \frac{1}{2C \left( 28,931 - \frac{R_L}{2L} \right)}$$

$$R_c = 23394,58\Omega \cong 23,4k\Omega$$

## ZÁVĚR

Hlavní myšlenkou této bakalářské práce bylo ukázat, jak je možné převést běžný reálný laboratorní experiment na vzdálený experiment šířený po internetu. Přesto, že převod experimentu s sebou přináší řadu úskalí při jeho realizaci, jako je například nutnost vytvoření řídicího programu, či vytvoření internetové stránky, která slouží jako grafické ovládací rozhraní pro uživatele, tak výhody jsou převládající. Mezi největší určitě patří dostupnost experimentu v podstatě pro kohokoliv, vzhledem k tomu, že v dnešní době je počítač s přístupem na internet naprosto běžnou věcí. Dále se eliminuje možnost chyby způsobené lidským faktorem, tedy možnost poškozením velice drahého vybavení, které je mnohdy pro realizaci experimentu použito, špatnou obsluhou experimentu. Řešení laboratoří právě metodou vzdálených experimentů je jednoznačně správná cesta, kterou by se měli laboratoře pro vyučovací účely v budoucnu ubírat.

Samotná obsahová část tohoto experimentu, se zaměřuje na RLC obvod a jeho charakterizaci. Teoretická část bakalářské práce seznamuje čtenáře s průkopníky fyziky, kteří se velkou mírou zasloužili o objevení přechodových jevů a jejich praktické použití. Dále se teoretická část zabývá základními pojmy, které jsou nezbytné pro pochopení celé úlohy a hlavně řeší způsoby, kterými je možno vzdálený experiment realizovat. Je zde popsána jak hardwarová, tak i softwarová podpora vzdáleného experiment systému ISES.

V praktické části bakalářské práce, jsou vyzdviženy hlavní aspekty, které sebou realizace experimentu přináší. Nalézá se zde podrobný popis logiky, podle které experiment pracuje. Poslední kapitola je zaměřena na ukázkové měření, které by mělo být náplní práce studenta, při měření této laboratorní úlohy. Povedlo se mi splnit všechny cíle práce a celý experiment je plně funkční a volně přístupný z internetu na adrese <http://www.remotelab2.fai.utb.cz>.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The main idea of this bachelor thesis was to show the methodology, how it was possible to transform the real laboratory experiment to the remote experiment delivered across the Internet. Despite the transformation of every experiment is fraught with many difficulties in its implementation, such as the need of a control program or a Web page that serves as a graphical user's interface for the experiment control, the advantages are undeniable. The biggest is that the experiments are available globally to anyone, because today is a computer with internet access belongs to a standard. Furthermore, the remote experiment eliminates the human error, the possibility of the damage to very expensive equipment by an ill apparatus handling. Remote e-laboratories are definitely the proper solution and it is a prevailing opinion, they are the teaching laboratories of future.

This thesis uses for the verification the RLC circuit and its characterization. Theoretical part introduces to the first physicists who contributed to a large degree to the discovery of transient phenomena and their practical applications. Then, the theoretical part deals with basic concepts that are necessary for the understanding the whole experimental part of the thesis, but mainly addresses the ways in which it is possible to carry out remote experiments. It describes both the hardware and software support for remote experiment by the system ISES.

In the practical parts of the thesis are emphasized the main aspects, which brings the remote experiment itself. It brings the detailed description of the logics under which the experiment is working. The last chapter gives the results of the measurements, which should be the assignment of a student in the laboratory exercise. I managed to fulfill all items of the goals and the experiment is fully functional, freely accessible from the Internet on the url address <http://www.remotelab2.fai.utb.cz>.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SAVARY, Felix . *Memoirs sur l'Aimentation*. Paris : Annales de Chimie et de Physique , 1827. 32 s.
- [2] BLANCHARD, Julian. *The History of Electrical Resonance*. Michigan : Bell System Technical Journal, 1941. 18 s.
- [3] KIMBALL, Arthur. *A College Text-book of Physics, 2nd Ed.*. New York : Henry Hold and Co., 1917. 2 s.
- [4] HUURDEMAN, Anton . *The worldwide history of telecommunications*. USA : Wiley-IEEE Press, 2003. 660 s.
- [5] REICHL, Jaroslav . *Stránky J. Reichla* [online]. 2006 [cit. 2011-05-22]. RLC obvody. Dostupné z WWW: <[http://www.jreichl.com/fyzika/vyuka/texty/rlc\\_obvody.pdf](http://www.jreichl.com/fyzika/vyuka/texty/rlc_obvody.pdf)>.
- [6] Rezistor. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 14. 5. 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Rezistor>>.
- [7] *Katedra fyziky PřF OU* [online]. 2007 [cit. 2011-05-22]. Tlumené kmity v RLC obvodu. Dostupné z WWW: <<http://artemis.osu.cz/Fyzp2/06%20Tlumen%C3%A9%20kmity%20v%20RLC%20obvodu.pdf>>.
- [8] *FAI UTB MOODLE* [online]. 2009 [cit. 2011-05-22]. Elektřina, magnetismus a kmity, vlny. Dostupné z WWW: <[http://vyuka.fai.utb.cz/file.php?file=%2F246%2FULOHA\\_10-PRECHODOVE\\_JEVY\\_RLC%2FULOHA\\_10.pdf](http://vyuka.fai.utb.cz/file.php?file=%2F246%2FULOHA_10-PRECHODOVE_JEVY_RLC%2FULOHA_10.pdf)>.
- [9] LUSTIG, František. *Dokumentace k VirtualLab*. Praha : -, 2007. 55 s.
- [10] RLC circuit#cite ref-23. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, last modified on 20 May 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/RLC\\_circuit#cite\\_ref-23](http://en.wikipedia.org/wiki/RLC_circuit#cite_ref-23)>.
- [11] SEDLÁK, Bedřich; ŠTOLL, Ivan. *Elektřina a magnetismus*. Praha : Academia a Karlova Univerzita, 1993. 600s.
- [12] GERSHENFELD, Neil. *The Physics of Information Technology*. Cambridge : Cambridge, 2000. 370 s.
- [13] HELMAR, Frank. *Fyzika a technika polovodičů*. Praha : SNTL, 1990. 283 s.
- [14] FRASER, D. A. *The Physicks of Semiconductor Devices*. Oxford : Oxford University Press, 1979. 132 s.
- [15] MAYER, Daniel. *Analýza elektrických obvodů maticovým počtem*. Praha : Academia Praha, 1966. 338 s.
- [16] LUSTIG, František. *Hardware and software system* [online]. 2007 [cit. 2011-05-22]. Intelligent School Experimenta. Lustig. Dostupné z WWW: <[http://www.ises.info/default\\_a.htm](http://www.ises.info/default_a.htm)>.
- [17] LUSTIG, František. ISES [online]. 7. 10. 2009 [cit. 2011-05-30]. Internet School Experimental System - iSES. Dostupné z WWW: <<http://www.ises.info/index.php/en/systemises/hardware>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ISES	Internet School Experimental System
RLC	Oscilační elektrický obvod složený z rezistoru $R$ , induktoru $L$ a kapacitoru $C$
$R$	Elektrický odpor
$L$	Indukčnost induktoru
$C$	Kapacita kapacitoru
$u(t)$	Elektromotorické napětí
$i(t)$	Elektrický proud
$b$	Koeficient útlumu
$\varphi$	Fázový rozdíl
$\omega$	Úhlová frekvence
$f$	Frekvence
$W$	Energie
IP	Internetový protokol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol Secure
HTML	Hypertext Markup Language

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1.1: Leydenská sklenice.....	12
Obr. 2.1: Rezistor.....	13
Obr. 2.2: Reálný induktor .....	13
Obr. 2.3: Reálný kapacitor.....	14
Obr. 2.4: Sériový RLC obvod.....	14
Obr. 2.5: RLC obvod v experimentu .....	15
Obr. 2.6: Náhradní schéma RLC obvod .....	16
Obr. 2.7: Přeměna energie v RLC obvodu.....	17
Obr. 2.8: Přeměna energie v ideálním LC obvodu bez ztrát.....	18
Obr. 3.1: Využití systému ISES v laboratořích .....	19
Obr. 3.2: ISES řídicí panel.....	20
Obr. 3.3: Interfaceová karta .....	21
Obr. 3.4: ISES moduly.....	21
Obr. 3.5: Softwarové prostředí ISES pro zobrazení a zpracování naměřených dat.....	22
Obr. 3.6: Záběr fyzikálního hw z web kamery .....	23
Obr. 3.7: Konfigurační dialog.....	24
Obr. 3.8: Measure server.....	25
Obr. 3.9: Konfigurační dialog.....	27
Obr. 3.10: Java applet představující graf v HTML stránce .....	28
Obr. 3.11: Nastavení parametrů Java appletu představující graf v HTML stránce .....	29
Obr. 4.1: Schéma vzdáleného experimentu .....	30
Obr. 5.1: Sestavený experiment“ Přechodové jevy v RLC obvodě“ .....	32
Obr. 6.1: Schéma inicializačního bloku.....	35
Obr. 6.2: Schéma bloku pro čtení a zápis na dekády.....	36
Obr. 6.3: Schéma bloku pro obsluhu sériové dekády .....	36
Obr. 7.1: Schéma inicializace HTML stránky .....	38
Obr. 7.2: Schéma ovládání dekády .....	39
Obr. 7.3: Schéma funkce appletu rychlý experiment.....	39
Obr. 7.4: Schéma funkce appletu graf .....	40
Obr. 8.1: Odečtení periody .....	41
Obr. 8.2: Odečtení koeficientu útlumu .....	42
Obr. 8.3: Lineární aproximace koeficientu útlumu pro obě dekády.....	43

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 5.1: Tabulky kombinací odporů pro sériovou dekádu.....	31
Tab. 5.2: Tabulky kombinací odporů pro paralelní dekádu.....	31
Tab. 8.1: Výpočet frekvence obvodu.....	40
Tab. 8.2: Odečtení hodnot koeficientů útlumu z aproximací.....	41

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI. Zdrojový kód řídicího souboru

Příloha PII. CD disk obsahující:

- Zdrojový kód HTML stránky pro řízení experimentu

## PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD ŘÍDÍCÍ SOUBOR

```
# Inicializační část programu.
# Verze skriptovacího jazyka.
version 1.0

# Název skriptu. Tato položka se použije jako název pluginu v MeasureServeru.
name rlc

# Reference na HW plugin, který se bude používat pro vstup a výstup.
using card_lib "C:\VirtualLab\bin\plugins\PCI1202CardPlugin.ldp" card_config_1

# Importování pinu, do kterého budeme zapisovat výstup.
import se_5 card_lib "Write D 1B9"
import se_10 card_lib "Write D 1B10"
import se_20 card_lib "Write D 1B11"
import se_40 card_lib "Write D 1B12"
import se_80 card_lib "Write D 1B13"
import spinac card_lib "Write D 1B15"
import par_10 card_lib "Write D 1B1"
import par_20 card_lib "Write D 1B2"
import par_40 card_lib "Write D 1B3"
import par_80 card_lib "Write D 1B4"
import par_150 card_lib "Write D 1B5"
import par_200 card_lib "Write D 1B6"
import par_inf card_lib "Write D 1B7"

# Importování pinu, ze kterého budeme číst naměřené hodnoty.
import vstup_1 card_lib "Read A/D 1"
import vstup_2 card_lib "Read A/D 2"

# Proměnná použita pro zastavení generování, když není komunikace s klientem.
variable watchdog_counter = 0.0
```

# Inicializace proměnných použitých v programu.

variable temp = 1.0

variable temp2 = 0

variable temp3 = 0

variable stav = 0

variable se\_tmp = 0

variable par\_tmp = 0

variable vardelay = 0

# Vzhledem ke skutečnosti, že tento skriptovací jazyk nezná syntaxi "==", bylo  
# efektivnější využít několik pomocných proměnných pro přepínání relé, což ve  
# výsledku přispělo k mnohem větší přehlednosti než při použití syntaxe "if else"

variable se\_t\_5 = 0

variable se\_t\_10 = 0

variable se\_t\_20 = 0

variable se\_t\_40 = 0

variable se\_t\_80 = 0

variable par\_t\_10 = 0

variable par\_t\_20 = 0

variable par\_t\_40 = 0

variable par\_t\_80 = 0

variable par\_t\_150 = 0

variable par\_t\_200 = 0

```
# -----  
# Následující funkce je volána každou sekundu.  
on_each_second {  
  
# Při provedení změny odporu nebo po zmáčknutí tlačítka "Start měření"  
# není možné další 2s tlačítko znovu zmáčknout proto, aby mel program  
# dostatek času na zpracování a zobrazení naměřených dat.  
if( vardelay >= 1) {  
    vardelay = 1;  
}  
else {  
    if( vardelay >= 0 ) {  
        vardelay = -1;  
    }  
    else {  
        vardelay = 1;  
    }  
}  
  
# Odpočet času do zastavení generování pokud už toto nebylo zastaveno.  
if ( watchdog_counter > 0.0 ) {  
    watchdog_counter = watchdog_counter - 1 ;  
}  
}
```

```

# -----
# Pin pro hodnotu zpoždění.
pin_read delay {
    result = vardelay;
}

# Piny pro zjištění aktuálních hodnot na dekádách.
pin_read serie {
    result = se_tmp;
}
pin_read paralela {
    result = par_tmp;
}

# -----
# Zápis hodnot na dekády včetně ošetření zpoždění tlačítka "Start měření"
# dále obě funkce obsahují ošetření pro vynulování nebo rozpojení dekády
# v případě, že je použita druhá dekáda.
pin_write seriový_odpor {

if (temp2 > new_value) {
    vardelay = 0;
}
else {
    if (temp2 < new_value) {
        vardelay = 0;
    }
}

se_tmp = new_value ;
temp2 = se_tmp;

if ( se_tmp > -1 ) {

```

```
    par_tmp = 0 ;
    par_inf = 0;
  }

}

pin_write paralelni_odpor {

if (temp3 > new_value) {
  vardelay = 0;
  }
else {
  if (temp3 < new_value) {
    vardelay = 0;
    }
  }

  par_tmp = new_value ;
  temp3 = se_tmp;

if ( par_tmp > 0 ) {
  par_inf = 1;
  se_tmp = 0 ;
  }
}
```

```

# -----
# Blok, který se stara o správné přepínání relé pro sériovou dekádu.
pin_read seriova_dekada {

se_t_5 = 0;
se_t_10 = 0 ;
se_t_20 = 0 ;
se_t_40 = 0 ;
se_t_80 = 0 ;

# sériový odpor 5 Ω
if ( se_tmp > 0 ) {
    if ( se_tmp <= 5 ){
        se_5 = 1 ;
        se_t_5 = 1;
    }
}

if ( se_t_5 < 1 ) {
    se_5 = 0 ;
}

# sériový odpor 10 Ω
if ( se_tmp > 5 ) {
    if ( se_tmp < 135 ) {
        ser_10 = 1 ;
        se_t_10 = 1;
    }
    if ( se_tmp > 145 ) {
        se_10 = 1 ;
        se_t_10 = 1;
    }
}
}

```

```
if ( se_t_10 < 1 ) {  
    se_10 = 0 ;  
}  
  
# sériový odpor 20 Ω  
if ( se_tmp > 0 ) {  
    if ( se_tmp > 135 ) {  
        se_20 = 1 ;  
        se_t_20 = 1 ;  
    }  
    if ( se_tmp > 10 ) {  
        if ( se_tmp < 35 ) {  
            se_20 = 1 ;  
            se_t_20 = 1 ;  
        }  
    }  
    if ( se_tmp > 60 ) {  
        if ( se_tmp < 75 ) {  
            se_20 = 1 ;  
            se_t_20 = 1 ;  
        }  
    }  
    if ( se_tmp > 100 ) {  
        if ( se_tmp < 115 ) {  
            se_20 = 1 ;  
            se_t_20 = 1 ;  
        }  
    }  
}  
  
if ( se_t_20 < 1 ) {  
    se_20 = 0 ;  
}
```

```
}
```

```
# sériový odpor 40 Ω
```

```
if ( se_tmp > 0 ) {  
  if ( se_tmp > 40 ) {  
    if ( se_tmp < 75 ) {  
      se_40 = 1 ;  
      se_t_40 = 1;  
    }  
  }  
  if ( se_tmp > 115 ) {  
    se_40 = 1 ;  
    se_t_40 = 1;  
  }  
}
```

```
if ( se_t_40 < 1 ) {  
  se_40 = 0 ;  
}
```

```
# sériový odpor 80 Ω
```

```
if ( se_tmp > 0 ) {  
  if ( se_tmp > 75 ) {  
    se_80 = 1 ;  
    se_t_80 = 1;  
  }  
}
```

```
if ( se_t_80 < 1 ) {  
  se_80 = 0 ;  
}  
}
```

```

# -----
# Blok, který se stara o správné přepínání relé pro paralelní dekádu.
pin_read paralelni_dekada {

    par_t_10 = 0 ;
    par_t_20 = 0 ;
    par_t_40 = 0 ;
    par_t_80 = 0 ;
    par_t_150 = 0 ;
    par_t_200 = 0 ;

    # paralelní odpor 10 kΩ
    if ( par_tmp > 0 ) {
        if ( par_tmp < 15 ){
            par_10 = 1 ;
            par_t_10 = 1;
        }
        if ( par_tmp > 25 ){
            if ( par_tmp < 35 ) {
                par_10 = 1 ;
                par_t_10 = 1;
            }
        }
        if ( par_tmp > 45 ){
            if ( par_tmp < 75 ) {
                par_10 = 1 ;
                par_t_10 = 1;
            }
        }
        if ( par_tmp > 105 ){
            par_10 = 1 ;
            par_t_10 = 1;
        }
    }
}

```

```
}
```

```
if ( par_t_10 < 1 ){  
    par_10 = 0 ;  
}
```

```
# paralelní odpor 20 kΩ
```

```
if ( par_tmp > 0 ) {  
    if ( par_tmp > 15 ){  
        if ( par_tmp < 35 ) {  
            par_20 = 1 ;  
            par_t_20 = 1;  
        }  
    }  
}
```

```
if ( par_tmp > 55 ){  
    par_20 = 1 ;  
    par_t_20 = 1;  
}  
}
```

```
if ( par_t_20 < 1 ){  
    par_20 = 0;  
}
```

```
# paralelní odpor 40 kΩ
```

```
if ( par_tmp > 0 ) {  
    if ( par_tmp > 35 ){  
        if ( par_tmp < 75 ) {  
            par_40 = 1 ;  
            par_t_40 = 1;  
        }  
    }  
}
```

```
if ( par_tmp > 105 ){
```

```
par_40 = 1 ;  
par_t_40 = 1;  
}  
}
```

```
if ( par_t_40 < 1 ) {  
par_40 = 0;  
}
```

```
# paralelní odpor 80 kΩ
```

```
if ( par_tmp > 0 ) {  
if ( par_tmp > 75 ){  
par_80 = 1 ;  
par_t_80 = 1;  
}  
}
```

```
if ( par_t_80 < 1 ) {  
par_80 = 0;  
}
```

```
# paralelní odpor 150 kΩ
```

```
if ( par_tmp > 0 ) {  
if ( par_tmp > 155 ){  
par_150 = 1 ;  
par_t_150 = 1;  
}  
}
```

```
if ( par_t_150 < 1 ) {  
par_150 = 0;  
}
```

```
# paralelní odpor 200 kΩ
```

```
if ( par_tmp > 0 ) {
```

```
    if ( par_tmp > 305 ){
```

```
        par_200 = 1 ;
```

```
        par_t_200 = 1;
```

```
    }
```

```
}
```

```
if ( par_t_200 < 1 ) {
```

```
    par_200 = 0;
```

```
}
```

```
if (par_tmp < 0 ) {
```

```
    se_tmp = 0 ;
```

```
    par_tmp = 0 ;
```

```
    par_inf = 0 ;
```

```
}
```

```
}
```

```
# -----  
# Blok pro vynulování proměnných a uvedení systému do výchozího nastavení.  
# Tento blok se spustí při změně uživatele.  
on_user_change {  
    se_tmp = 0 ;  
    par_tmp = 0 ;  
    par_inf = 0 ;  
}  
  
# -----  
# Blok pro rychlý experiment  
experiment exp {  
    init {  
        spinac = 1;  
        vardelay = 0;  
    }  
    on_sample card_lib {  
        burst_out_0 = burst_in_0 ;  
        burst_out_1 = 10* burst_in_1 ;  
    }  
    finalize {  
        spinac = 0;  
    }  
}
```