

Ján PAVLOVKIN, Daniel NOVÁK

Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Slovenská republika

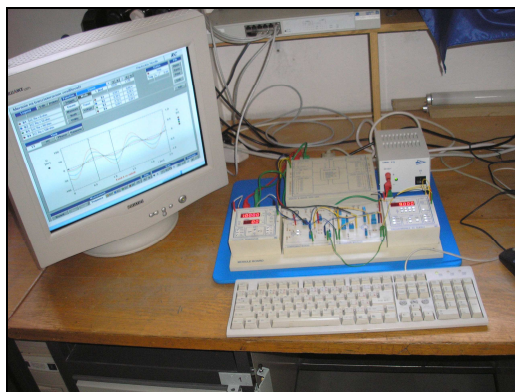
Elektronika s výučbovým systémom rc2000

Úvod

Problematika výučby elektroniky je veľmi široká. Príspevok v náväznosti na teoretický rozbor predkladá niektoré možnosti zmerania a zaznamenania charakteristických časových priebehov na nízkofrekvenčnom tranzistorovom zosilňovači pomocou osciloskopu a prostredníctvom výučbového systému rc2000. Reálny experiment je z pedagogického hľadiska nenahraditeľný a súčasne zvyšuje atraktivitu výučby. Experimentálne overenie nachádza široké uplatnenie v priemyselnej praxi i v školskej výučbe učiva elektroniky príslušných študijných programov stredných odborných a vysokých škôl.

1. Výučbový systém rc2000

Výučbový systém rc2000 (obrázok 1) je modulárny stavebnicový systém. Základ tvorí meracia jednotka ADDU spojená s osobným počítačom s príslušným ovládacím programom. Meracia jednotka obsahuje dvojkanálový osciloskop, analógový generátor s rozmietaním, 8-bitový logický generátor a 8-bitový logický analyzátor. Zostavovanie zapojení pre meranie je názorné, ovládanie výučbového systému rc2000 je intuitívne a výsledky merania sú prezentované prehľadne na obrazovke monitora. Výučba so systémom rc2000 je založená na reálnom experimente s podporou osobného počítača.



Obrázok 1. Výučbový systém rc2000

2. Meranie na zosilňovači

Jednou z najdôležitejších operácií pri spracovaní nízkočastotných signálov je zosilnenie signálu. Ak na vstup zosilňovača privádzame elektrický signál energie $W_1(t)$, potom pre energiu výstupného signálu zosilňovača $W_2(t)$ platí $W_2(t) > W_1(t)$. V zosilňovači nastáva zosilnenie energie prenášaného signálu. Energetický zisk zosilňovača je hradený z jednosmerných napájacích zdrojov zosilňovača. Zosilňovač je elektronické zariadenie, ktoré pomocou svojich častí zosilňuje elektrický signál. V princípe sú využité vlastnosti bipolárneho tranzistora. Medzi emitor a kolektor sa privedie napätie požadovanej veľkosti a na bázu malý signál, ktorý chceme zosilniť. Využíva sa zapojenie so spoločným emitorom (obrázok 2), ktoré má najväčšie výkonové zosilnenie. Ostatné impedančné prvky v tomto obvode slúžia na nastavenie, stabilizáciu pracovného bodu a na nastavenie zosilnenia. Zapojenie so spoločným emitorom obracia fázu výstupného napätia o 180° . Takýto zosilňovač je dvojbran, ktorý je charakterizovaný funkciami:

$$u_1 = f(i_1, u_2), \quad i_2 = f(i_1, u_2) \quad (1)$$

Z rovníc (1) ľahko odvodíme hybridné rovnice, ktorými sú definované základné vlastnosti zosilňovača:

$$h_{22} = i_2/u_2, \quad i_1 = \text{konšt.} \quad h_{22} = i_C/u_{CE}, \quad i_B = \text{konšt.} \quad (2)$$

$$h_{21} = i_2/i_1, \quad u_2 = \text{konšt.} \quad h_{21} = i_C/i_B, \quad u_{CE} = \text{konšt.} \quad (3)$$

Pre zapojenie so spoločným emitorom

$$h_{11} = u_1/i_1, \quad u_2 = \text{konšt.} \quad h_{11} = u_{BE}/i_B, \quad u_{CE} = \text{konšt.} \quad (4)$$

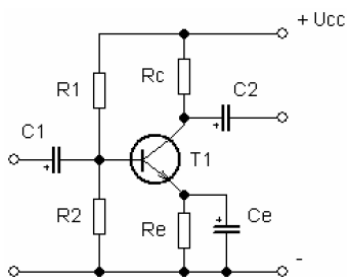
$$h_{12} = u_1/u_2, \quad i_1 = \text{konšt.} \quad h_{12} = u_{BE}/u_{CE}, \quad i_B = \text{konšt.} \quad (5)$$

Zosilňovač (obrázok 2) má spoločnú jednu svorku, vplyvom kapacity sa prejaví spätná väzba. Kladná spätná väzba zabezpečuje vznik oscilácií, takže je nevýhodná a dôsledkom zápornej spätnej väzby je stabilizácia zosilňovača a zníženie jeho skreslenia, čiže je výhodná, i keď spôsobuje zníženie zosilnenia. Z Nyquistovej charakteristiky vyplýva, že veľkosť fázového posuvu výstupného prúdu od napätia je pri každej frekvencii iná. Charakteristika zobrazuje závislosť reálnej (veľkosti) a imaginárnej (fázového posuvu) zložky napäťového prenosu od frekvencie. Je ňou definovaný aj interval frekvencií, v ktorom sa správa ako záporná a v ktorom ako kladná spätná väzba. Prenosové vlastnosti zosilňovačov sú dané prúdovým prenosom A_I , napäťovým prenosom A_U , a výkonovým prenosom A_P :

$$A_I = i_2/i_1 \quad (6)$$

$$A_U = u_2/u_1 \quad (7)$$

$$A_P = P_2/P_1 = (u_2 \cdot i_2)/(u_1 \cdot i_1) = A_U \cdot A_I \quad (8)$$



Obrázok 2. Zapojenie tranzistora vo funkcii zosilňovača

Vstupná impedancia zosilňovača je

$$Z_{vst} = \frac{U_1}{U} \cdot R. \quad (9)$$

Výstupná impedancia zosilňovača je

$$Z_{výst} = R_Z \cdot \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \quad (10)$$

Napät'ové zosilnenie

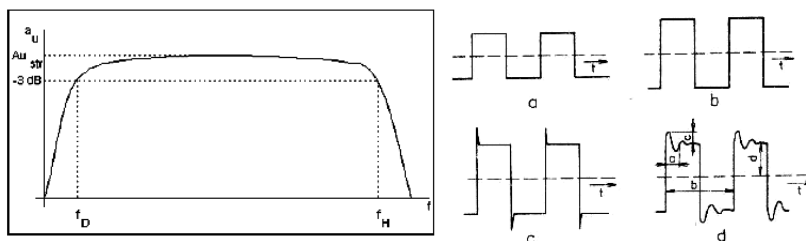
$$A_u = \frac{U_2}{U_1}, \quad (11)$$

teda

$$a_u = 20 \cdot \log|A_u| [\text{dB}] \quad (12)$$

$$h_{dB} = 20 \cdot \log \frac{U_{\check{s}\check{s}}}{U_2} \quad f_s = \sqrt{f_d \cdot f_h} \quad f = f_s \frac{b}{a} \quad (13)$$

$U_{\check{s}\check{s}}$ – šumové napätie



Obrázok 3. Amplitúdovo – frekvenčná charakteristika

Vstupnú impedanciu zosilňovača zmeriame pre 3 rôzne frekvencie, napr. 100 Hz, 1 kHz a 10 kHz. Zát'až R_z je 1 k Ω . Na vstup nastavíme U_1 , také aby na výstupe U_2 bolo nominálne. Potom odpojíme vstupné napätie a nastavíme U_2 na

pôvodnú hodnotu (na výstupe je opäť U_1). Voltmetrom zmeriame napätie U na odpore R_1 . Veľkosť vstupnej impedancie vypočítame ako:

$$Z_{vst} = U_1 * R / U. \quad (14)$$

Výstupnú impedanciu zosilňovača zmeriame pre 3 rôzne frekvencie 100 Hz , 1 kHz a 10 kHz . Zosilňovač vybudíme na napätie U_{20} (nominálne) napätím na vstupe pri odpojenej záťaži. Potom pripojíme záťaž a zmeriame poklesnuté napätie U_2 . Výstupnú impedanciu vypočítame ako:

$$Z_{vyst} = R_z * (U_{20} - U_2) / U_2. \quad (15)$$

Amplitúdovo-frekvenčnú charakteristiku zosilňovača odmeriame pre frekvencie 20 Hz , 100 kHz . Vstupné napätie $U_1 = \text{konšt.}$ ale také, aby v celom rozsahu meraných frekvencií nenastalo zosilnenie pre každú frekvenciu

$$A_u = 20 \log U_2 / U_1 \text{ [dB]}. \quad (16)$$

Ďalej vypočítame zosilnenie pre referenčnú frekvenciu. Potom

$$A_{uref} = 20 \log U_2 / U_{2ref} \text{ [dB]}. \quad (17)$$

Nakreslíme grafy na semilogaritmický papier pre závislosti zosilnenia od frekvencie $A_u = f(f)$ a $A_{uref} = f(f)$. Meriame závislosti zosilnenia od zaťažovacieho odporu, meriame podľa zapojenia pre amplitúdovo-frekvenčnú charakteristiku zosilňovača len nahradíme R_z potenciometrom cca 5000Ω . Meriame pri konštantnej frekvencii 1 kHz . Pre tento prípad počítame zosilnenie podľa vzťahu (11), $A_u = U_2 / U_1$ čo je bezrozmerné číslo.

3. Experimentálne overenie systémom rc2000

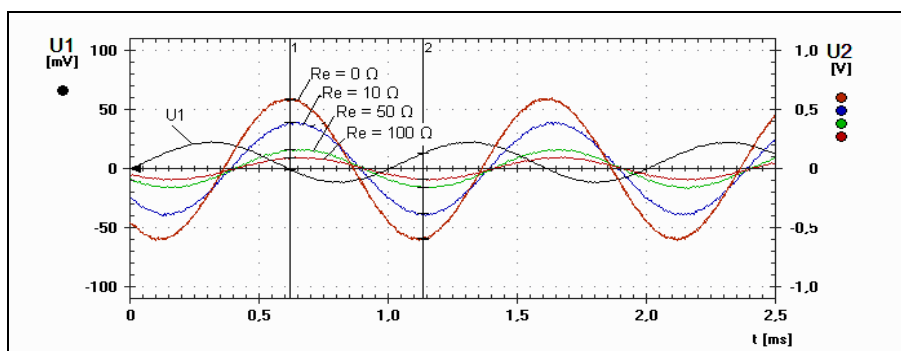
Pomocou modulu bipolárny tranzistor a modul prvkov zapojíme tranzistorový zosilňovač. Z funkčného generátora napájame vstup tranzistorového zosilňovača napätím U_1 . Napájanie tranzistorového zosilňovača napätím U_{cc} zabezpečíme programovateľným zdrojom napätia. K Analog & Digital Data Unit (ADDU) pripojíme meraný zosilňovač. Jednotka ADDU je spojená s PC, v PC je spustený riadiaci program, ktorý umožňuje niekoľko režimov práce. Zvolíme režim dvojkanálový osciloskop (program OSCILLOSCOPE), pomocou ktorého vykonáme merania výstupného napätia v závislosti od veľkosti Re . Výsledky meraní sú zaznamenané na obrázku 4. Merali sme na zapojení podľa obrázka 2 z nasledovnými hodnotami súčiastok: tranzistor $KC 509$, $R_c = 2k2$, $R_1 = 500k$, R_2 nebol zapojený, $C_1 = C_2 = 100 \text{ nF}$, medzi vstupom a C_1 bol zapojený $R = 1k$. Meranie výstupného napätia bolo na zaťažovacom rezistore $R_z = 1k$, C_e nebol zapojený. Menili sme Re nasledovne $Re1 = 0 \Omega$, $Re2 = 10 \Omega$, $Re3 = 50 \Omega$, $Re4 = 100 \Omega$. Na vstup sme privádzali napätie $U_1 = \text{cca } 20 \text{ mV}$. Napájacie napätie bolo $U_{cc} = 9 \text{ V}$. Vzhľadom k tomu, že sme menili Re , tak sa menil aj vstup a mali sme problém pomocou systému rc2000 zaznamenať všetky priebehy na osciloskope do jedného obrázku. Hodnoty napätia U_2 v závislosti od Re pri konštantnom napätí $U_1 = 23 \text{ mV}$ sú v tabuľke 1.

Tabuľka 1

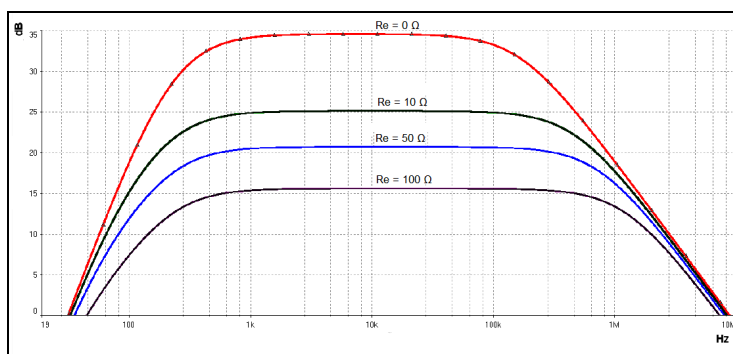
Závislosť U_2 a A_u nízkofrekvenčného zosilňovača od odporu R_e

R_e [Ω]	0	10	50	100
U_2 [V]	0,59	0,39	0,16	0,09
A_u	25,65	16,95	6,95	3,91
A_u [dB]	28,18	24,58	16,84	11,85

Ďalej sme zisťovali aký vplyv má veľkosť odporu R_e na zosilnenie a prenášanú šírku frekvenčného pásma. Namerané priebehy sú zobrazené na obrázku 5. Zo zobrazených priebehov vidíme, že sa mení šírka prenášaného pásma a klesá zosilnenie. Z grafu závislosti zosilnenia od odporu vidieť, že zmenou sa podstatne mení aj zosilnenie. V praxi sa snažíme vyrobiť zosilňovač s čo najmenšou výstupnou impedanciou. Ideálne by bolo keby, výstupná impedancia bola nulová.



Obrázok 4. Priebehy výstupného napätia U_2 v závislosti od veľkosti odporu R_e



Obrázok 5. Vplyv veľkosti odporu R_e na zosilnenie a prenášanú šírku frekvenčného pásma

Záver

Teoretické riešenie Na meraní sme sa prakticky oboznámili so zosilňovačom. Ako zosilňovač sme použili bipolárny tranzistor v zapojení so spoločným emitorom. Hodnota výstupnej impedancie nášho zosilňovača bola pri meraní $769,2 \Omega$. Pri vstupnej impedancii sa snažíme vyrobiť zosilňovač s čo najväčšou vstupnou impedanciou. Náš zosilňovač mal impedanciu pri meraní približne $66,6 k\Omega$. Pri meraní frekvenčnej charakteristiky zosilňovača sme museli dbať na hodnotu výstupného napätia, ktorú sme museli udržiavať na konštantnej hodnote. Pri vysokých hodnotách frekvencie sa už výstupné napätie nedalo udržať na konštantnej hodnote. Z grafu frekvenčnej charakteristiky vidieť, že najväčší napäťový prenos bol pri hodnote frekvencie od $1\ 000\ Hz$ do $16\ 000\ Hz$.

Literatura

Pavlovkin J. (2007), *Počítačom podporované elektrolaboratórium využívané vo vyučovaní technických odborných predmetov* [In:] „Acta Universitas Matthiae Belii”, Ser.: Technická výchova No 7. Banská Bystrica: FPV UMB, s. 59–71, ISBN 978-80-8083-488-3.

Resumé

Príspevok sa zaoberá teoretickým rozborom merania zosilnenia a amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky v jednostupňovom tranzistorovom zosilňovači prostredníctvom osciloskopu a pomocou výučbového systému rc2000 na osobnom počítači. Obidvomi spôsobmi experimentálneho overenia sme získali porovnateľné výsledky. Výsledky experimentov sú názorne zobrazené a môžu sa využiť v priemyselnej praxi i v školskej výučbe učiva elektroniky. Z grafických výsledkov vidíme, že so zvyšovaním hodnoty rezistora R_e sa zosilnenie zosilňovača znižuje a v menšej miere sa mení aj šírka prenášaného pásma.

Kľúčové slova: elektronika v škole, výučbový systém rc2000.

Electronics with the educational system rc2000

Abstract

The paper deal with theoretical analysis measurement amplifier's gain and amplitude frequency characteristics in one-stage transistorized amplifier through oscilloscope and through the Teaching and Training System rc2000 – μ LAB supported by the PC. Both of them mode experimental attest are acquirement comparable results. Results experiment are by visual demonstration displayed and can them utilize in technique experience. Through experiments the student in an easier way acquires a sense for electronics which is the best way of supporting his further professional life. From graphic results see, those with by in-

creasing the attributes resistor R_e - amplifier's gain reduce and measure change and width transmission zone.

Key words: electronics in school, the educational system rc2000.

Uczenie się elektroniki z wykorzystaniem systemu edukacyjnego rc2000

Streszczenie

W pracy przedstawiono możliwości teoretycznej analizy i dokonywania pomiarów amplitudy wzmocnienia częstotliwości przez jeden wzmacniacz tranzystorowy z wykorzystaniem oscyloskopu oraz poprzez włączenie do uczenia się komputerowego zestawu rc2000. Zastosowane tu dwa sposoby eksperymentalnej weryfikacji przebiegów pozwalają otrzymać porównywalne wyniki, które są prezentowane graficznie i mogą być wykorzystane zarówno w praktyce przemysłowej, jak i do uczenia elektroniki w szkole.

Słowa kluczowe: elektronika w szkole, system edukacyjny rc2000.