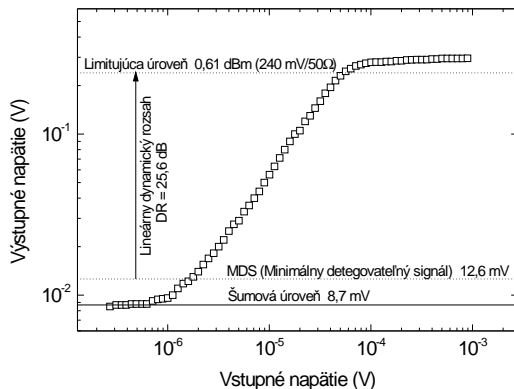


## MERANIA NA PRIJÍMAČI IMPUZNÉHO SPEKTROMETRA JMR

1. novembra 2007

### Meranie dynamického rozsahu

Dynamický rozsah prijímača udáva v jednotkách dB (decibel) pomer medzi úrovňou najslabšieho prijímaného signálu (minimálny detegovateľný signál–MDS) k úrovni najsilnejšieho, pri zachovaní požadovanej linearity. Dolná hranica dynamického rozsahu (DR) závisí od šumového čísla prijímača (od vlastného šumového výkonu prijímača, daného tzv. šumovým prahom) a nastavenej šírky pásma. Horná hranica DR je definovaná úrovňou vstupného signálu, pri ktorom sú intermodulačné produkty (IM) tretieho rádu práve na úrovni šumového prahu prijímača.



Obrázok 1: Prenosová charakteristika v<sub>f</sub> zosilňovača prijímača impulzného spektrometra JMR so šírkou pásma 1,8 MHz. Šírka pásma je daná rozdielom frekvencií, pri ktorých výstupný signál poklesne o 3 dB. Meranie sme previedli na frekvencii 30 MHz pri napätovom zosilnení 77 dB, pomocou v<sub>f</sub> generátora Ch1–42 s výstupnou impedanciou 50 Ω, zo zostavy na meranie amplitúdovo-frekvenčných charakteristík. Výstupné napätie bolo merané širokopásmovým voltmetrom BM 495A. Ohyb prenosovej charakteristiky pri malých vstupných napätiach je spojený s prítomnosťou vlastných šumov zosilňovača, ktoré sa prejavujú na výstupe aj v neprítomnosti signálu. Šumy môžu úplne „zničiť“ a silne maskovať slabý signál. Ohyb charakteristiky pri vyšších vstupných napätiach je spôsobený nelinearitou súčiastok zosilňovača a je sprevádzaný vznikom nelineárneho skreslenia.

Linearita prijímača je v rozhodujúcej miere určená linearitou v<sub>f</sub> zosilňovača. Prenosová charakteristika zosilňovacieho bloku meraná v bode A na schéme (pozri obrázok 2) je

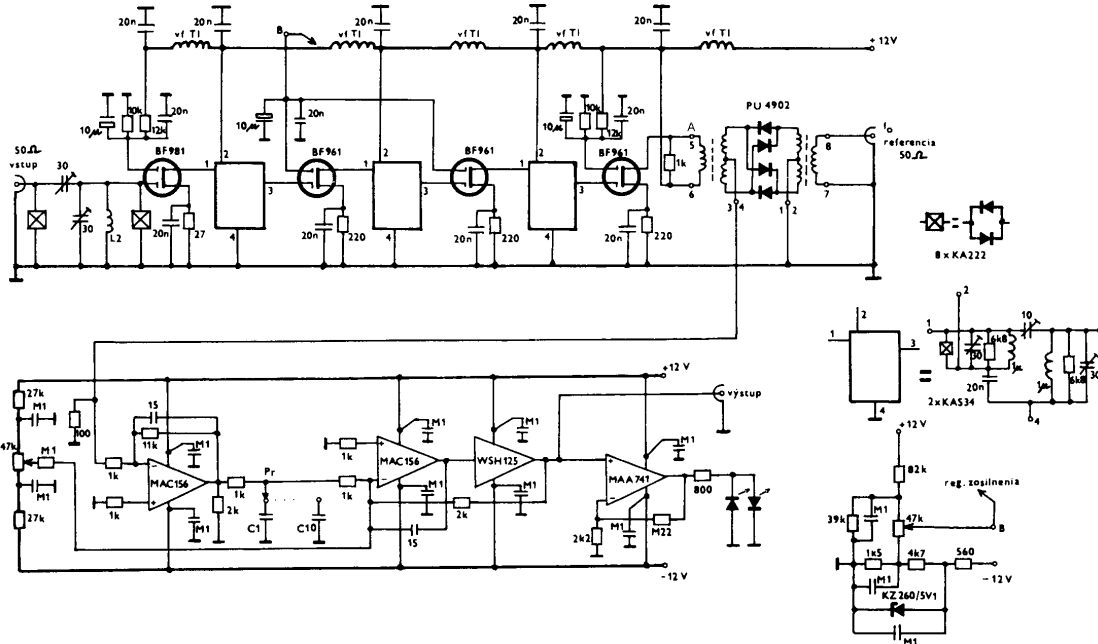
znázornená na obrázku 1. Limitujúca úroveň v<sub>f</sub> napätia na výstupe je 0,61 dBm (240 mV/50 Ω), pri zosilnení 77 dB a prenosovej šírke pásma 1,8 MHz pre pokles o 3 dB. Lineárny dynamický rozsah základnej zložky je rovný 25,6 dB. Z charakteristiky je vidieť, že vstupná šumová úroveň zosilňovača sa pohybuje okolo 0,6 μV a tomu zodpovedá výstupné napätie asi 8,7 mV. Minimálny vstupný detegovateľný signál (Žalud, 1977, 1986), ktorý je definovaný ako signál nachádzajúci sa 3 dB nad úrovňou šumu je približne 1,7 μV.

### Meranie šumového čísla

Na meranie šumového čísla použijeme metódu opísanú Houltom (1978). Zariadenie (zostava), ktoré použijeme na meranie pozostáva z dvoch rovnako dlhých koaxiálnych káblov s charakteristickou impedanciou 50 Ω. Ich konce sú ukončené (pripojené) na bezindukčné 50 Ω-ové rezistory. Počas merania má jeden rezistor izbovú teplotu a druhý je ponorený do dewarovej nádoby s kvapalným dusíkom teploty 77 K. Výstupný šumový výkon rezistora je určený výrazom  $P_n = \Delta f k_B T$ , kde  $k_B$  je Boltzmannova konštanta ( $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ),  $\Delta f$  je šumová šírka pásma a  $T$  je teplota. Keď je  $\Delta f$  rovnaké pri oboch meraniach, pomer výstupného šumového výkonu je určený pomerom teplôt oboch rezistorov. Potom šumové číslo zosilňovača môžeme vyjadriť vztáhom

$$F = \frac{1 - \frac{T_L}{T_H}}{1 - \frac{P_{2L}}{P_{2H}}}, \quad (1)$$

kde  $T_L$  a  $T_H$  sú absolútne teploty rezistorov a  $P_{2L}$  a  $P_{2H}$  sú relatívne hodnoty šumového výkonu získané na výstupe zosilňovača. Zavedením označenia  $B = \frac{P_{2L}}{P_{2H}}$  pre pomer výstupných výkonov a pre  $T_L = 77 \text{ K}$  a  $T_H = 300 \text{ K}$ , predchádzajúcu rovnicu môžeme prepísať do tvaru



Obrázok 2: Schéma prijímača impulzného spektrometra JMR. Prijímač je koncipovaný ako úzkopásmový so šírkou pásma 1,8 MHz na strednej frekvencii 30 MHz. Dynamický rozsah je 25,6 dB pri v<sub>f</sub> zosilnení 77 dB. Vstupná šumová úroveň je približne 0,6 μV

$$F = \frac{0,743}{1 - B} \quad (2)$$

alebo

$$F[\text{dB}] = -1,288 - 10 \log(1 - B). \quad (3)$$

## Určenie šumového prahu

Meranie vykonáme napr. na prijímači so vstupným odporom 50 Ω so šírkou pásma 1,8 MHz. Pokiaľ by prijímač nemal vlastný šum, na jeho výstupnom odpore by šumové napätie malo hodnotu

$$\begin{aligned} \frac{U_{\dot{s}}}{2} &= \frac{4\sqrt{RB}}{2} \quad (\mu\text{V}, \text{k}\Omega, \text{MHz}) = \quad (4) \\ &= \frac{4\sqrt{50 \cdot 10^{-3} \cdot 1,8}}{2} = 0,15 \mu\text{V} \end{aligned}$$

(pri dokonalom impedančnom prispôbení je na zatážovacom odpore napätie polovičné).

Keď je činiteľ šumu prijímača  $F = 8$ , to znamená asi toľko, že prijímač zvyšuje výstupný šumový výkon 8-krát, t. j. 2,83-krát v jednotkách napätia ( $\sqrt{8}$ ). Skutočné šumové napätie na výstupných svorkách prijímača bude teda  $U' = 0,15 \cdot 2,83 = 0,4245 \mu\text{V} \approx 0,43 \mu\text{V}$ . Toto napätie môžeme vyjadriť vo vzťahu k výkonu 1 mW na 50 Ω ako úroveň výkonu  $-114$  až  $-115$  dBm.<sup>1</sup> Presnejšie a jednoznačnejšie je určenie (meranie) šumového prahu a citlivosti vo výkonových jednotkách a logaritmickej pomere. Šumový prah pre teplotu 17 °C ( $T = 290$  K) a šírkou pásma 1 Hz je  $-174$  dBm. Postupným pripočítavaním ďalších príspevkov zistíme žiadanú hodnotu šumového prahu. Napr. ak šírka pásma  $B = 1,8$  MHz zodpovedá  $10 \log 1,8 \cdot 10^6 = 62,6$  dB a činiteľu šumu  $F = 8$  zodpovedá šumové číslo  $F[\text{dB}] = 10 \log 8 = 9,03$  dB, potom je šumový prah zosilňovača s touto šírkou pásma rovný súčtu jednotlivých príspevkov  $-174$  dBm + 62,6 dB + 9,03 dB =  $-102,4$  dBm. Keďže normovaný odstup signálu od šumu je rovný 10 dB, potom je nor-

<sup>1</sup>Platí 0 dBm = 1 mW čiže Y dBm = 10 log X, teda  $X = 10^{Y/10}$  mW pričom  $U = \sqrt{XR}$ . Napríklad nech šumový prah má hodnotu  $-102$  dBm, potom šumové napätie na rezistore 50 Ω zodpovedajúce tejto hodnote vypočítame podľa vzťahu  $U = \sqrt{10^{\frac{-102}{10}} \cdot 50} \approx 56 \mu\text{V}$ .



movaná citlivosť rovná  $-174 \text{ dBm} + 62,6 \text{ dB} + 9,03 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = -92,4 \text{ dBm}$ .

## Literatúra

DAVIES, E. R. 1993. *Electronics, Noise, and Signal Recovery*. Academic Press, London, 1993, ISBN 0-12-206131-4

HOULT, D. I. 1978. *The NMR Receiver: A Description and Analysis of Design*. Progress in NMR Spectroscopy, 1978, Vol. 12, pp. 41–77

ŽALUD, V. 1977. *Dynamický rozsah a intermodulace vysokofrekvenčních zesilovačů*. In: Sdělovací technika, č. 8, s. 311

ŽALUD, V. 1986. *Vysokofrekvenční přijímací technika*. SNTL – Alfa, Praha, 1993, s. 66