

1 Zadání

A. Na operačním zesilovači typu MAA 741 a MAC 155 změřte:

- a) Vstupní zbytkové napětí U_{D0}
- b) Amplitudovou frekvenční charakteristiku napěťového přenosu OZ v invertujícím zapojení pro zesílení: 20, 40 dB Přenos změřte od 100 Hz do kmitočtu $f > f_T$ podle možností použitých přístrojů (krok volte s ohledem na šířku proměřovaného frekvenčního pásma, různý pro různá zesílení) Pro každé zesílení určete mezní f_m a tranzitní f_T kmitočet zesilovače.
- c) Rychlost přeběhu (Slew Rate) S při $R_Z = 2 \text{ k}\Omega$

B. Zapojte OZ jako zdroj stejnosměrného proudu řízený napětím (v principu neinvertující zapojení) a změřte na něm závislost výstupního proudu I_2 na zatěžovacím odporu R_Z ($I_2 = 5 \text{ mA}$, $R_Z = 0 - 50 \text{ k}\Omega$): $I_2 = f(R_Z)$ Naměřenou závislost zdůvodněte

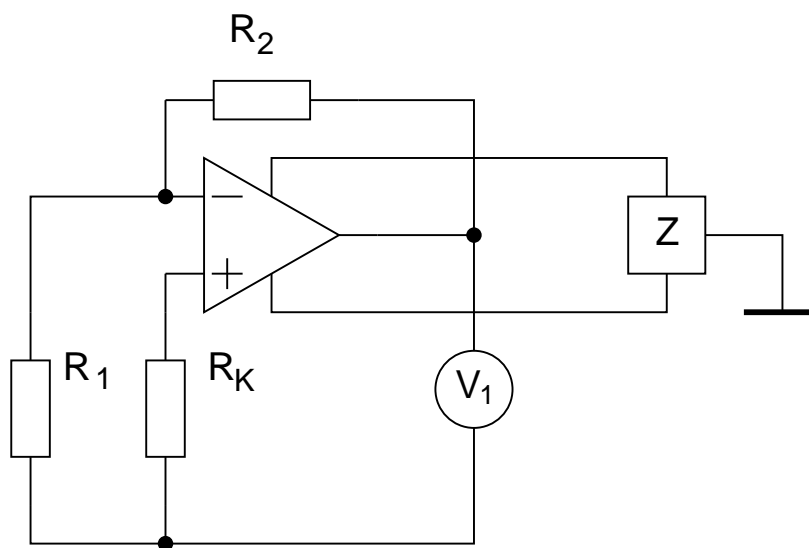
Pro všechny případy odvoďte přenos použitých zapojení a zdůvodněte odchylky naměřených hodnot od teoretických. Porovnejte vlastnosti obou typů operačních zesilovačů.

2 Popis měřeného předmětu

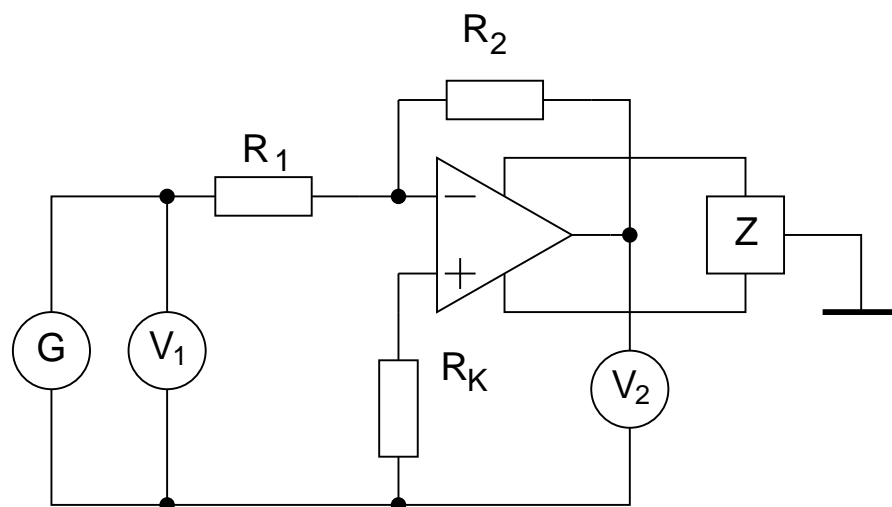
Měřeným předmětem byl operační zesilovač. Měřeny byly jeho některé vlastnosti, konkrétně *vstupní zbytkové napětí*, *amplitudová frekvenční charakteristika* a *rychlost přeběhu*. Na závěr byl změřený operační zesilovač použit v zapojení „*napětím řízený zdroj proudu*“, což byl v podstatě voltmetr používající k zobrazení hodnoty napětí ampérmetr.

3 Schéma zapojení

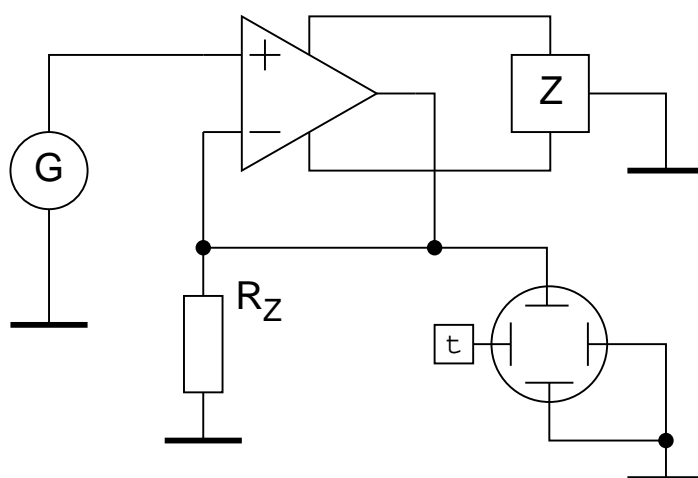
Aa. Měření vstupního zbytkového napětí U_{D0}



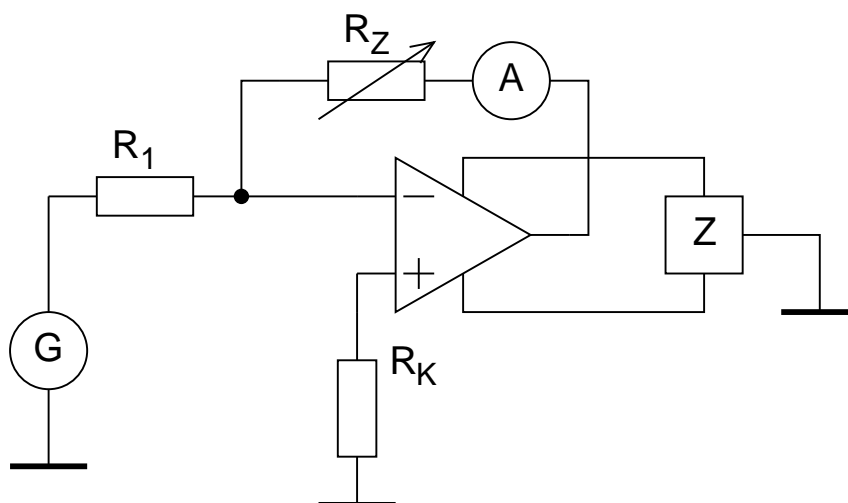
Ab. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky MAA741 a MAB357 při zesílení 20 a 40 dB



Ac. Měření rychlosti přeběhu MAA741 a MAB357 při $R_Z = 2\text{ k}\Omega$



B. Závislost výstupního proudu I_2 zatěžovacím odporem R_Z u OZ MAA741
v zapojení jako napětím řízený zdroj ss proudu



4 Naměřené a vypočtené hodnoty

Aa. Měření vstupního zbytkového napětí U_{D0}

MAA 741: $A_U = 100$ $U_{D0} = 24$ mV

MAB 357: $A_U = 100$ $U_{D0} = 155$ mV

Ab. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky MAA741 při $a_u = 20$ dB

f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	a_U [dB]
100	0,31987	3,128	19,81
200	0,31997	3,130	19,81
1000	0,32015	3,120	19,78
4000	0,31973	2,912	19,19
6000	0,31998	2,528	17,95
10000	0,32064	1,806	15,01
12000	0,32103	1,467	13,20
20000	0,32189	0,989	9,75
25000	0,31980	0,795	7,91
42000	0,31988	0,463	3,21
59700	0,32035	0,253	-2,05
82900	0,32069	0,112	-9,14
106800	0,32102	0,033	-19,76

Příklad výpočtu ($f = 100$ Hz):

$$a_u = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{3,129}{0,31987} = 19,81 \text{ dB}$$

$$f_m = 8 \text{ kHz}$$

$$f_T = 54 \text{ kHz}$$

Ab. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky MAB357 při $a_u = 20$ dB

f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	a_U [dB]
100	0,32154	3,141	19,80
200	0,32140	3,143	19,81
500	0,32124	3,134	19,79
750	0,32112	3,122	19,76
1000	0,32098	3,102	19,70
2000	0,32066	2,988	19,39
4000	0,32032	2,879	19,07
7900	0,32034	2,834	18,94
14300	0,32081	2,844	18,95
16430	0,32091	2,848	18,96
20380	0,32112	2,855	18,98
25100	0,31842	2,835	18,99
30000	0,31864	2,843	19,01
35200	0,31881	2,850	19,03
73800	0,31967	2,896	19,14
145000	0,32033	2,910	19,17
200000	0,32056	2,093	16,30
229000	0,32024	1,559	13,75
232000	0,32023	1,508	13,46
266000	0,32012	1,004	9,93
279000	0,32004	0,781	7,75
307000	0,31983	0,357	0,95
350000	0,19240	0,061	-9,98
451000	0,31744	0,010	-30,03

Příklad výpočtu ($f = 100$ Hz):

$$a_u = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{3,141}{0,32154} = 19,80 \text{ dB}$$

$$f_m = 195 \text{ kHz}$$

$$f_T = 340 \text{ kHz}$$

Ab. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky MAA741 při $a_u = 40$ dB

f [Hz]	U_1 [mV]	U_2 [V]	a_U [dB]
100	30,22300	2,944	39,77
1000	30,72200	2,371	37,75
2000	31,10300	1,805	35,27
4400	31,76700	0,988	29,86
6250	31,54400	0,725	27,23
8850	31,59900	0,523	24,38
12200	31,64400	0,383	21,66
16900	31,38400	0,279	18,98
35000	31,49400	0,098	9,86

Příklad výpočtu ($f = 100$ Hz):

$$a_u = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{2,944}{30,22300} = 39,70 \text{ dB}$$

$$f_m = 1,38 \text{ kHz}$$

$$f_T = 47 \text{ kHz}$$

Ab. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky MAB357 při $a_u = 40$ dB

f [Hz]	U_1 [V]	U_2 [V]	a_U [dB]
100	29,12500	2,832	39,76
250	29,14200	2,800	39,65
1000	29,51600	2,297	37,82
1740	29,76400	1,830	35,78
2860	29,91300	1,403	33,42
5170	29,98700	1,116	31,41
10500	30,03200	1,023	30,65
30000	29,86700	0,995	30,45
60000	29,94800	0,973	30,23
105000	29,99300	0,766	28,14
136400	29,94100	0,645	26,67
175200	29,99400	0,430	23,13
201500	29,99600	0,216	17,15
253000	29,91600	0,021	-3,07

Příklad výpočtu ($f = 100$ Hz):

$$a_u = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{2,832}{29,12500} = 39,76 \text{ dB}$$

$$f_m = 1,4 \text{ kHz}$$

$$f_T = 240 \text{ kHz}$$

Ac. Měření rychlosti přeběhu MAA741 a MAB357 při $R_Z = 2 \text{ k}\Omega$ **MAB357:**

$$\Delta t_1 = 0,26 \text{ }\mu\text{s}$$

$$\Delta U = 20 \text{ V}$$

$$RS_1 = \frac{\Delta U}{\Delta t_1} = 76,923 \text{ MVs}^{-1}$$

$$\Delta t_3 = 0,22 \text{ }\mu\text{s}$$

$$\Delta U = 20 \text{ V}$$

$$RS_2 = \frac{\Delta U}{\Delta t_1} = 90,909 \text{ MVs}^{-1}$$

MAA741:

$$\Delta t_1 = 24 \text{ }\mu\text{s}$$

$$\Delta U = 3 \text{ V}$$

$$RS_1 = \frac{\Delta U}{\Delta t_1} = 125 \text{ kVs}^{-1}$$

$$\Delta t_3 = 32 \text{ }\mu\text{s}$$

$$\Delta U = 3 \text{ V}$$

$$RS_2 = \frac{\Delta U}{\Delta t_1} = 93,75 \text{ kVs}^{-1}$$

B. Závislost výstupního proudu I_2 zatěžovacím odporem R_Z u OZ MAA741 v zapojení jako napětím řízený zdroj ss proudu

R_Z [k Ω]	I_2 [mA]	R_Z [k Ω]	I_2 [mA]	R_Z [k Ω]	I_2 [mA]	R_Z [k Ω]	I_2 [mA]
0,00	5,000	2,8	4,728	5,5	2,78	10	1,64
1,00	5,000	2,9	4,600	6,0	2,58	15	1,13
2,00	5,000	3,0	4,492	6,5	2,40	20	0,86
2,60	4,980	3,5	4,000	7,0	2,26	30	0,58
2,65	4,920	4,0	3,600	8,0	2,00	40	0,44
2,70	4,855	4,5	3,280	9,0	1,80	50	0,35
2,75	4,790	5,0	3,000				

Odvození přenosu všech zapojení

Ab. Měření amplitudové frekvenční charakteristiky MAA741 a MAB357 při zesílení 20 a 40 dB

$$\begin{aligned}i_{R1} &= -i_{R2} \\ \frac{u_1}{R_1} &= -\frac{u_2}{R_2} \\ A_u &= \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1}\end{aligned}$$

Ac. Měření rychlosti přeběhu MAA741 a MAB357 při $R_Z = 2 \text{ k}\Omega$

$$\begin{aligned}\frac{U_1}{R_Z} &= \frac{U_2}{R_1 + R_Z} \\ A_U &= \frac{R_1 + R_Z}{R_Z}\end{aligned}$$

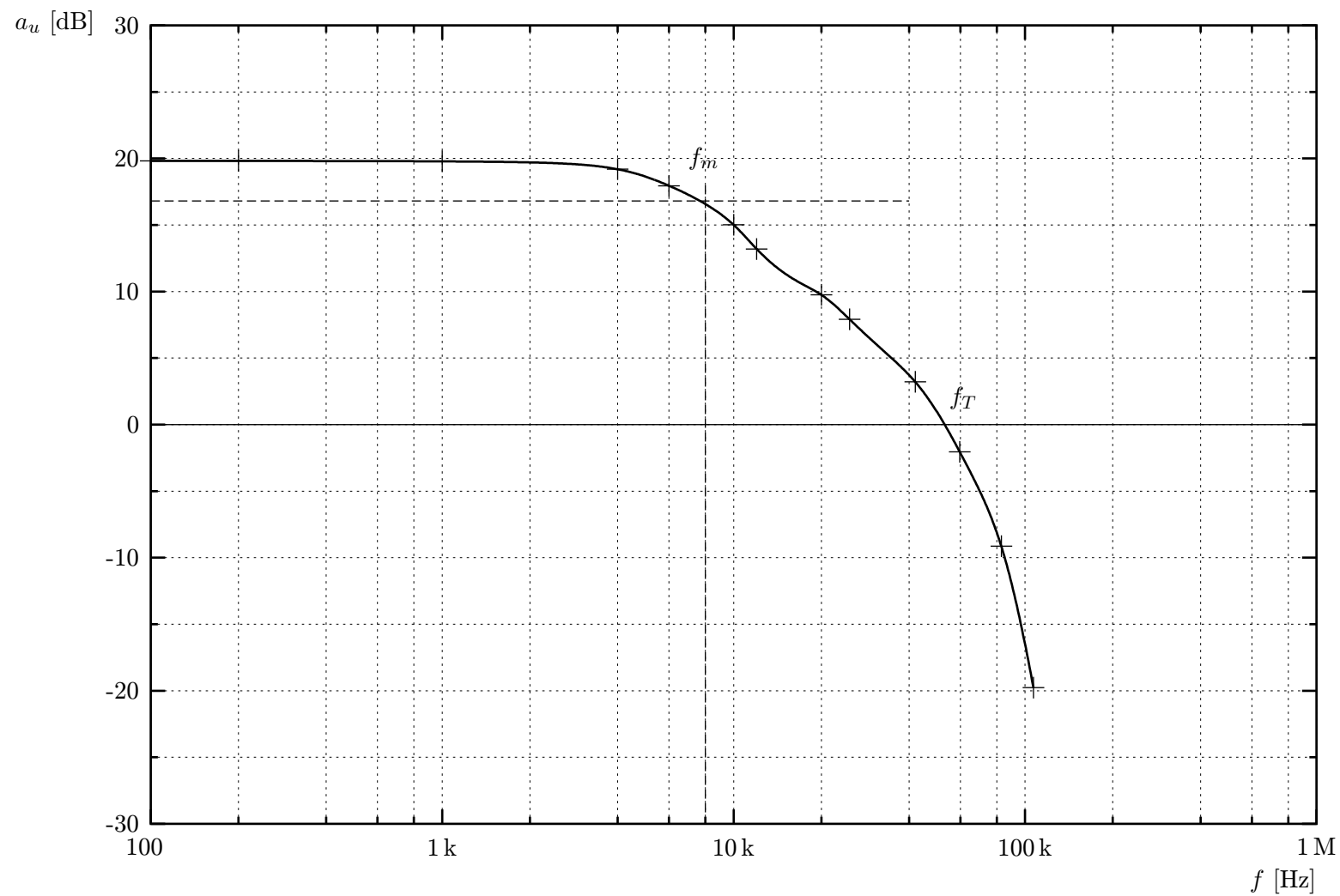
B. Závislost výstupního proudu I_2 zatěžovacím odporem R_Z u OZ MAA741 v zapojení jako napětím řízený zdroj ss proudu

$$\begin{aligned}i_{R1} + i_{RZ} &= 0 \\ i_{RZ} &= -i_{R1} = \frac{U_{Z2}}{R_1}\end{aligned}$$

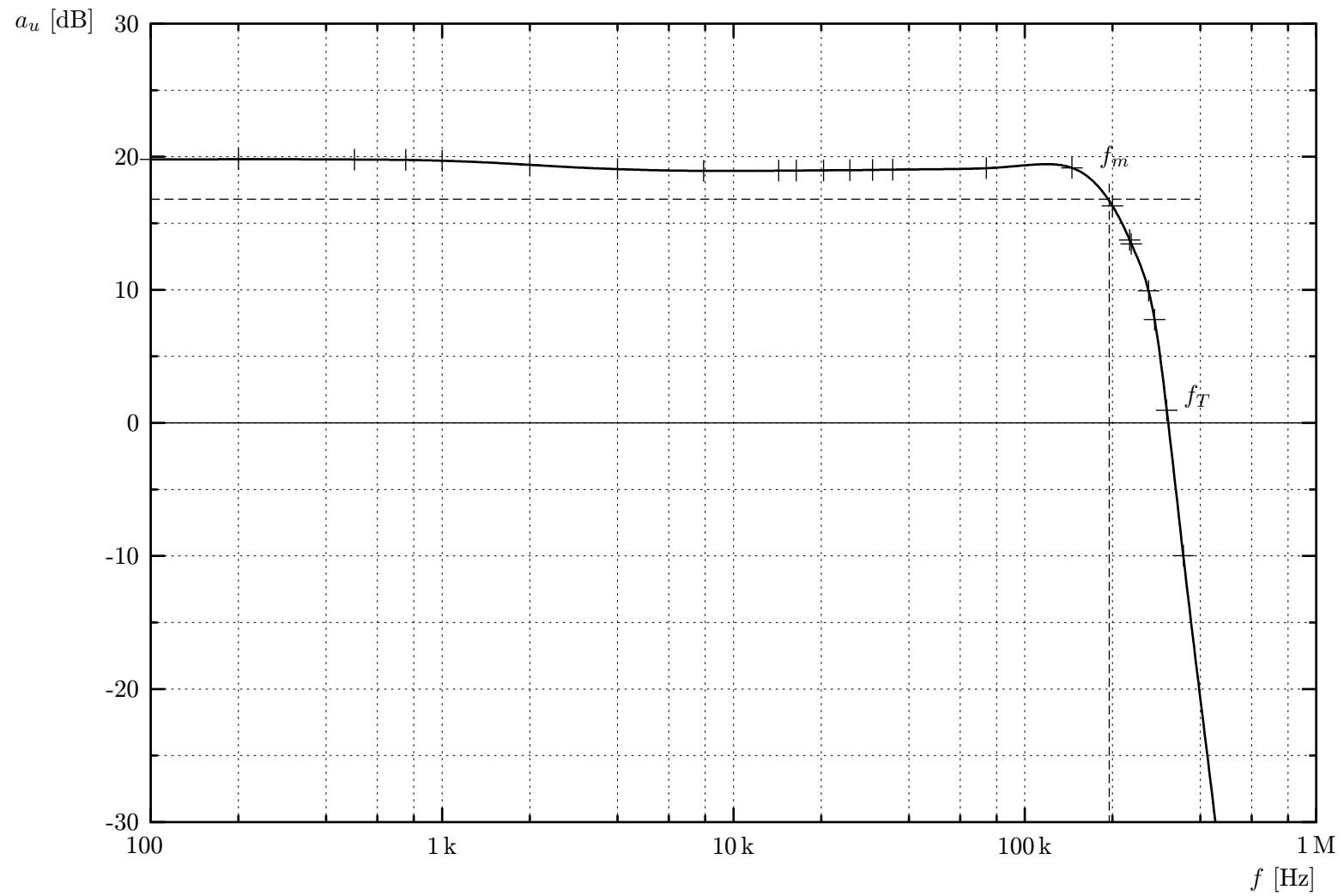
5 Grafy

- Ab. Amplitudová frekvenční charakteristika MAA741 při $a_u = 20$ dB
 - Ab. Amplitudová frekvenční charakteristika MAB357 při $a_u = 20$ dB
 - Ab. Amplitudová frekvenční charakteristika MAA741 při $a_u = 40$ dB
 - Ab. Amplitudová frekvenční charakteristika MAB357 při $a_u = 40$ dB
 - B. Závislost výstupního proudu I_2 zatěžovacím odporem R_Z u OZ MAA741 v zapojení jako napětím řízený zdroj ss proudu
-

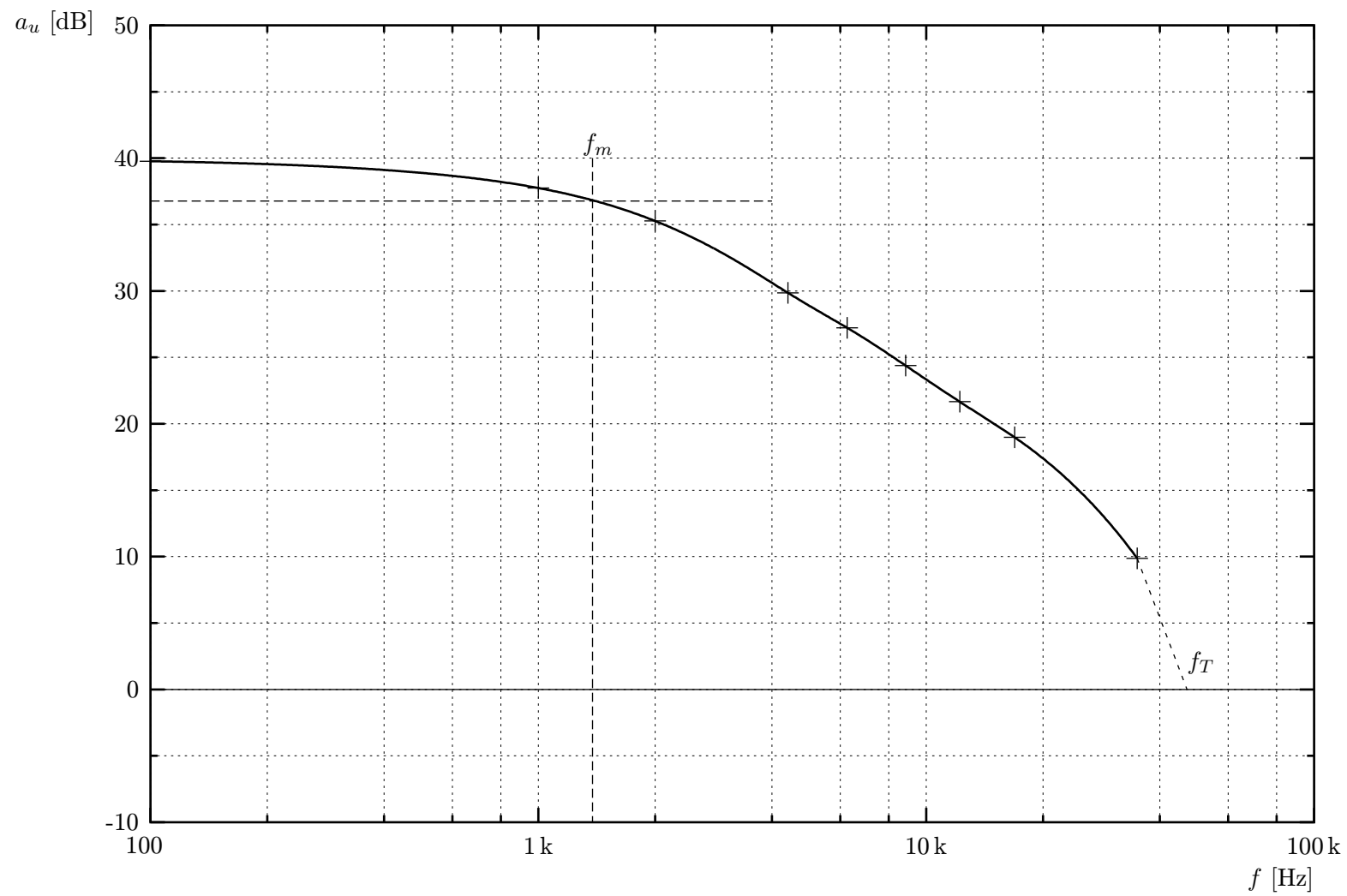
AB. AMPLITUDOVÁ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA MAA741 PŘI $a_u = 20$ dB



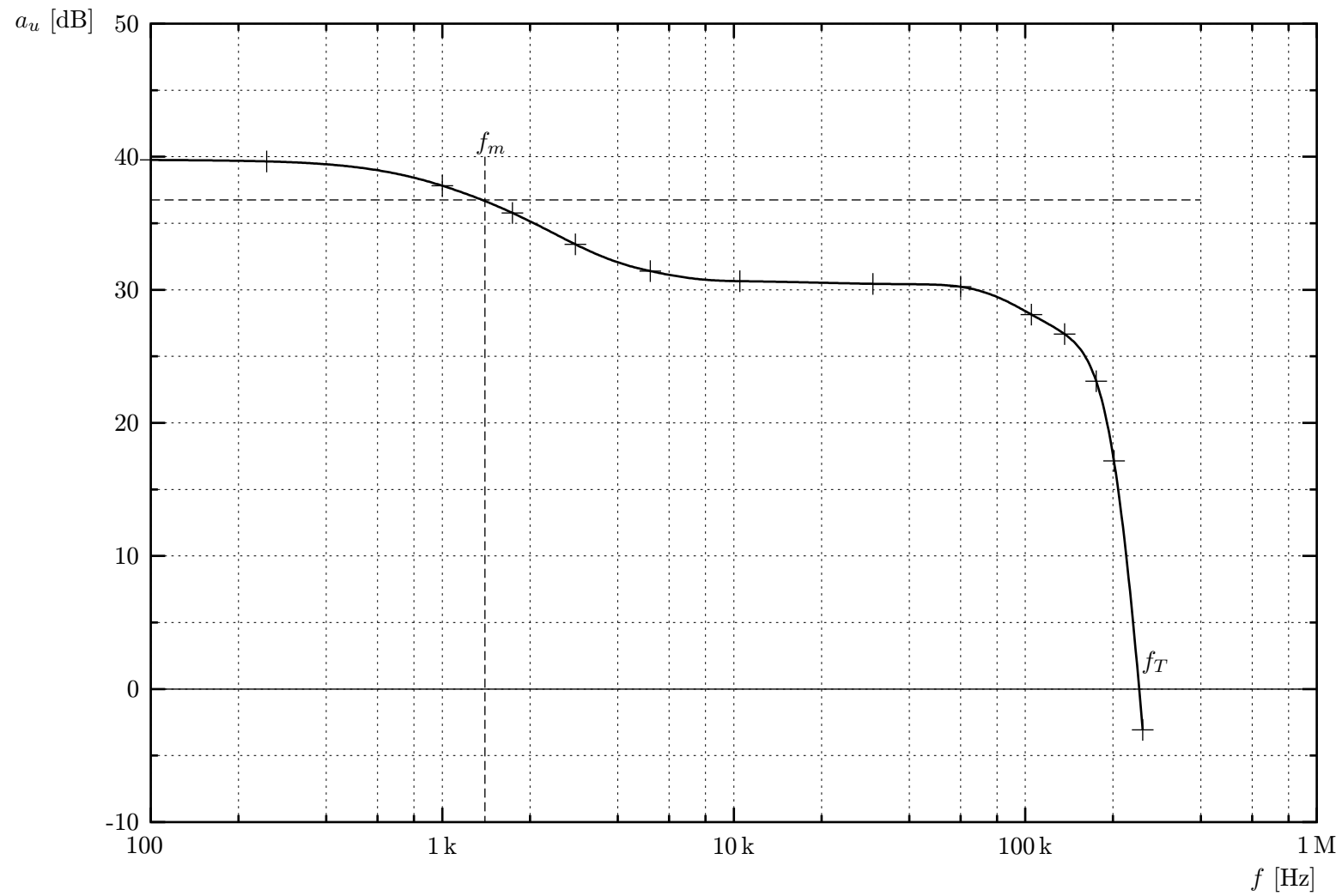
AB. AMPLITUDOVÁ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA MAB357 PŘI $a_u = 20$ dB



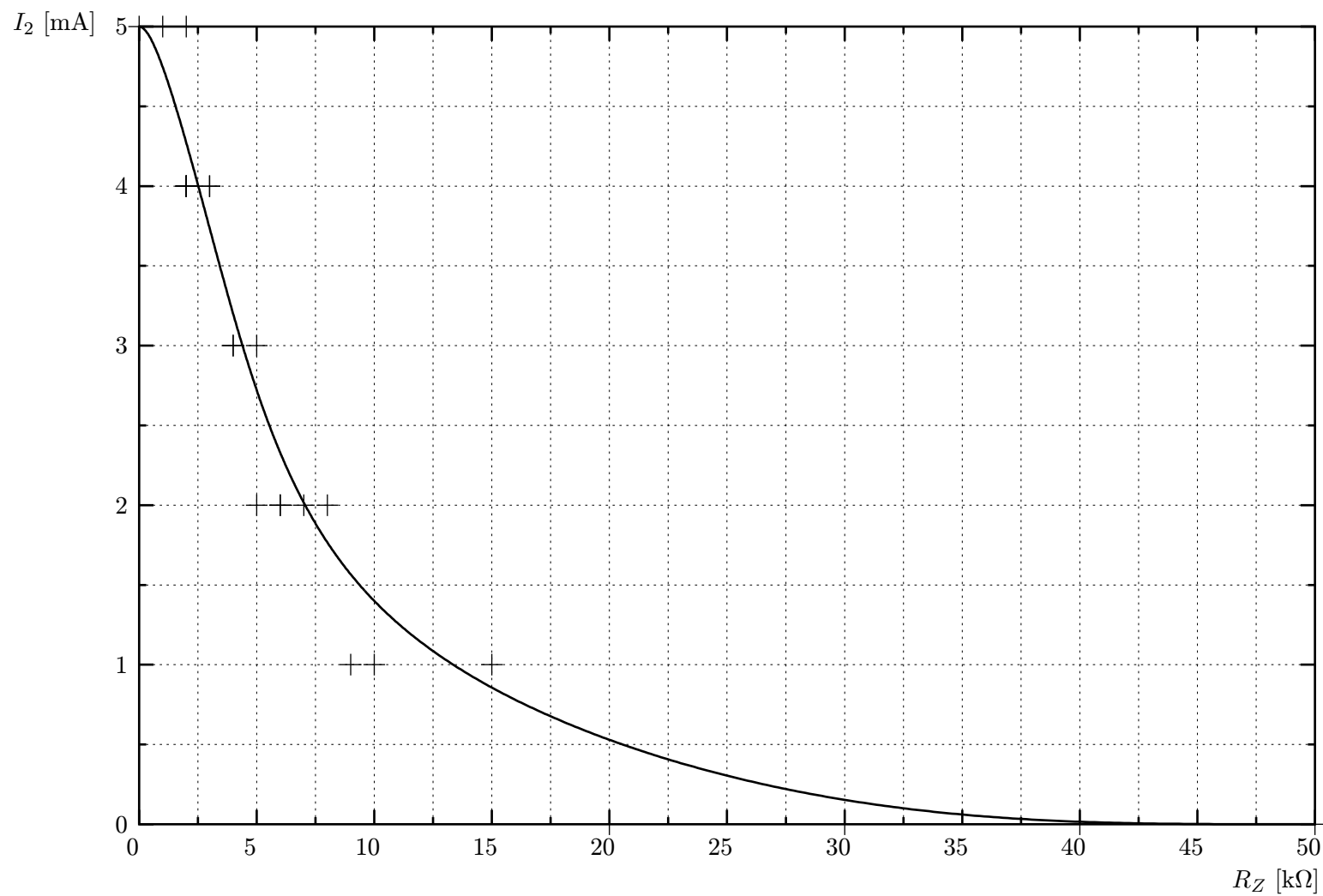
AB. AMPLITUDOVÁ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA MAA741 PŘI $a_u = 40$ dB



AB. AMPLITUDOVÁ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA MAB357 PŘI $a_u = 40$ dB



B. ZÁVISLOST VÝSTUPNÍHO PROUDU I_2 ZATĚŽOVACÍM ODPOREM R_Z U OZ MAA741
V ZAPOJENÍ JAKO NAPĚTÍM ŘÍZENÝ ZDROJ SS PROUDU



6 Vyhodnocení

Při měření frekvenčních závislostí operačních zesilovačů se zcela jasně ukázalo, že MAA741 je výrazně horší, tj. její mezní frekvence a zesílení jsou znatelně nižší, než MAB357. Poněkud zvláštní je amplitudová frekvenční charakteristika MAB357 při zesílení 40 dB. Pokles o 3 dB se vyskytl relativně brzy, ale skutečný konec frekvenčního pásma nastal až kolem 100 kHz.
