

Laboratorní cvičení č. 2 – Měření napětí - stejnosměrné a střídavé voltmetry

- Autor: Tomáš Vavrínek
- Datum měření: 3.10.2022

Úkoly

1. Pomocí referenčního multimetru Agilent 34401A ověřte přesnost voltmetru laboratorního zdroje GWInstek GPD-3303S v rozsahu 0 až 10 V DC s krokem měření 1V. Vypočtete absolutní a relativní chyby měření stejnosměrného napětí, korekci K a vykreslete korekční křivku, za předpokladu, že správné hodnoty napětí udává multimetr Agilent 34401A.
2. Změřte vstupní odpor R_{vst} multimetru Keysight 34450A na rozsahu 10 V DC a vstupní odpor R_{vst} multimetru Agilent (HP) 34401A na rozsahu 1 V DC pomocí napětového děliče. Jako zdroj ss. napětí použijte funkční generátor Siglent SDG2042X. Naměřené hodnoty porovnejte s údajem od výrobce.
3. Změřte frekvenční charakteristiky multimetrů Keysight 34450A a Agilent 34401A pro sinusový signál z generátoru Siglent SDG 2042X s amplitudou 1,5 V v rozsahu 1 kHz až 500 kHz (zvolit minimálně 10 hodnot). Dosažené výsledky graficky zakreslete. Zhodnoťte dosažené výsledky měření na základě informací o frekvenčním rozsahu multimetrů zjištěných ze specifikace přístroje.
4. Multimetrem Keysight 34450A změřte efektivní hodnotu výstupních signálů, jejichž zdrojem je generátor Siglent SDG 2042X:

- Obdélníkový průběh, $f = 1 \text{ kHz}$, $U_{\text{p-p}} = 3 \text{ V}$
- Trojúhelníkový průběh, $f = 100 \text{ Hz}$, $U_{\text{p-p}} = 5 \text{ V}$

Průběhy signálů zakreslete do sešitu a popište. Ověřte výpočtem velikosti efektivních hodnot uvedených signálů, vypočtete absolutní a relativní chybu měření (správnou hodnotou je hodnota vypočtená) a dosažené výsledky zhodnoťte. Určete velikost absolutních a relativních chyb údaje multimetru Keysight 34450A pro tato měření.

5. U číslicového multimetru Agilent 34401A ve funkci stejnosměrného voltmetru s nastavením rozlišení 4digit/slow a 5digit/slow změřte na rozsahu 1V závislost činitele potlačení sériového rušení H na frekvenci f_r rušivého napětí. Frekvenci volte v rozsahu $f_r = 45$ až 55 Hz po kroku 1 Hz u rozlišení 4digit/slow a po kroku 0,5 Hz u rozlišení 5digit/slow. Hodnota napětí U_{ss} je nulová (pro zjednodušení).

Příprava

Nejčastější měření v elektrotechnice je měření napětí. Voltmetry mohou být rozděleny podle:

1) způsobu měření	2) podle druhu měřeného napětí:	3) podle citlivosti	4) podle kmitočtové oblasti (střídavé voltmetry):
<ul style="list-style-type: none">• analogové• číslicové (digitální).	<ul style="list-style-type: none">• stejnosměrné• střídavé• impulsní	<ul style="list-style-type: none">• voltmetry• milivoltmetry• mikrovoltmetry• nanovoltmetry.	<ul style="list-style-type: none">• nízkofrekvenční• vysokofrekvenční• širokopásmové• selektivní (úzkopásmové)

Korekční křivka

Pokud chceme zvýšit přesnost měření konkrétního přístroje, můžeme k jeho měření přičítat hodnotu z korekční křivky. Korekční křivku můžeme získat porovnáním měření s přesnějším přístrojem (etalonem) $k = -\delta_x = X_S X_M$, kde X_S je hodnota naměřena na etalonu a X_M je hodnota naměřena na kontrolovaném přístroji.

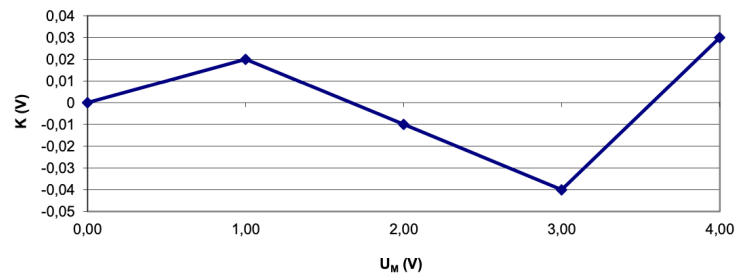


Figure 1: Příklad korekční křivky

Vstupní odpor voltmetru

Vstupní odpor voltmetru je odpor, který je mezi vstupními vodiči. Dá se jednoduše určit pomocí zdroje napětí a rezistoru se srovnatelným odporem. $R_{vst} = \frac{U_{vst}}{U_n - U_{vst}} \cdot R_n$

Měření AC

Běžný frekvenční rozsah se pohybuje od $100kHz$ do $1MHz$. Jeden z parametrů AC voltmetru je způsob měření efektivní hodnoty. Buď měřený signál usměrní, změří jeho střední hodnotu a převede ji na efektivní, tato metoda je však přesná jen pro harmonický signál (střední hodnota se násobí konstantou, která souvisí s konkrétním tvarem signálu a pochopitelně se proto používá nejběžnější tvar). Druhá možnost je signál měřit pomocí definice efektivní hodnoty, která je vypočítána takto:

$$U_{efe} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} \quad (1)$$

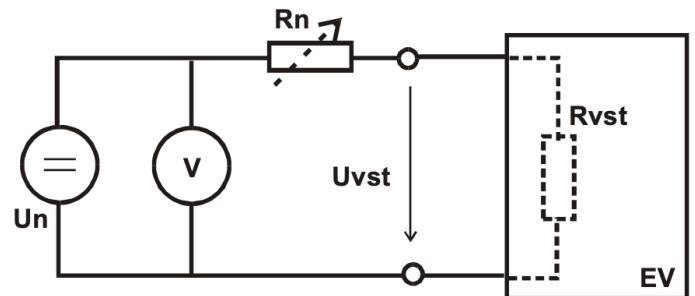


Figure 2: Zapojení pro měření vstupního odporu voltmetru

Chyby měření

Absolutní chyba měřícího přístroje se dá spočítat jako:

$$|\Delta_{Px}| = |\Delta_M| + |\Delta_R| = \frac{|\delta_M \cdot X_M| + |\delta_R \cdot X_R|}{100} \quad (2)$$

Figure 3: Jednotka veličiny X

Chyba měření může vzniknout také sériovým rušením, které je způsobeno především rušením ze sítě ($50Hz$), toto rušení integrační AD převodníky z principu potlačují. Potlačení rušení se dosahuje integrací v časovém úseku, který je celočíselným násobkem periody měřeného napětí, pro ($50Hz$) je to $20ms$.

Činitel potlačení sériového rušení je definován vztahem:

$$H = 20 \cdot \log_{10} \frac{U_{rm}}{\Delta U_{ch}} [dB] \quad (3)$$

Figure 4: Činitel potlačení sériového rušení

Kde U_{rm} je amplituda rušivého signálu a U_{ch} je chyba měření vyvolaná rušivým napětím.

Měření

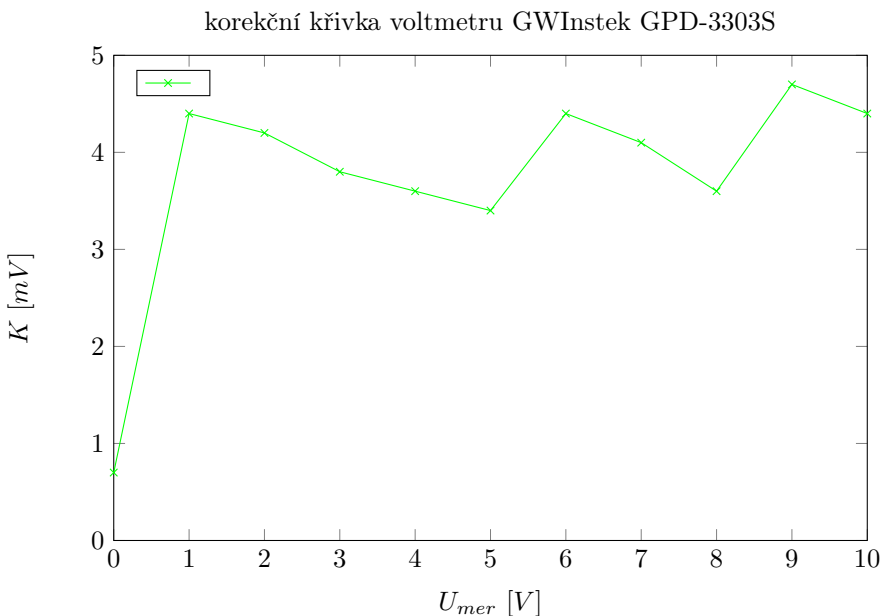
Použité přístroje

- Multimetr Keysight 34450A
- Multimetr Agilent 34401A
- Stabilizovaný zdroj napětí GW Instek GPD-3303S Generátor Siglent SDG2042X
- Odporová dekáda

Úkol 1

U_{GWI}	U_{AGI}	K	δ_U
V	V	mV	%
0.0	0.0007	-0.7	-0.07
1.0	1.0044	-4.4	-0.44
2.0	2.0042	-4.2	-0.42
3.0	3.0038	-3.8	-0.38
4.0	4.0036	-3.6	-0.36
5.0	5.0034	-3.4	-0.34
6.0	6.0044	-4.4	-0.44
7.0	7.0041	-4.1	-0.41
8.0	8.0036	-3.6	-0.36
9.0	9.0047	-4.7	-0.47
10.0	10.0044	-4.4	-0.44

Table 1: Nastavení obvodu



GWInstekGPD – 3303S...U_{GWI}
Agilent34401A...U_{AGI}

Příklad výpočtu Absolutní odchylka: $\Delta_U = U_{GWI} - U_{AGI} = (1 - 1.0044)[V] = -0.0044[V]$

Příklad výpočtu Relativní odchylka: $\Delta_U = \frac{U_{GWI} - U_{AGI}}{U_{GWI}} \cdot 100 = \frac{1 - 1.0044}{1} \cdot 100 = -0.44[\%]$

Střední odchylku můžeme určit jako: $\Delta_{str} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_{U_i}}{n} = \sum_{i=1}^{11} \frac{\Delta_{U_i}}{11} = \frac{0.7 + 4.4 + 4.2 + \dots + 4.4}{11} = 3.8[mV]$

Úkol 2

Agilent 34401A

- $R_n = 100k\Omega$
- $U_n = 1.0032V$
- $U_{vstup} = 0.9933V$

$$R_{vst} = \frac{U_{vst}}{U_n - U_{vst}} \cdot R_n = \frac{0.9933}{1.0032 - 0.9933} \cdot 100 \cdot 10^3 = 10.033[M\Omega]$$

Podle katalogového listu přístroje Agilent 34401A je jeho vstupní odpor $10M\Omega$ odchylka našeho měření je tedy $33k\Omega$

Keysight 34450A

- $R_n = 100k\Omega$
- $U_n = 1.0027V$ $R_{vst} = \frac{U_{vst}}{U_n - U_{vst}} \cdot R_n = \frac{0.9928}{1.0027 - 0.9928} \cdot 100 * 10^3 = 10.028[M\Omega]$
- $U_{vstup} = 0.9928V$

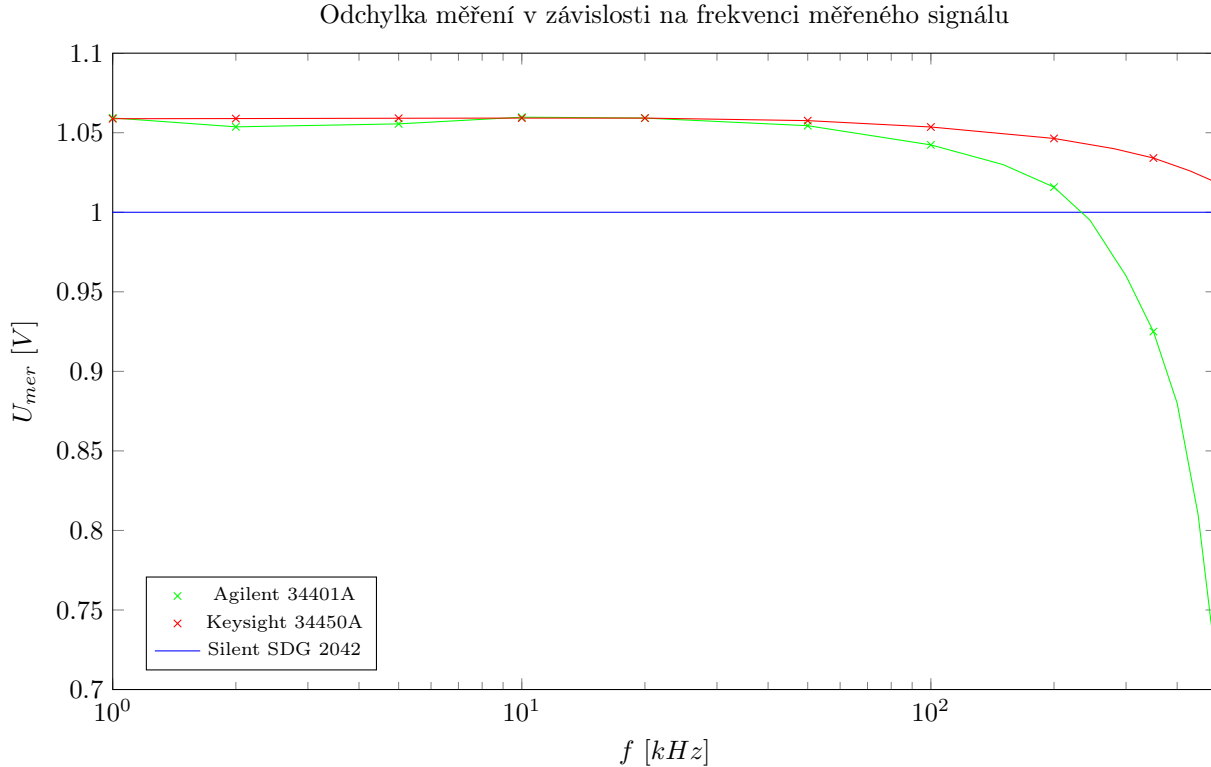
Podle katalogového listu přístroje Keysight 34450A je jeho vstupní odpor $10M\Omega$ odchylka našeho měření je tedy $28k\Omega$

Úkol 3

Pomocí generátoru jsme vytvářeli harmonický signál o amplitudě $1[V]$, kterému jsme měnili frekvenci v rozsahu $1[kHz]-500[kHz]$.

	1 [kHz]	2 [kHz]	5 [kHz]	10 [kHz]	20 [kHz]	50 [kHz]	100 [kHz]	200 [kHz]	350 [kHz]	500 [kHz]
Silent SDG 2042 [V]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agilent 34401A [V]	1,05932	1,0537	1,05556	1,05977	1,05920	1,05441	1,04235	1,0158	0,9250	0,71208
Keysight 34450A [V]	1,0588	1,0589	1,0591	1,0592	1,0592	1,0576	1,0536	1,0464	1,0341	1,0186

Table 2: Měření frekvenčního rozsahu



Katalogový frekvenční rozsah multimetru Agilent 34401A je $300[kHz]$, ale chyba jeho měření je dle našeho měření menší jak $0.1[V]$ i při frekvenci $300[kHz]$, u vyšších frekvencí pak přesnost rychle padá. U multimetru Keysight 34450A jsme naměřili odchylku měření menší jak $0.1[V]$ i při frekvence $500[kHz]$.

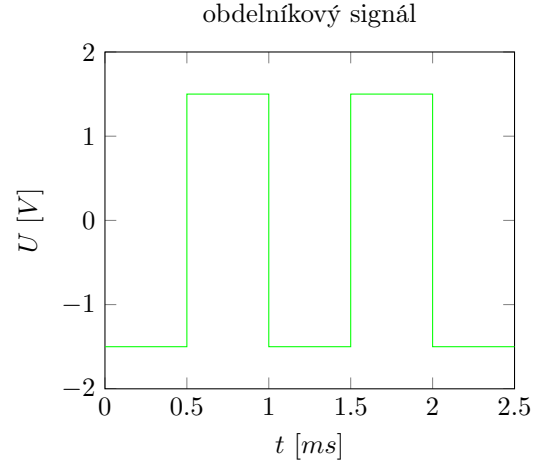
Úkol 4

Multimetrem Keysight 34450A jsme změřili nejprve obdélníkový ($U_{pp} = 3[V]; f = 1[kHz]$) signál a následně trojúhelníkový ($U_{pp} = 5[V]; f = 100[Hz]$)

- obdélníkový signál - $U_{EF} = 1.4850[V]$
- trojúhelníkový signál - $U_{EF} = 1.4411[V]$

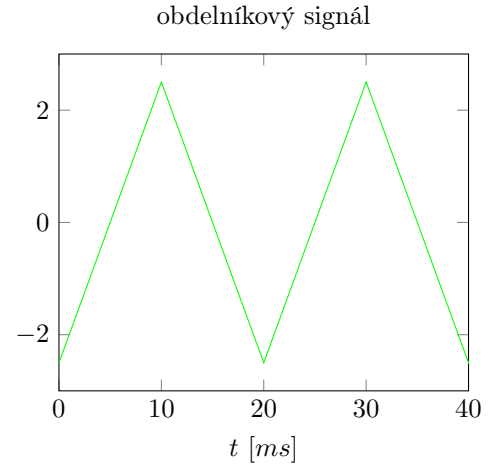
Elektivní hodnota obdélníkového signálu ($U_{pp} = 3[V]; f = 1[kHz]$) je:

$$\begin{aligned}
 U_{EF} &= \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^T U^2(t) dt \right)} = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{1000[Hz]} \left(\int_0^{\frac{1000[Hz]}{2}} 1.5^2 dt + \int_0^{\frac{1000[Hz]}{2}} (-1.5)^2 dt \right)} = \\
 &= \sqrt{1000 \cdot 2 \int_0^{0.0005} 2.25 dt} = \\
 &= \sqrt{1000 \cdot 2 \cdot [2.25t]_0^{0.0005}} = \sqrt{1000 \cdot 2 \cdot 0.001125} = 1.5[V] \\
 \text{Měření tedy oproti teorii vykazuje odchylku } 15[mV]
 \end{aligned}$$



Elektivní hodnota trojúhelníkového signálu ($U_{pp} = 5[V]; f = 100[Hz]$) je:

$$\begin{aligned}
 U_{EF} &= \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^T U^2(t) dt \right)} = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{100[Hz]} \left(\int_0^{\frac{100[Hz]}{2}} (-2.5 + 1000t)^2 dt + \int_{\frac{100[Hz]}{2}}^{\frac{100[Hz]}{2}} (7.5 - 1000t)^2 dt \right)} = \\
 &= \sqrt{100 \cdot \left(\int_0^{0.005} 6.25 - 5000t + 10^6 t^2 dt + \int_{0.005}^{0.01} 56.25 - 15000t + 10^6 t^2 dt \right)} = \\
 &= \sqrt{100 \cdot \left([6.25t - 2500t^2 + \frac{10^6 t^3}{3}]_0^{0.005} + [56.25t - 7500t^2 + \frac{10^6 t^3}{3}]_{0.005}^{0.01} \right)} = \\
 &= \sqrt{100 \cdot (0.01042 + 0.01042)} = 1.4436[V] \\
 \text{Měření tedy oproti teorii vykazuje odchylku } 2.5[mV]
 \end{aligned}$$



Úkol 5

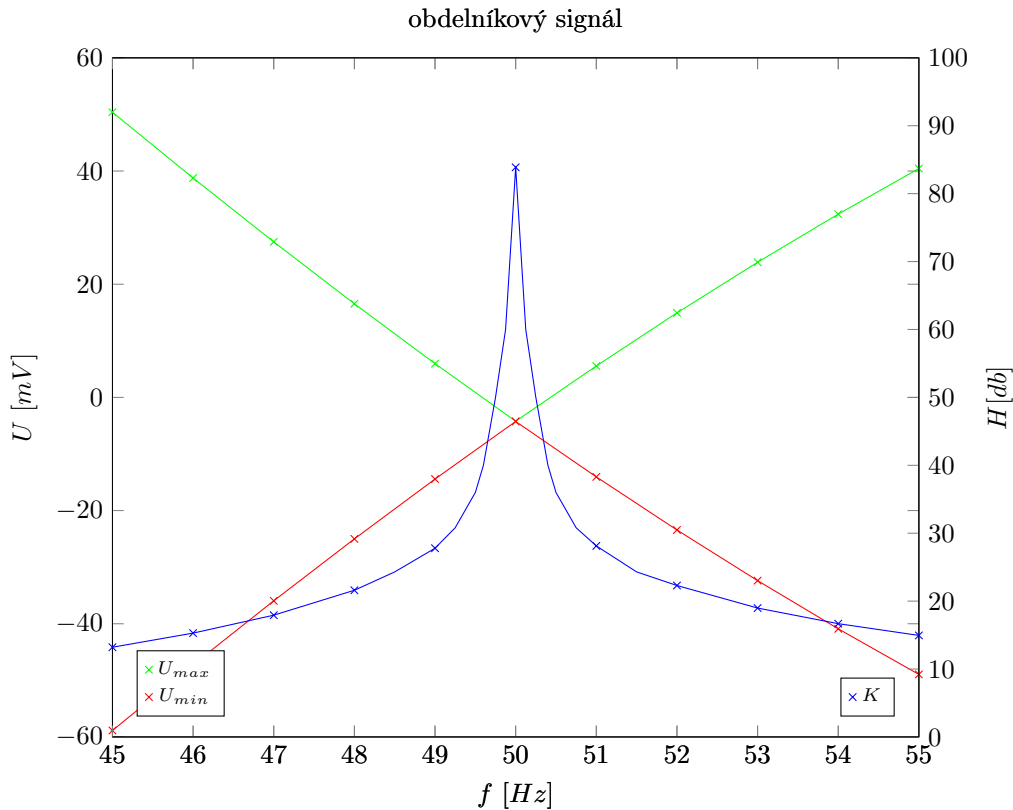
Jako zdroj rušivého signálu jsme použili zdroj Siglent SDG2042X. Signál jsme nastavili $U = 1[V]$ a frekvence v rozsahu $f = 45 - 55[Hz]$. Poprvé jsme měřili DC s potlačením rušení na multimetru Agilent 34401A s nastavením *4digit/slow* s krokem $1[Hz]$ a podruhé *5digit/slow* s krokem $0.5[Hz]$. Nastavení (Shift + On/Off (tlačítko <) → A: MEAS MENU → 5: RESOLUTION → SLOW 4 Digit), pohyb v menu je možný šípkami, doprava/doleva, pohyb na stejné úrovni a nahoru/dolu, zanořování/vynořování z menu.

4digit/slow

$f[Hz]$	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
$U_{min}[mV]$	-58.85915	-47.24265	-35.94526	-25.00425	-14.42704	-4.25088	-14.04514	-23.42666	-32.3752	-40.8929	-48.95002
$U_{max}[mV]$	50.39674	38.76532	27.48497	16.54395	5.96569	-4.21890	5.555070	14.93445	23.88194	32.38476	40.44185
$H[db]$	13.21	15.29	17.93	21.6	27.79	83.88	28.13	22.30	18.98	16.68	14.95

Table 3: Měření potlačení rušení

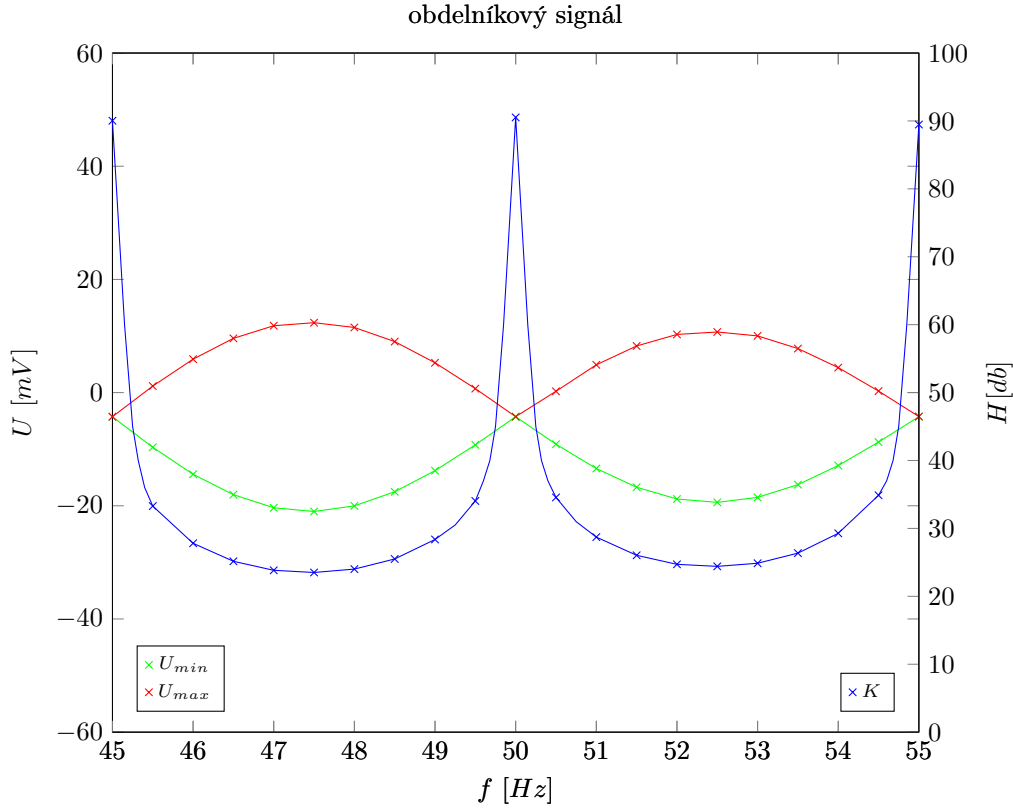
$$\begin{aligned} \text{Příklad výpočtu činitele potlačení } H &= 20 \cdot \log \frac{U_{rm}}{U_{max} - U_{min}} = 20 \cdot \log \frac{0.5[V]}{50.39674[mV] - (-58.85915[mV])} = \\ &= 20 \cdot \log 4.5764123106 = 20 \cdot 0.66052514518 = 13.2105029038[db] \end{aligned}$$



z grafu je vidět, že k maximálnímu potlačení dochází při frekvenci $f = 50[Hz]$, což odpovídá katalogové době integrace $20[ms]$ neboli době jedné periody signálu při $50[Hz]$.

$f[Hz]$	45	45.5	46	46.5	47	47.5	48	48.5	49	49.5	50
$U_{min}[mV]$	-4.272580	-9.665100	-14.43364	-18.03363	-20.34893	-21.00985	-20.01260	-17.52565	-13.79643	-9.225550	-4.267470
$U_{max}[mV]$	-4.256830	1.151330	5.907290	9.584040	11.81288	12.35328	11.50694	9.011730	5.270620	0.702420	-4.252580
$H[db]$	90.03	33.29	27.81	25.16	23.83	23.51	24.01	25.50	28.37	34.04	90.52
$f[Hz]$	50.5	51	51.5	52	52.5	53	53.5	54	54.5	55	-
$U_{min}[mV]$	-9.121300	-13.41932	-16.71928	-18.80408	-19.39767	-18.51760	-16.26441	-12.88690	-8.739080	-4.250770	-
$U_{max}[mV]$	0.230840	4.907340	8.238250	10.27816	10.70612	10.01871	7.785190	4.414380	0.271600	-4.233960	-
$H[db]$	34.56	28.72	26.04	24.71	24.41	24.87	26.36	29.28	34.88	89.47	-

Table 4: Měření potlačení rušení



z grafu je vidět, že k maximálnímu potlačení dochází při třech frekvencích $f = 45; 50; 55[Hz]$, což odpovídá katalogové době integrace $200[ms]$ neboli době deseti period signálu při $50[Hz]$. Frekvenci $45[Hz]$ odpovídá perioda $22.22[ms]$ a v době $200[ms]$ se tak zopakuje devětkrát. Frekvenci $55[Hz]$ pak odpovídá perioda $18.18[ms]$ a v době $200[ms]$ se tak zopakuje jedenáctkrát. Proto má Činitel potlačení sériového rušení H maximum na frekvencích $45; 50; 55[Hz]$ a to v hodnotě cca $90[dB]$.

Závěr

Úkol 1

Změřili jsme Korekční křivku multimetru zdroje GWInstekGPD 3303S. Střední odchylka nám vyšla $3.8[mV]$.

Úkol 2

Vstupní odpor voltmetru Agilent 34401A je podle jeho dokumentace $10[M\Omega]$, mi jsme změřili $10.033[M\Omega]$ což znamená odchylku $33[k\Omega]$ Vstupní odpor voltmetru Keysight 34450A je podle jeho dokumentace $10[M\Omega]$, mi jsme změřili $10.028[M\Omega]$ což znamená odchylku $28[k\Omega]$

Úkol 3

Katalogový frekvenční rozsah multimetru Agilent 34401A je $300[kHz]$, ale chyba jeho měření je dle našeho měření menší jak $0.1[V]$ i při frekvenci $300[kHz]$, u vyšších frekvencí pak přesnost rychle padá. U multimetru Keysight 34450A jsme naměřili odchylku měření menší jak $0.1[V]$ i při frekvenci $500[kHz]$.

Úkol 4

Obdélníkový signál ($U = 3[V]$; $f = 1000[Hz]$) jsme změřili s odchylkou oproti teorii $15[mV]$ a trojúhelníkový signál ($U = 5[V]$; $f = 100[Hz]$) s odchylkou $2.5[mV]$. Z měření plyne, že měření trojúhelníkového průběhu je přesnější než měření obdélníkového průběhu.

Úkol 5

Z měření je vidět, jak doba integrace ovlivňuje potlačení rušení, čím delší úsek tím větší činitel potlačení. Měření také potvrzuje, že činitel potlačení nabývá maxima ve chvíli, kdy je doba integrace celočíselným násobkem periody měřeného signálu.