

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 28. září 2017

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** III

Testováno:

Úloha č. 1: Studium elektromagnetické indukce

Povinná část:

1. Změřte závislost amplitudy a šířky napěťového pulzu indukovaného v cívce na úhlové amplitudě kmitů (a tedy na rychlosti magnetu prolétajícího cívkou) a ověřte, že přibližně platí $U_{max} \sim \vartheta_{max}$ a $\Delta t \sim \vartheta_{max}^{-1}$.
2. Užitím vztahu (3) mezi šířkou pulzu a rychlostí průletu určete efektivní poloměr použité cívky. S pomocí parametrů cívky a vztahu (4) dále odhadněte magnetický dipólový moment použitého magnetu.

Povinně volitelná část:

1. Pro několik hodnot zatěžovacího odporu R sledujte tlumení kmitavého pohybu magnetu a určete časovou závislost amplitudy kmitů ϑ_{max} . V případě malého zatěžovacího odporu byste měli pozorovat lineární pokles amplitudy kmitů [viz. (8)], v opačném případě je charakter poklesu spíše exponenciální [viz. rovnice (9)].
2. Ověřte, zda je směrnice poklesu amplitudy kmitů pro případ dominantního elektromagnetického tlumení nepřímo úměrná $R + R_c$, jak předpovídá teorie.
3. Stanovte koeficient útlumu β pro případ dominujícího mechanického tlumení.

1. Teoretický úvod

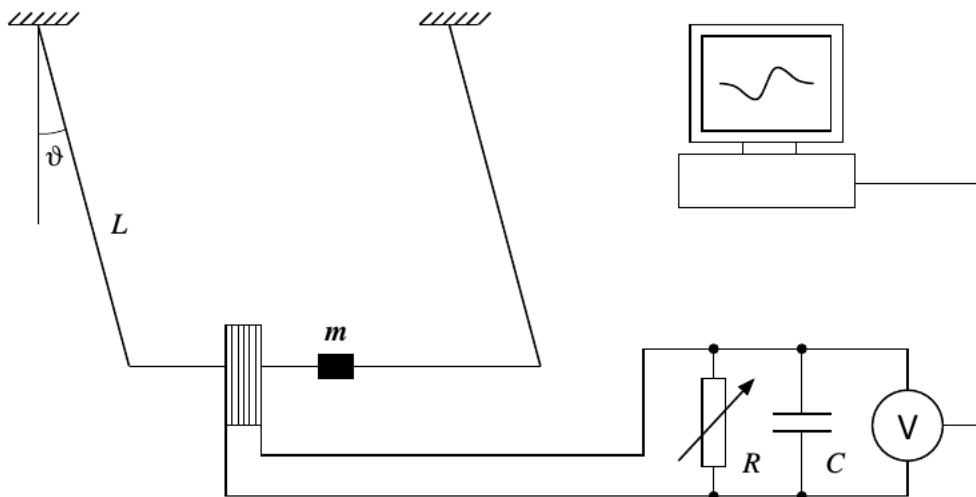
V této úloze budeme studovat elektromagnetickou indukci. Zdrojem magnetického pole je permanentní magnet upevněný na dvojitým kyvadle. Při kmitavém pohybu magnet prolétává cívkou (obrázek 1) a indukuje v ní napěťové pulzy, jejichž časovou závislost budeme zaznamenávat. Budeme využívat Faradayova zákona, jež vyjadřuje vztah mezi napětím indukovaným ve smyčce a časovou změnou magnetického toku:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Nechť v čase $t = 0$ prochází dipól středem cívky, pak je jeho x -ová souřadnice vyjádřena vztahem $x = v_{max}t$. Provedeme-li za toho předpokladu časovou derivaci magnetického indukčního toku, získáme vztah pro napětí na cívce s N závitů:

$$U(t) = -N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{3N\mu_0 m v_{max}}{2a^2} \frac{v_{max}t/a}{[1 + (v_{max}t/a)^2]^{5/2}}, \quad (2)$$

kde a je poloměr cívky a m je magnetický dipólový moment magnetu.



Obrázek 1: Schéma uspořádání experimentu.

Křivka indukovaného napětí (jednoho pulzu) obsahuje jedno maximum a jedno minimum (obrázek 2). Minimum napětí bude v bodě $t_{min} = -a/2v_{max}$ a maximum v bodě $t_{max} = a/2v_{max}$. Pro šířku pulzu Δt tedy platí:

$$\Delta t = a v_{max}^{-1}. \quad (3)$$

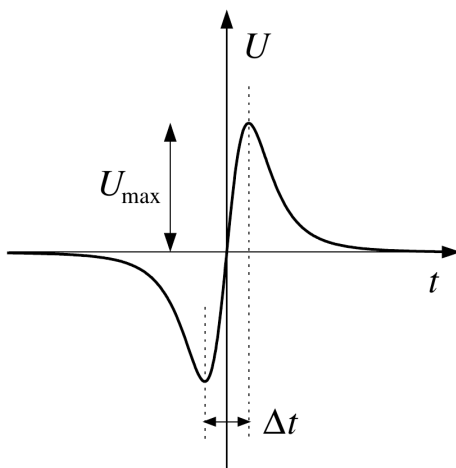
Pro amplitudu napětí pak platí vztah:

$$U_{max} = \frac{24}{25\sqrt{5}} \frac{N\mu_0 m}{a^2} v_{max}. \quad (4)$$

Rychlost magnetu při průletu cívkou ze zákona zachování energie, pro malé úhly ϑ_{max} bude přibližně platit:

$$v_{max} \approx \sqrt{gL} \vartheta_{max}, \quad (5)$$

kde L je délka závěsu kyvadla.



Obrázek 2: Průběh napětí indukovaného v cívce.

1.1. Tlumení pohybu magnetu

V případě čistě elektromagnetického tlumení magnetu dochází ke ztrátě energie při průletu cívkou. Indukované napětí vyvolá proud cívkou a její pole pak brzdí pohyb magnetu. Úbytek mechanické energie stanovíme pomocí ztrátového výkonu na zatěžovacím odporu R a na vlastním odporu cívky R_c :

$$\Delta E = \int_{pruleť} \frac{U^2}{R + R_c} dt. \quad (6)$$

Ukazuje se, že úbytek energie je přímo úměrný v_{max} :

$$\Delta E = K v_{max}, \quad \text{kde} \quad K = \frac{45 \pi}{512} \frac{N^2 \mu_0^2 m^2}{(R + R_c) a^3}. \quad (7)$$

Pro lineární pokles amplitudy kmitů tedy bude platit:

$$\vartheta_{max}(t) = \vartheta_{max}(0) - \alpha t, \quad \text{kde} \quad \alpha = \frac{2K}{TM\sqrt{gL}}, \quad (8)$$

kde T je perioda kmitů a M je hmotnost kyvadla.

Pro případ čistě mechanického tlumení získáme úbytek mechanické energie během jednoho kyvu integrací výkonu odporové síly. Zjistíme, že amplituda bude nyní klesat s časem exponenciálně a bude platit:

$$\vartheta_{max}(t) \sim e^{-\beta t}, \quad (9)$$

kde β je koeficient útlumu pro případ mechanického tlumení.

2. Měření

2.1. Měření závislosti amplitudy a šířky pulzů na úhlové amplitudě a určení poloměru cívky a magnetického dipólového momentu magnetu

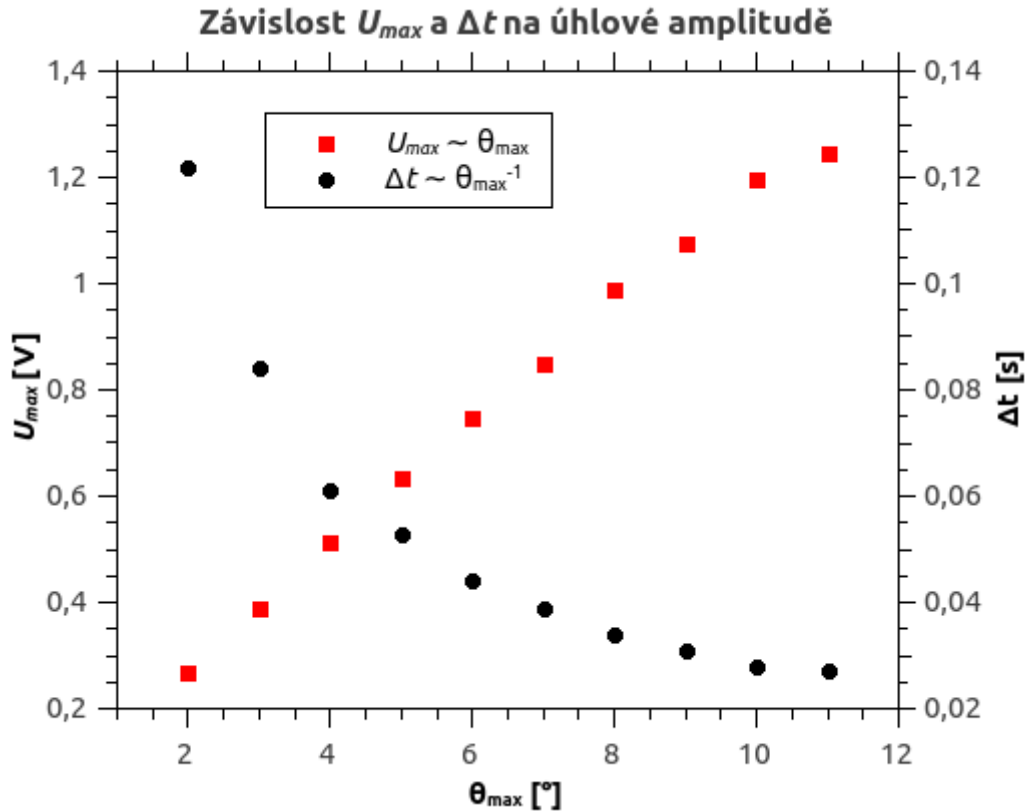
Pro jednotlivé úhly změříme průběh jednoho průletu magnetu cívkou a určíme z něj amplitudu napětí U_{max} a šířku pulzu Δt . Z těchto veličin následně podle vztahů (3) a (4) určíme poloměr cívky a a magnetický dipólový moment magnetu.

Tabulka 1: Závislost šířky a amplitudy pulzů. Poloměr cívky a magnetický moment magnetu.

ϑ_{max} [°]	v_{max} [m/s]	Δt [s]	U_{max} [V]	a [m]	m [Am ²]
2	0,134	0,122	0,268	0,0163	1,18
3	0,201	0,084	0,388	0,0169	1,14
4	0,268	0,061	0,515	0,0164	1,13
5	0,335	0,053	0,633	0,0178	1,11
6	0,402	0,044	0,748	0,0176	1,10
7	0,468	0,039	0,850	0,0181	1,07
8	0,535	0,034	0,989	0,0180	1,09
9	0,602	0,031	1,075	0,0187	1,05
10	0,669	0,028	1,197	0,0187	1,05
11	0,735	0,027	1,244	0,0198	1,00

Poloměr cívky $a = (1,78 \pm 0,06)$ cm

Magnetický moment magnetu $m = (1,09 \pm 0,09)$ A m²



Graf 1: Závislost amplitudy napětí a šířky pulzu na počáteční úhlové výchylce.

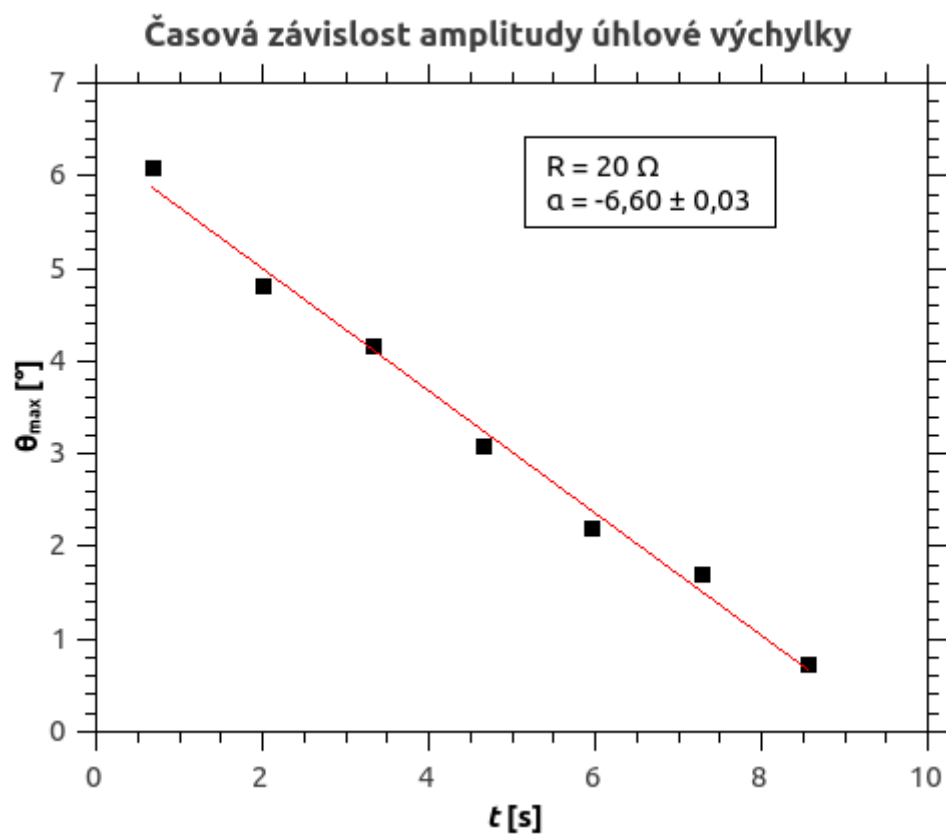
2.2. Měření časové závislosti amplitudy kmitů

Pro jednotlivé odpory (20 Ω , 40 Ω , 60 Ω , 80 Ω , 100 Ω , 120 Ω , 150 Ω , 200 Ω , 1 k Ω a 1 M Ω) změříme časovou závislost indukovaného napětí. Z ní určíme závislost šířky pulzů a amplitudy napětí a podle vztahů (4) a (5) dopočítáme úhlovou amplitudu ϑ_{max} .

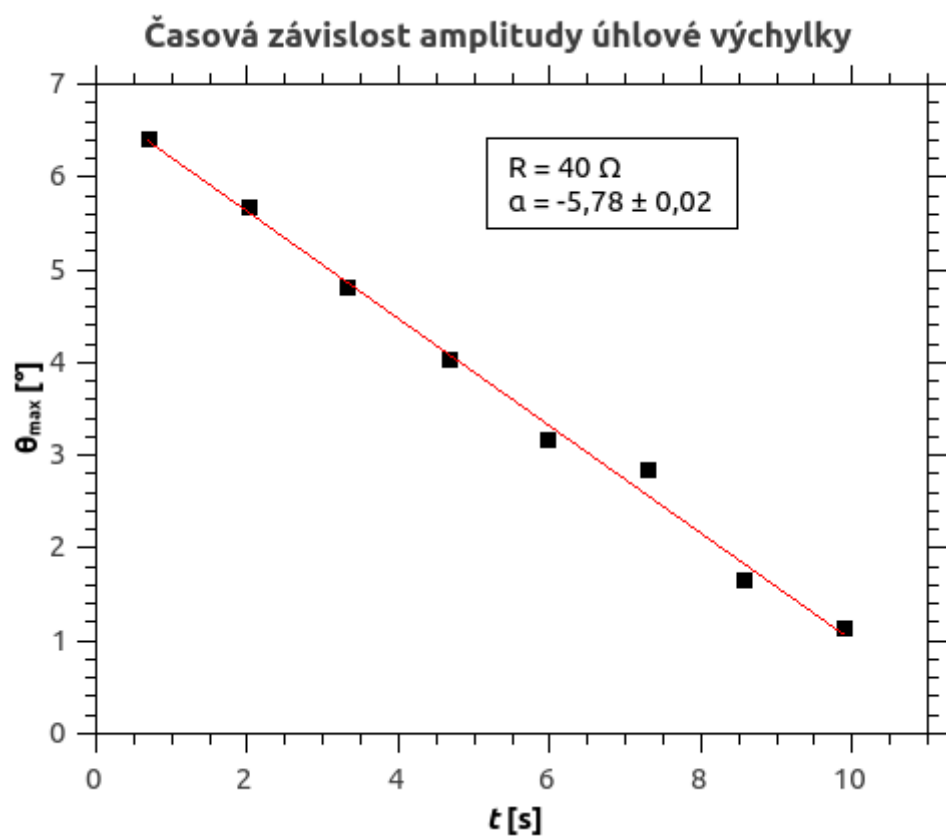
3. Závěr

Z měření průběhu indukovaného napětí jsem určil poloměr cívky $a = (1,78 \pm 0,06)$ cm a magnetický dipólový moment magnetu $m = (1,09 \pm 0,09)$ A m².

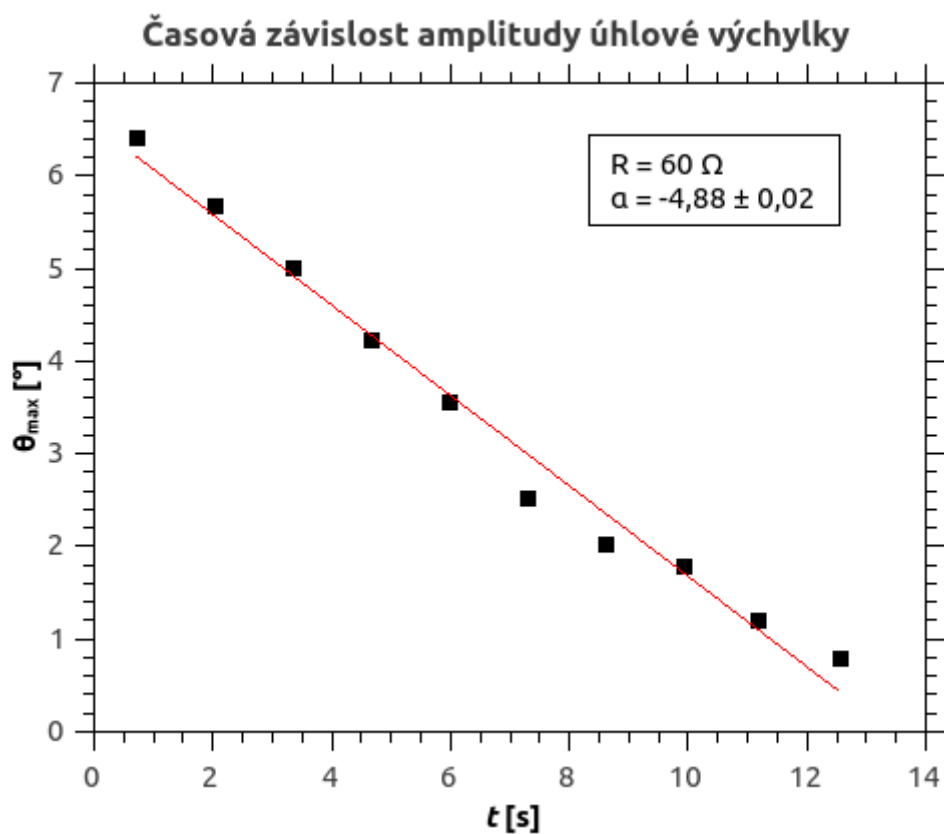
Pro různé odpory jsem určil časový průběh amplitudy napětí a koeficient jejího útlumu (grafy 2 - 11). Následně jsem získal závislost koeficientu útlumu α pro převážně elektromagnetické tlumení pohybu magnetu (graf 12).



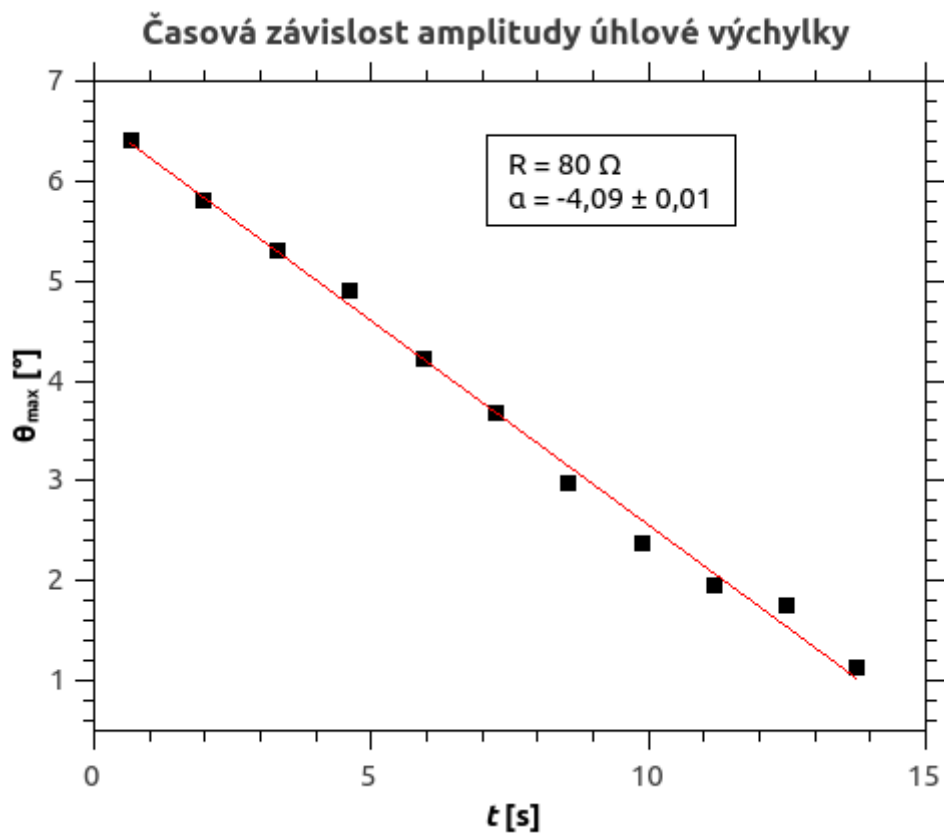
Graf 2: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 20 \, \Omega$).



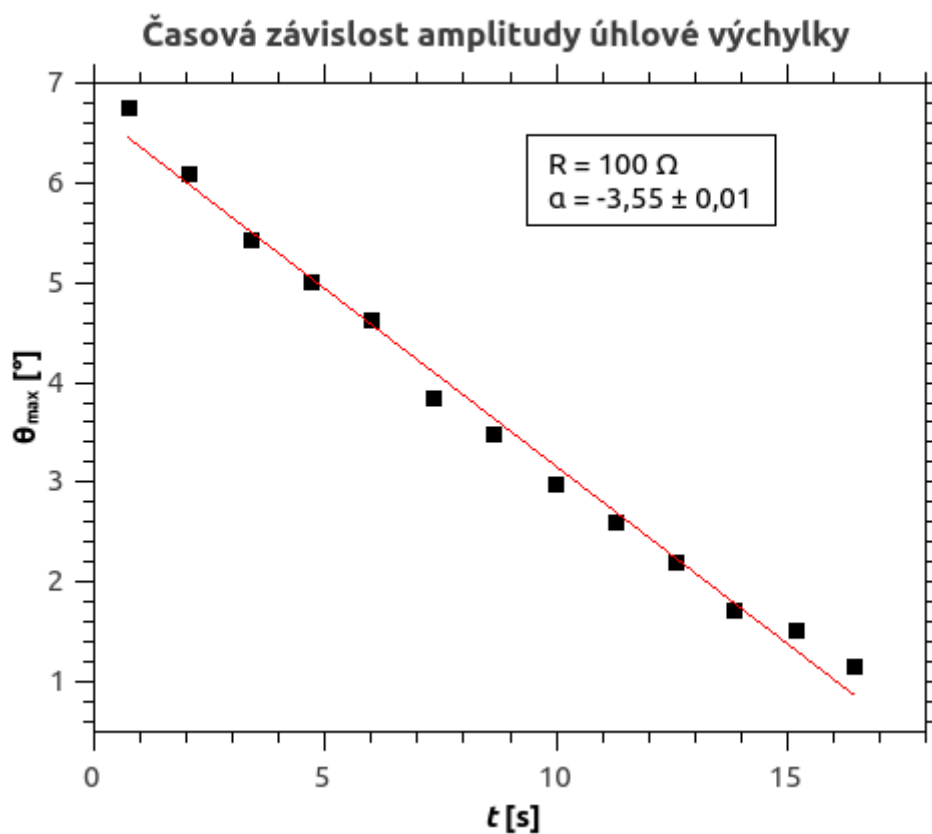
Graf 3: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 40 \, \Omega$).



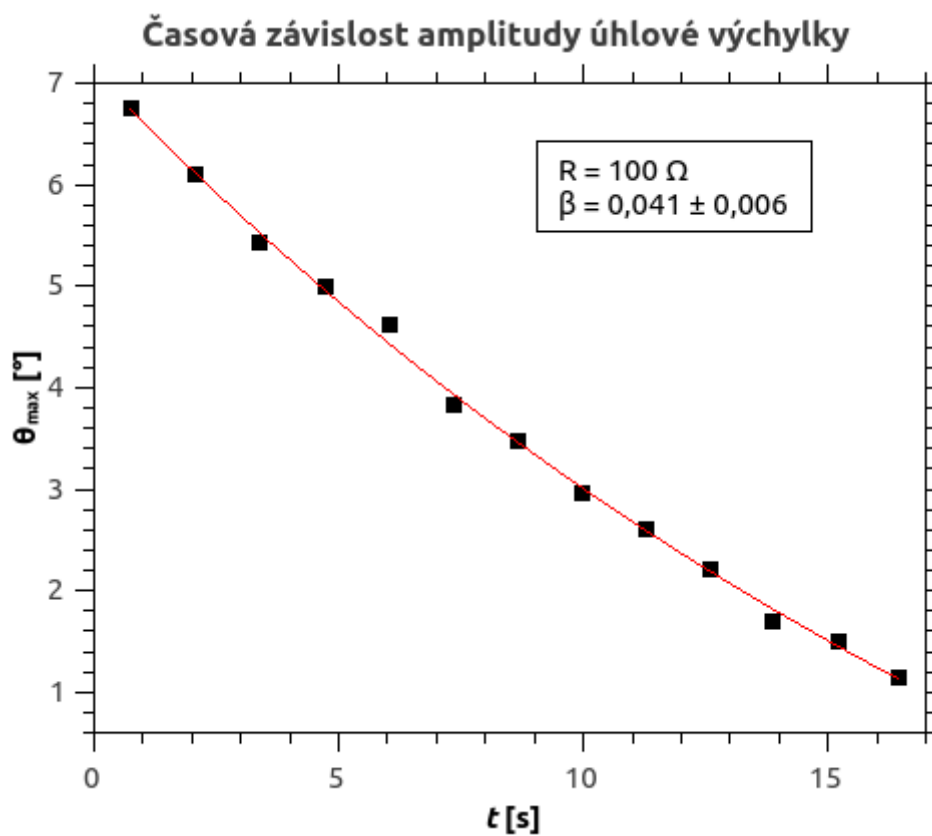
Graf 4: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 60 \, \Omega$).



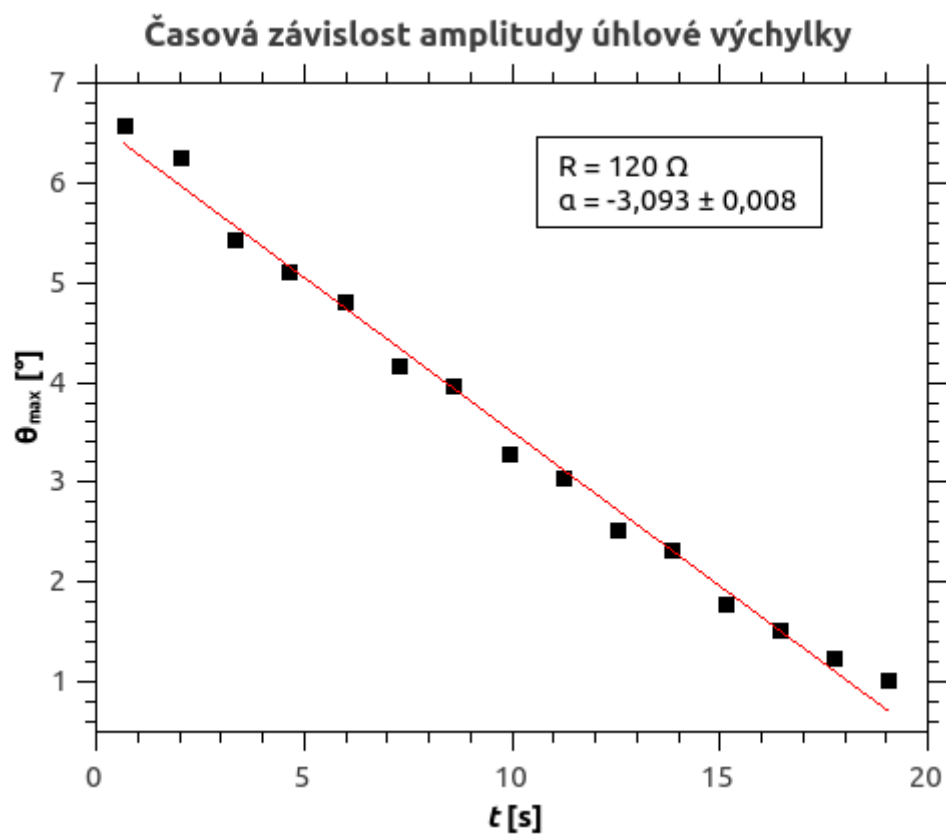
Graf 5: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 80 \, \Omega$).



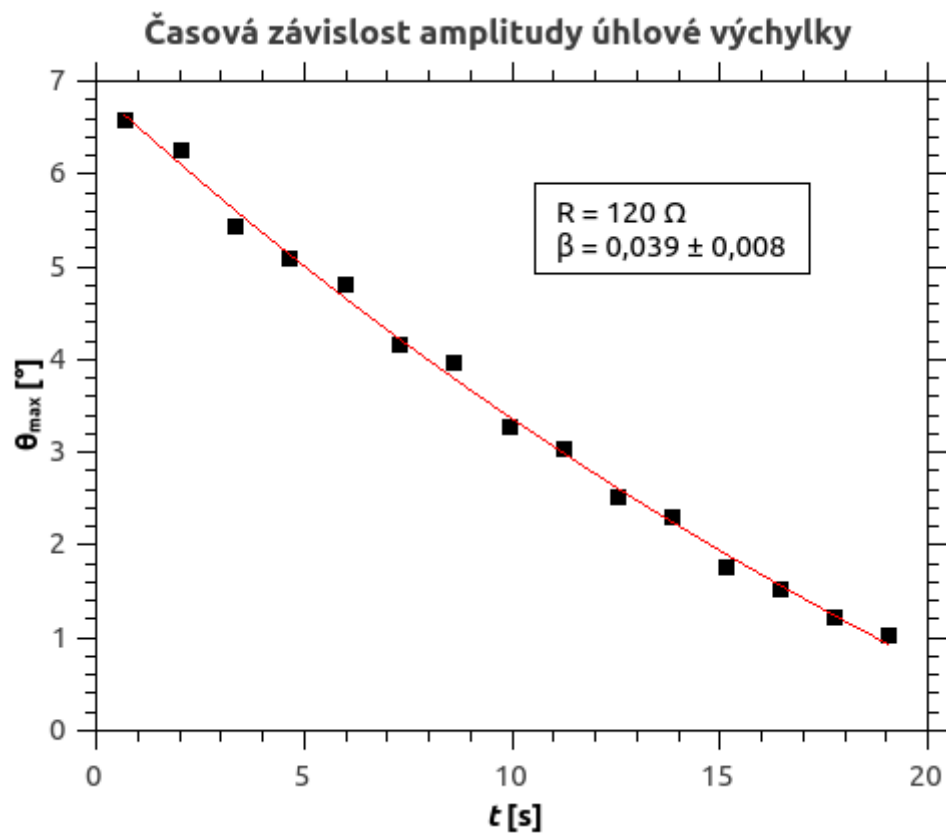
Graf 6a: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 100 \, \Omega$).



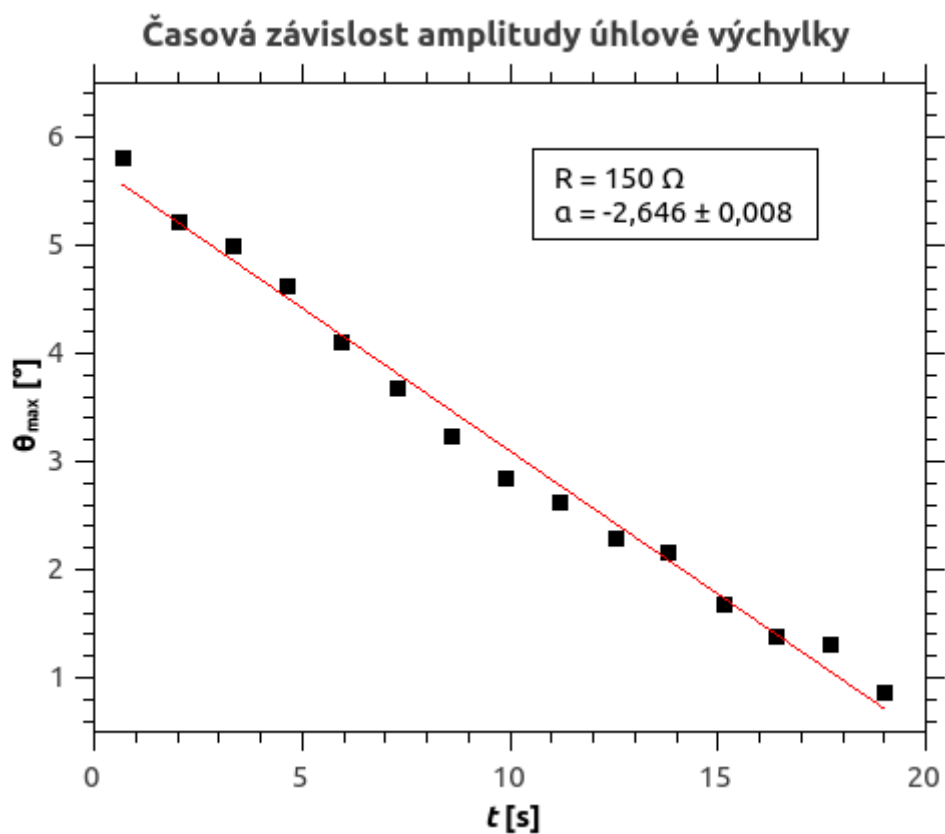
Graf 6b: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 100 \, \Omega$).



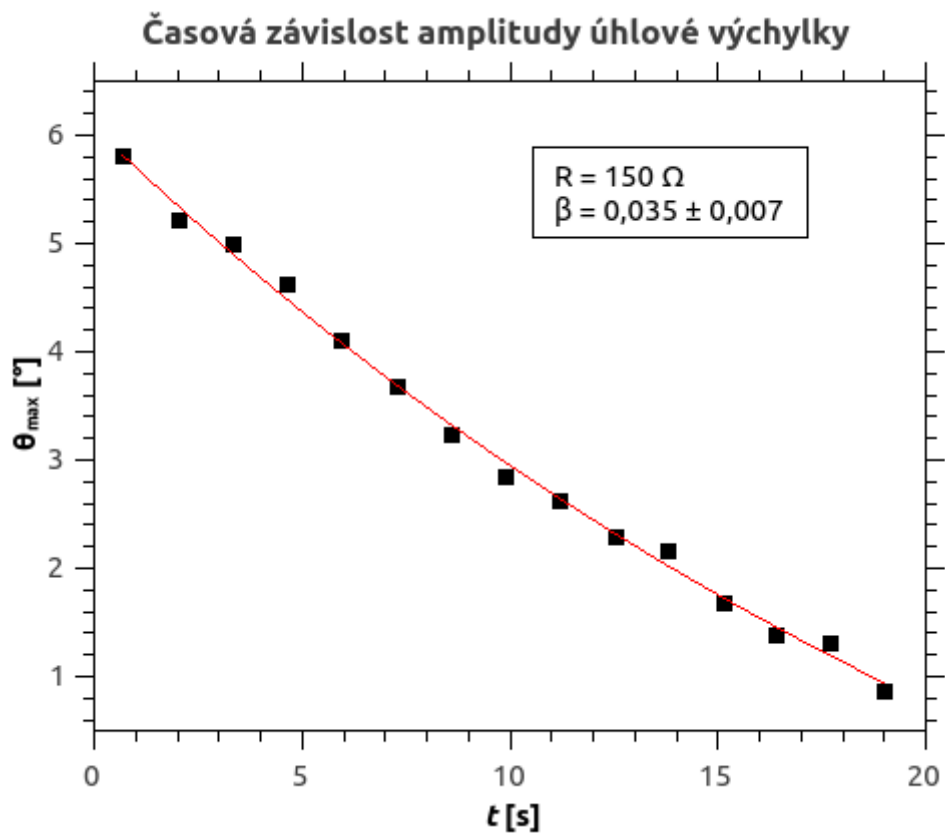
Graf 7a: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 120 \, \Omega$).



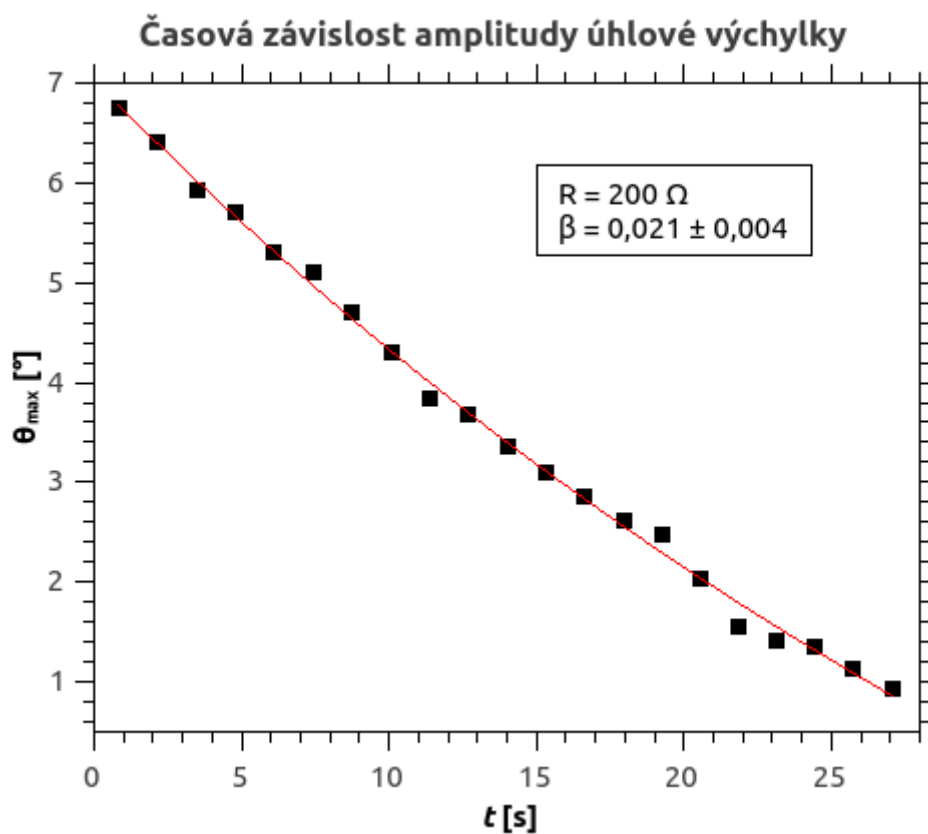
Graf 7b: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 120 \, \Omega$).



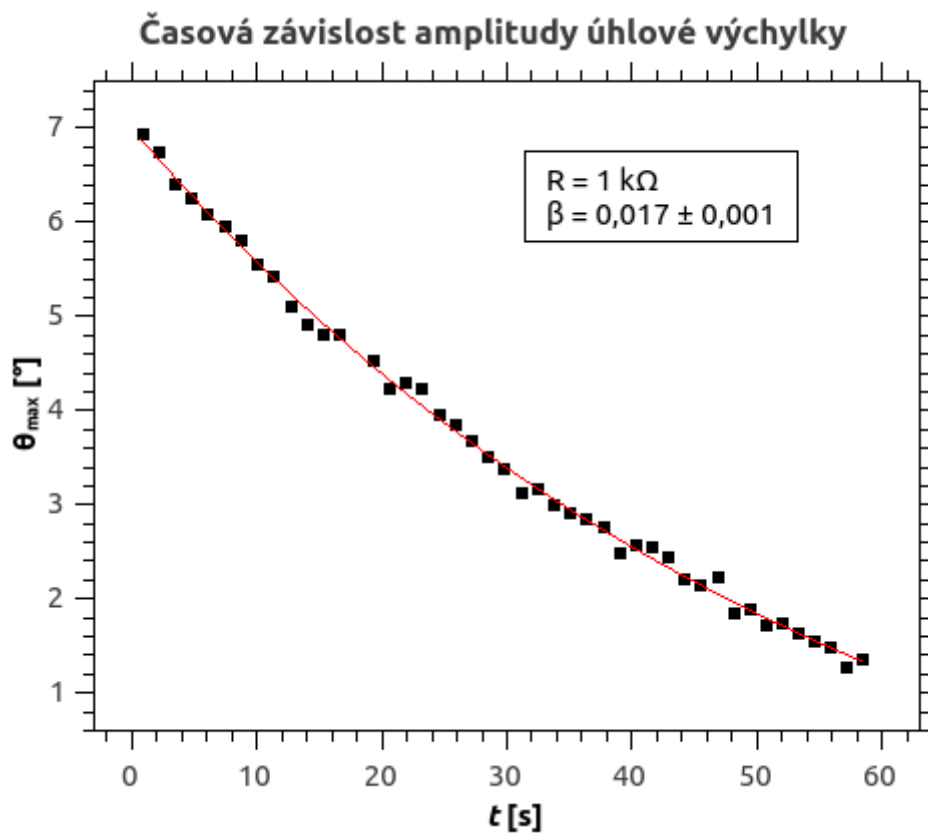
Graf 8a: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 150 \, \Omega$).



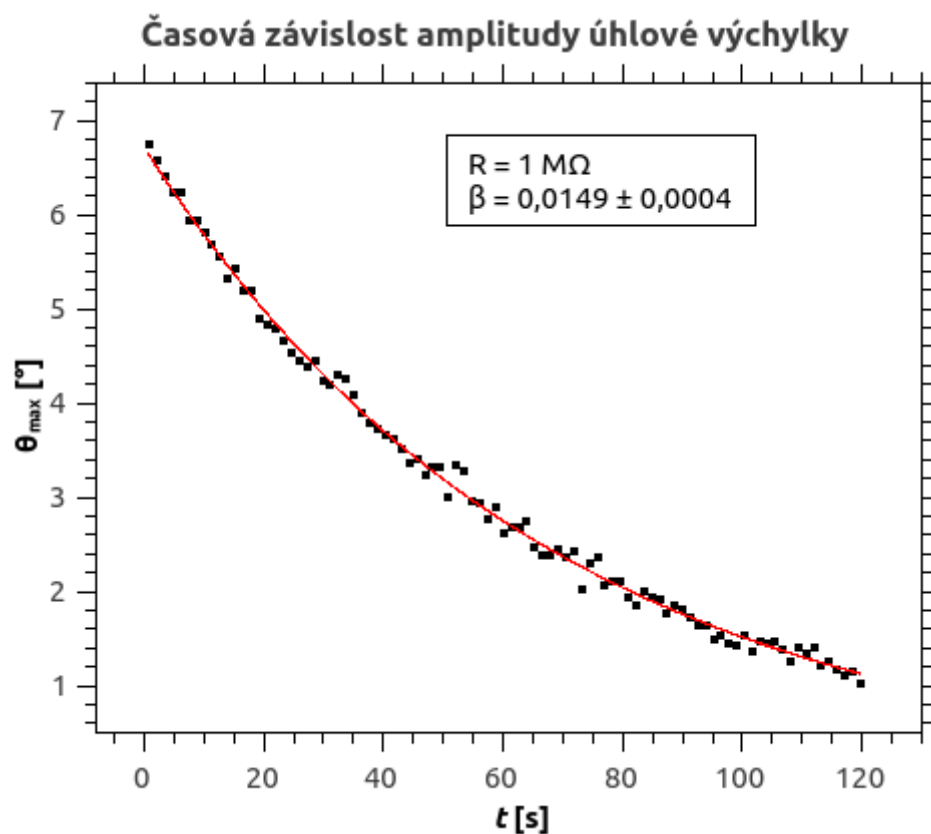
Graf 8b: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 150 \, \Omega$).



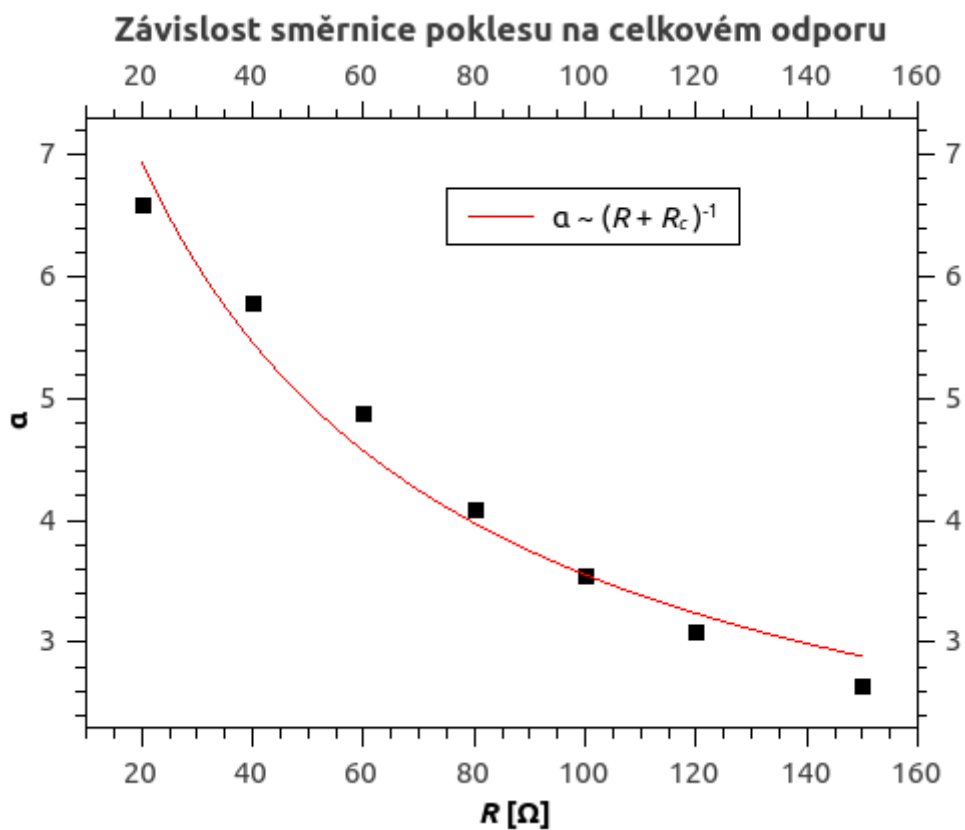
Graf 9: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 200 \, \Omega$).



Graf 10: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 1 \, k\Omega$).



Graf 11: Závislost úhlové amplitudy na čase (odpor $R = 1 \text{ M}\Omega$).



Graf 12: Ověření nepřímé úměry směrnice poklesu na celkovém odporu.