

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 24. září 2018

Obor: UF

Skupina: F2180/06

Testováno:

Úloha . 1: Studium elektromagnetické indukce

$$T = 22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 988 \text{ hPa}$$

$$\varphi = 37 \%$$

1. Povinná část

- Změřte závislost amplitudy a šířky napěťového pulzu indukovaného v cívce na úhlové amplitudě kmitů (a tedy na rychlosti magnetu prolétající cívkou) a ověřte, že přibližně platí $U_{max} \sim \vartheta_{max}$ a $\Delta t \sim \vartheta_{max}^{-1}$.
- Užitím vztahu (2) 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.

1.1. Teorie

Pakliže prochází cívkou magnet, jeho proměnné magnetické pole indukuje v této cívce napětí. Rychlost „průletu“ magnetu v_{max} můžeme určit ze vztahu

$$v_{max} = 2\sqrt{gL} \sin\left(\frac{\vartheta_{max}}{2}\right), \quad (1)$$

kde g je tíhové zrychlení, L délka kyvadla a ϑ_{max} úhlová amplituda jeho kmitů.

Šířka pulzu je nepřímo úměrná rychlosti průletu, tedy

$$\Delta t = a v_{max}^{-1}, \quad (2)$$

kde a je efektivní poloměr cívky. Šířku pulzu se určí jednoduše z rovnice

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (3)$$

Amplituda napětí je přímo úměrná rychlosti průletu jako

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

kde N je počet závitů cívky, μ_0 je permeabilita vakua a m magnetický dipólový moment magnetu.

Označíme-li konstantu přímé úměrnosti jako b , můžeme magnetický dipólový moment m magnetu spočítat ze vztahu

$$m = \frac{24}{25\sqrt{5}} \frac{a^2}{N\mu_0} b \quad (5)$$

1.2. Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Parametry kyvadla

L	1,7 m
N	1000

Tabulka 2: Naměřené hodnoty maximální výchylky ϑ_{max} , maximálního napětí U_{max} a časů minimálního a maximálního napětí t_2 a t_1 .

ϑ_{max} [°]	U_{max} [V]	U_{min} [V]	t_1 [s]	t_2 [s]
2	0.272181	-0.2935	0.413001	0.526000
4	0.535356	-0.5346	0.549000	0.610001
6	0.909814	-0.9299	0.468001	0.504001
9	1.151101	-1.1462	0.5550001	0.584000
11	1.269895	-1.2800	0.843001	0.869001

1.3. Zpracování měření

Šířku pulzu jsem určil z rovnice (3) a maximální rychlost jsem určil z rovnice (1). Hodnoty jsem zapsal do tabulky 3.

Tabulka 3: Vypočtené hodnoty maximální rychlosti.

ϑ_{max} [°]	Δt [s]	v_{max} [ms ⁻¹]
2	0,112999	3,4554001
4	0,061001	6,9097478
6	0,036000	10,361990
9	0,028999	15,534108
11	0,026000	18,976490

Pomocí grafu a nepřímé úměrnosti, kterým je svázána šířka pulzu Δt s rychlostí průletu magnetu v_{max} podle vztahu (3) jsem vytvořil graf, který je na obrázku 7 a proložil jej křivkou nepřímé úměrnosti s rovnicí

$$y = \frac{a}{x},$$

kde koeficient a má pro nás význam efektivní šířky cívky. Dostal jsem tedy výsledek

$$a = (0,3989 \pm 0,0306) \quad (6)$$

Z přímé úměrnosti mezi amplitudou napětí a rychlostí průletu jsem určil konstantu b tak, že jsem sestrojil graf a proložil ho přímkou o rovnici

$$y = b \cdot x.$$

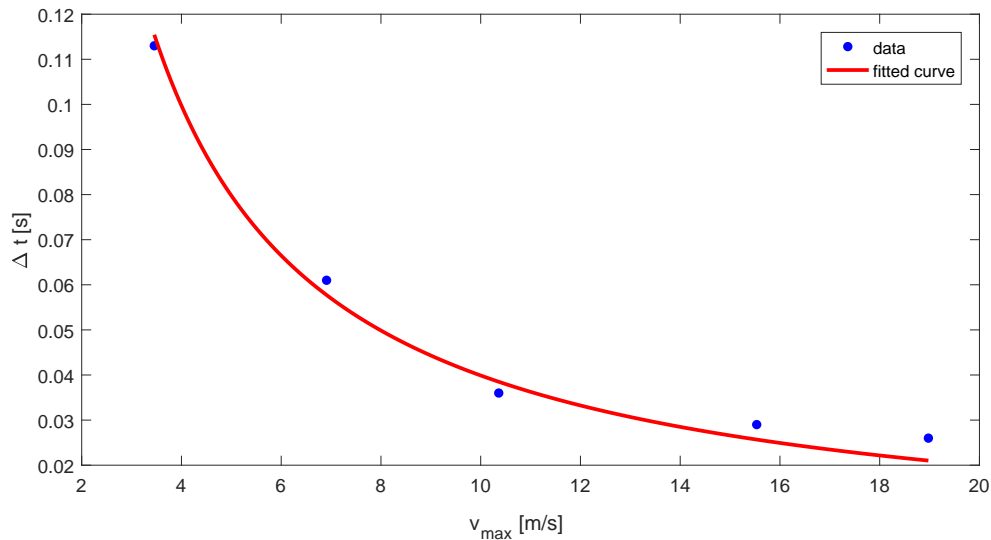
Koeficient b je tedy

$$b = (0.07293 \pm 0,00982) \text{ V} \cdot \text{sm}^{-1} \quad (7)$$

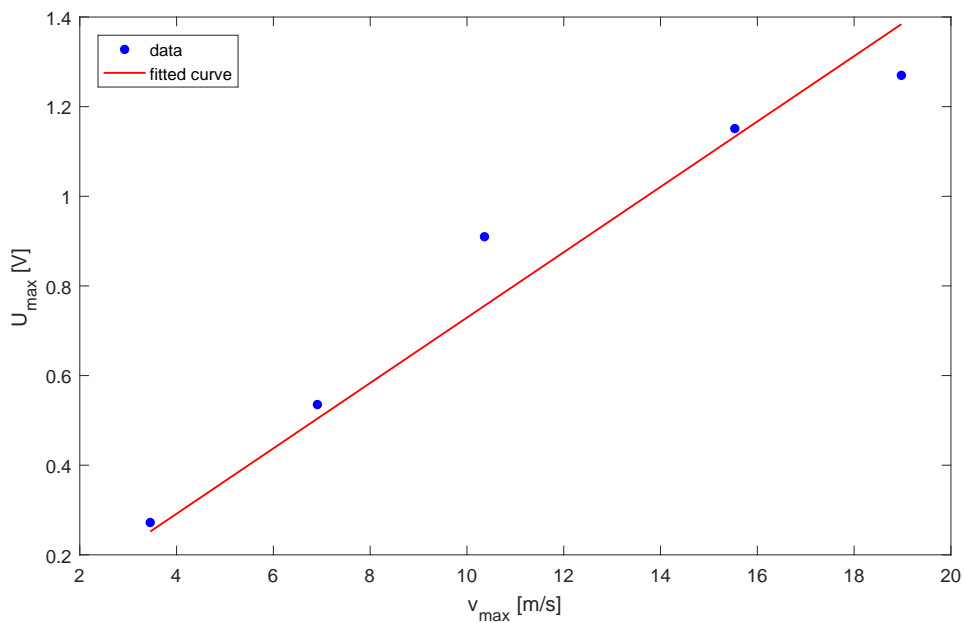
Pak jsem dopočetl dipólový magnetický moment m magnetu z rovnice (5) a její nejistoty jsem určil ze zákona přenášení nejistot jako:

$$u(m) = \frac{24}{125} \cdot \frac{\sqrt{5a}\sqrt{a^2u(b) + 4b^2u(a)^2}}{N\mu_0} \quad (8)$$

$$m = (3,95 \pm 0,08) \text{ A} \cdot \text{m}^2 \quad (9)$$



Obrázek 1: Graf závislosti šířky pulzu na rychlosti průletu magnetu cívkou. Graf je proložen křivkou nepřímé úměrnosti.



Obrázek 2: Graf závislosti šířky pulzu na rychlosti průletu magnetu cívkou. Graf je proložen křivkou přímé úměrnosti.

2. Povinně volitelná varianta A

- *Studujte tlumení indukovaných pulzů.*

2.1. Teorie

Tlumené kyvadla s magnetem je dvojího druhu. Mechanické a také elektromagnetické. Pokud dominuje mechanické tlumení, platí pro tlumení energie vztah

$$E(t) = E_0 \cdot e^{-\beta t} \quad (10)$$

Pro tlumení napětí platí, že

$$U_{max}(t) \sim e^{\frac{-\beta t}{2}} \quad (11)$$

Pakliže dominuje elektromagnetické tlumení, potom tlumení úhlové amplitudy splňuje vztah

$$\theta_{max}(t) = \theta_0 - \alpha t \quad (12)$$

Protože můžeme změřit amplitudu napětí, tak amplitudu úhlu spočteme podle vztahu

$$\theta_{max} = \frac{25\sqrt{5}}{24} \cdot \frac{a^2}{N\mu_0 m \sqrt{gL}} \cdot U_{max} \quad (13)$$

Toto tlumení by mělo být nepřímo úměrné součtu zatěžovacího odporu R a vlastního odporu cívky R_c což se ověří tak, že označíme

$$\alpha = \frac{B}{R + R_c} \implies B = \alpha(R + R_c) \quad (14)$$

2.2. Postup měření

Pro několik hodnot zatěžovacího odporu R jsem sledoval tlumení kmitavého pohybu magnetu a měřil jsem časovou závislost amplitudy kmitů ϑ_{max} .

2.3. Naměřené hodnoty

Z důvodu velkého objemu dat zde nebudu uvádět tabulky s naměřenými hodnotami. Všechny potřebné hodnoty, které jsem naměřil jsem vizualizovány v grafech na obrázcích [8](#), [9](#) a [10](#).

2.4. Zpracování měření

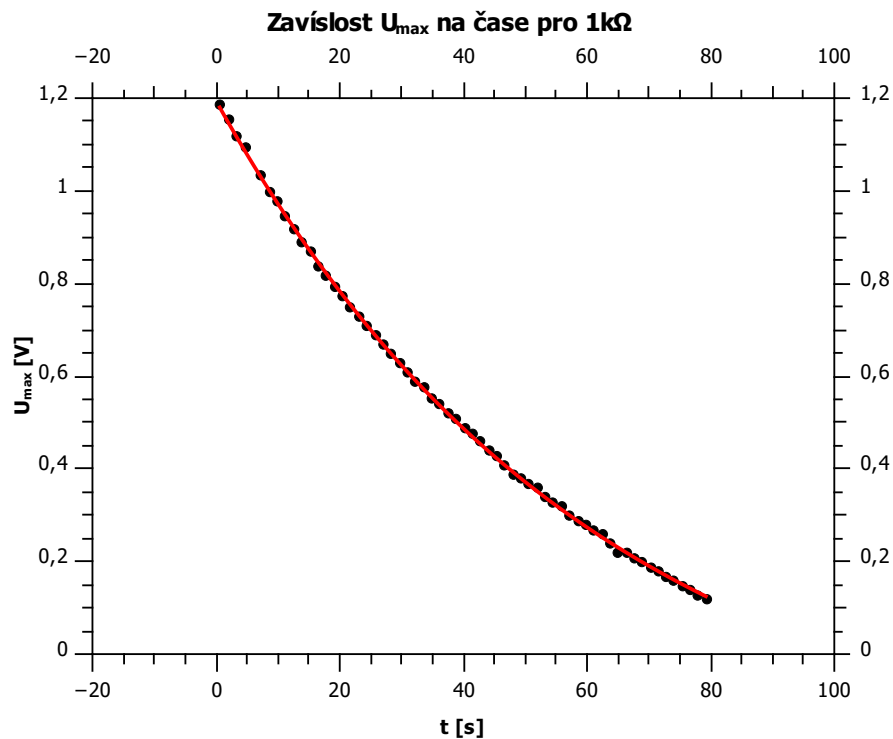
Stanovil jsem koeficient tlumení β pro případ dominujícího mechanického napětí pomocí vztahu [11](#).

$$\beta_{1M} = (0,0164 \pm 0,0005) \text{ s}^{-1} \quad (15)$$

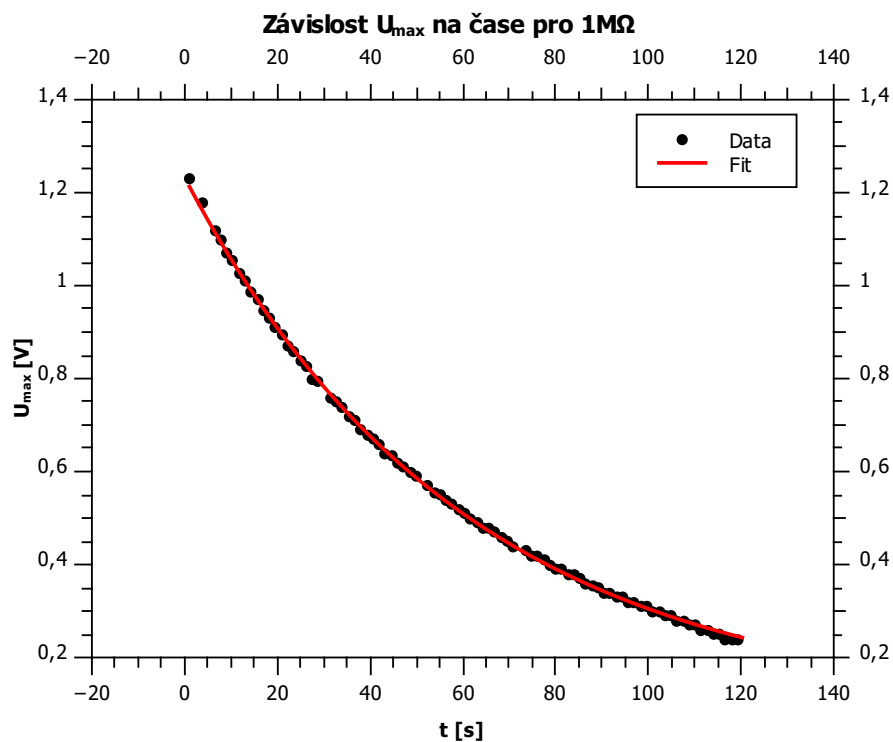
$$\beta_{1k} = (0,0164 \pm 0,0002) \text{ s}^{-1} \quad (16)$$

$$\alpha_1 = (0,0269 \pm 0,0005) \text{ }^\circ\text{s}^{-1} \quad (17)$$

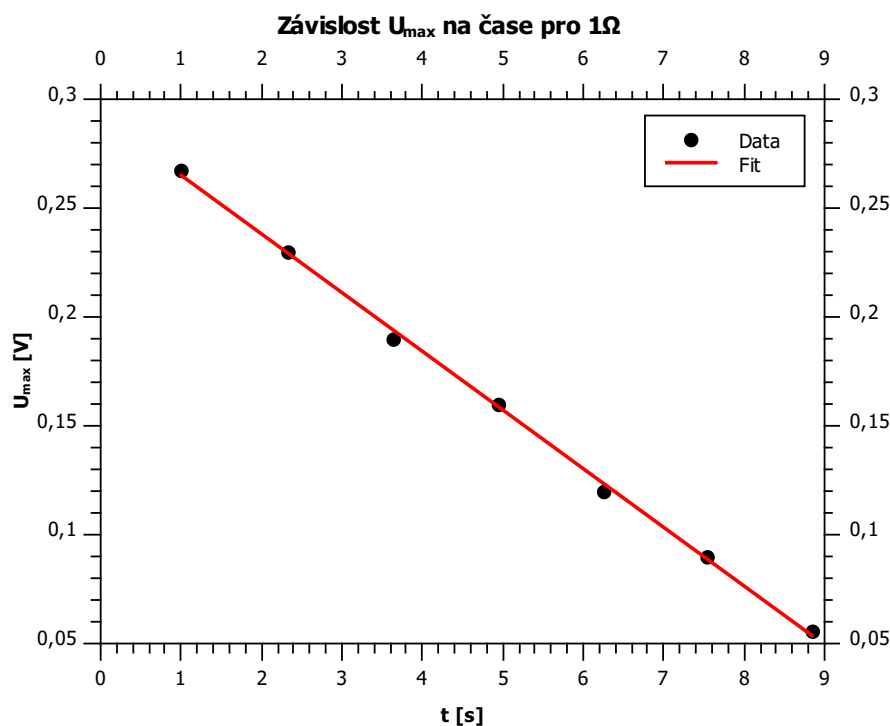
$$B_1 = (4,8 \pm 0,1) \text{ }^\circ\Omega \cdot \text{s}^{-1} \quad (18)$$



Obrázek 3: Naměřené závislost U_{\max} na čase pro odpor $1\text{ k}\Omega$, proložený exponenciální křivkou.



Obrázek 4: Naměřené závislost U_{\max} na čase pro odpor $1\text{ M}\Omega$, proložený exponenciální křivkou.



Obrázek 5: Naměřené závislost U_{max} na čase pro odpor 1Ω , proložený lineární křivkou.

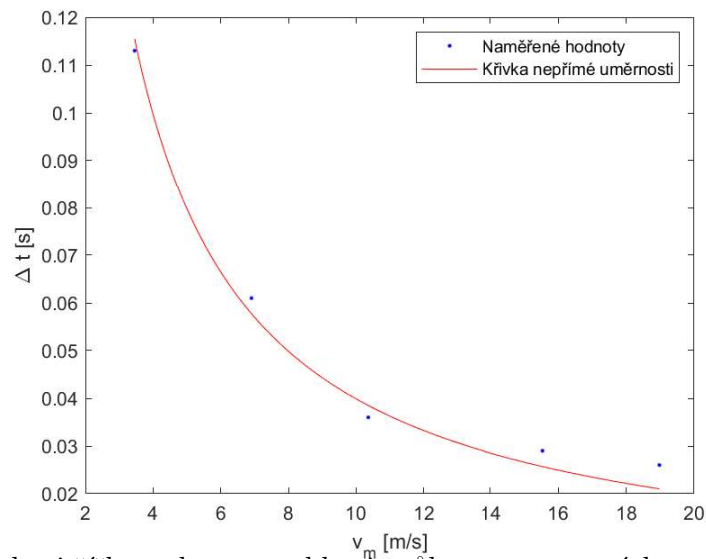
3. Závěr

Z důvodu toho, že se mi ztratili data z prvního měření a já následně měření prováděl po jiném úkolu je naměřených dat méně, než mělo být podle zadání úlohy.

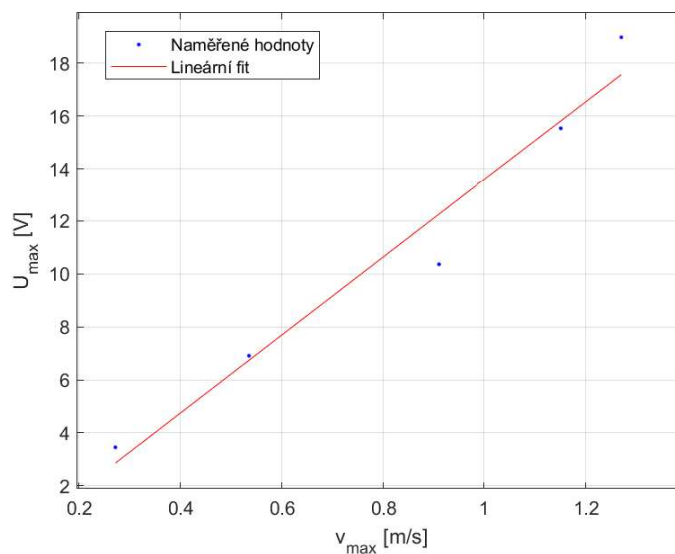
V povinné části úlohy jsem pomocí prokládání závislostí křivkami dokázal, že platí úměrnost $U_{max} \sim \vartheta_{max}$ a $\Delta t \sim \vartheta^{-1}$. Z nich jsem určil efektivní poloměr cívky, který vyšel $a = (0,3989 \pm 0,0306)$ m a magnetický dipólový moment, který měl hodnotu $m = (3,95 \pm 0,08)$ A · m².

V povinně volitelné části úlohy jsem zjistil, že při velkých hodnotách odporu převládá mechanické tlumení, kde je závislost maximálního napětí U_{max} na čase exponenciální. Stanovil jsem pro tyto dva velké odpory – $1\text{ M}\Omega$ a $1\text{ k}\Omega$ – koeficient tlumení β jako $\beta_{1M} = (0,0164 \pm 0,0005)$ s⁻¹ a $\beta_{1k} = (0,0164 \pm 0,0002)$ s⁻¹. Pro menší odpory byla závislost lineární. Určil jsem zde koeficient α . Tento koeficient by měl být nepřímo úměrný $R + R_c$ ovšem zde máme pouze jednu hodnotu α , která by nebyla dostatečně průkazná.

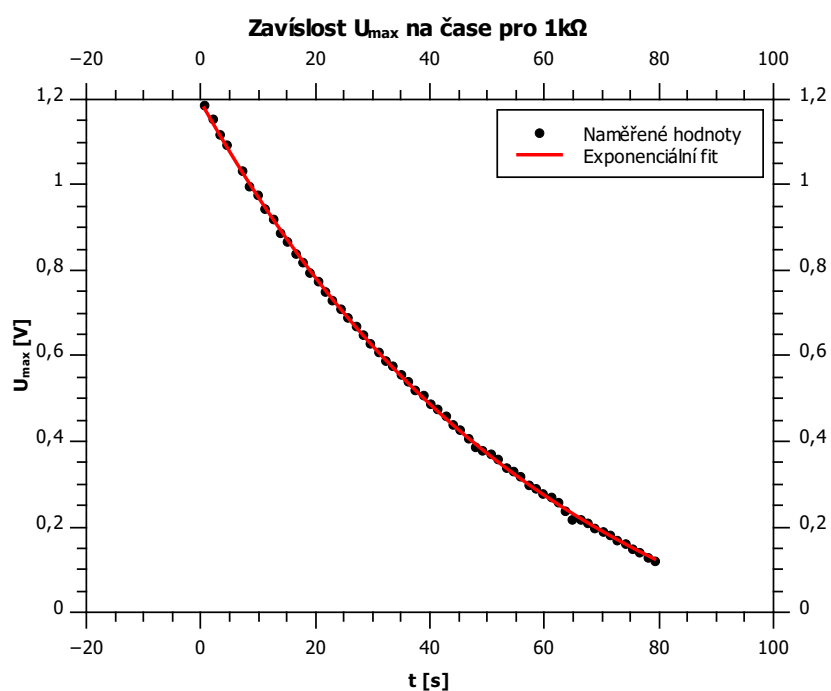
Oprava



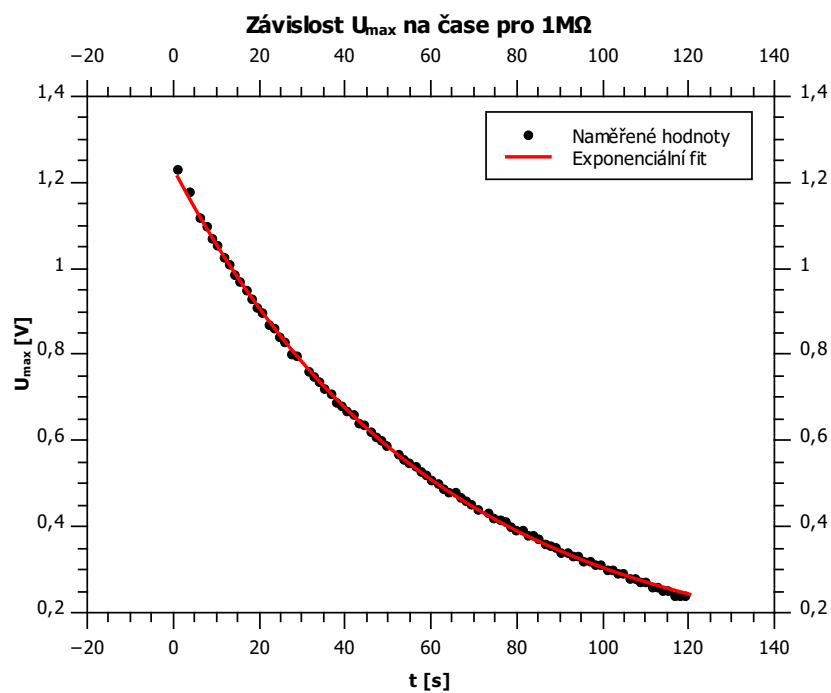
Obrázek 6: Graf závislosti šířky pulzu na rychlosti průletu magnetu cívkou. Graf je proložen křivkou nepřímé úměrnosti.



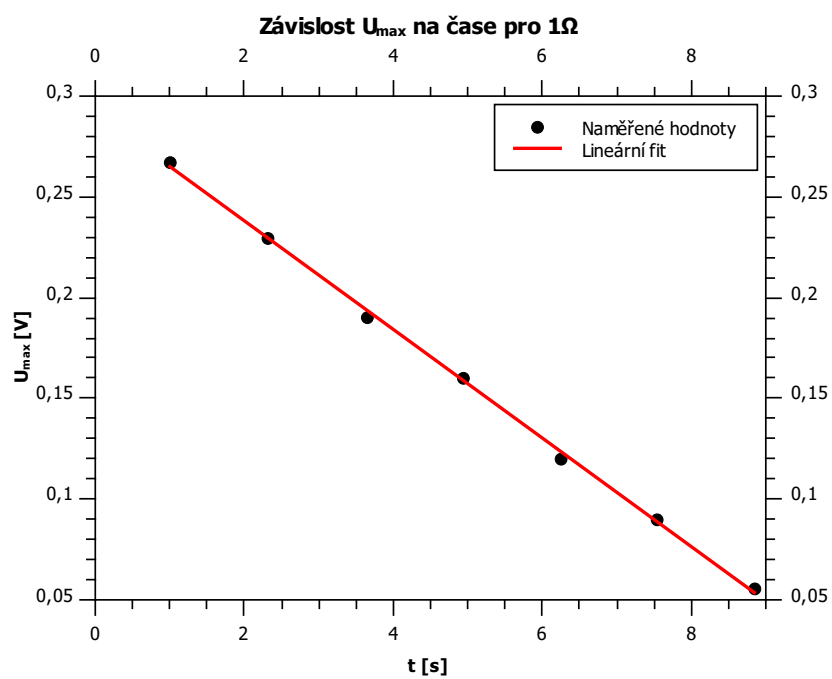
Obrázek 7: Graf závislosti šířky pulzu na rychlosti průletu magnetu cívkou. Graf je proložen křivkou přímé úměrnosti.



Obrázek 8: Naměřené závislost U_{\max} na čase pro odpor $1\text{k}\Omega$, proložený exponenciální křivkou.



Obrázek 9: Naměřené závislost U_{\max} na čase pro odpor $1\text{M}\Omega$, proložený exponenciální křivkou.



Obrázek 10: Naměřené závislost U_{\max} na čase pro odpor 1Ω , proložený lineární křivkou.