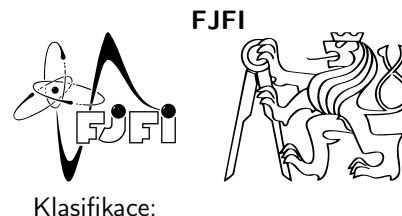


Jméno: **Ondřej Brož** Kolega: Stella KrálováKruh: **Úterý 9:30** Číslo skup.: 9Měřeno: **12.4.2022** Zpracování: 20h

Klasifikace:

## 1 Pracovní úkoly

1. Domácí příprava: Naučte se zacházet se vzdálenými daty z tokamaku GOLEM, seznámte se s dálkovým velínem tokamaku a jeho obsluhou. Alespoň jeden člen skupiny musí mít připravený způsob, jak z databáze GOLEM získávat data, před začátkem měření.
2. Připojte se k ostrému velínu přidělenému vaší skupině a zapojte váš osciloskop do sítě a k němu odpovídající měřicí prvky (Rogowského pásku, malou měrnou cívku, jeden závit cívky kolem celého tokamaku a fotodiodu s  $H_\alpha$  filtrem.
3. Přes dálkový velín proveďte test výboje na tokamaku s libovolnými hodnotami  $U_B$ ,  $U_{CD}$  a  $p_0$  se zapnutou předionizací. Vykreslete do grafu všechny 4 získané výstupy z osciloskopu.
4. Pomocí vzdáleného přístupu proveďte 10 výbojů s 5 různými hodnotami  $U_B$ , ke každé z nich dvěma různými  $U_{CD}$  a stejnou  $p_0$ . Výboje mohou být sdílené pro více skupin v rámci šetření omezeného času v laboratoři.
5. Zpracujte data získaná z osciloskopu na předchozích 10 výbojích. Porovnejte je se standardními diagnostikou výstupních dat z tokamaku GOLEM<sup>[2]</sup>.
6. Pro každý z výbojů spočítejte dobu udržené energie  $\tau_E$  a magnetické toroidální pole  $B_t$  během kvazi-statické fáze výboje. Vykreslete do grafu  $B_t$  v závislosti na  $\tau_E$  s chybami. Spočítejte průměrnou dobu udržené energie  $\overline{\tau_E}$  a porovnejte ji s Neo-Alcatorovým škálovacím zákonem, který určuje  $\tau_E$  v závislosti na elektronové hustotě  $n_e$ , velkém poloměru tokamaku  $R$  a malém poloměru tokamaku  $r$ .

## 2 Pomůcky

Tokamak GOLEM, Rogowského cívka,  $U_l$  kabel,  $B_t$  cívka, fotodioda s  $H_\alpha$  filtrem, osciloskop RIGOL, koaxiální kabely, laptop.

## 3 Teoretický úvod

### 3.1 Získání základních veličin z naměřených napětí

Hodnoty v tomto měření získané z osciloskopu jsou všechny pouze různými hodnotami napětí:  $U_{B_t}$  napětí na malé cívce,  $U_l$  napětí na drátu omotaném kolem obvodu tokamaku,  $U_R$  napětí na Rogowského pásce a  $U_f$  napětí na fotodiodě, které není při zpracovávání využíváno. Hodnoty magnetické indukce na cívce  $B_t(t)$  lze z napětí získat pomocí vztahu:

$$B_t(t) = C_B \int_0^t U_{B_t}(\tau) d\tau, \quad (1)$$

kde  $C_B$  je konstanta, kterou lze získat inverzním postupem ze standardního výstupu tokamaku. Napětí na drátu  $U_l$  není nutno nijak zpracovávat, jelikož se jedná přesně o tu samou veličinu, která má být zkoumána. Nakonec elektrický proud v plazmatu  $I_p(t)$  lze získat pomocí napětí  $U_R$  a  $U_l$  ze vztahu:

$$I_p(t) = C_R \int_0^t U_R(\tau) d\tau - \frac{U_l(t)}{R_{ch}}, \quad (2)$$

kde  $C_R$  je konstanta, také určitelná ze standardního výstupu tokamaku, a  $R_{ch}$  značí elektrický odpor komory známý<sup>[1]</sup> jako konstanta  $R_{ch} = 0,0097\Omega$ .

### 3.2 Určení doby udržené energie

K určení doby udržené energie  $\tau_E$  je nutné nejprve předem zjistit několik dalších hodnot. První z nich je odpor plasmatu  $R_p$  určený pomocí napětí na drátu podél obvodu tokamaku  $U_l$  a elektrického proudu v plasmatu  $I_p$  pomocí Ohmova zákona, tedy jako:

$$R_p = \frac{U_l}{I_p}. \quad (3)$$

Z něj je následně možné určit elektronovou teplotu  $T_e$  jako:

$$T_e = 0,9 R_p^{-\frac{2}{3}}. \quad (4)$$

Nakonec je ještě nutné znát elektronovou hustotu plasmatu  $n_e$  určenou vztahem

$$n_e = \frac{2p_0 V_{ch}}{k_B T_0 V_p}, \quad (5)$$

kde  $p_0$  značí tlak ve vakuové komoře (nastavený jako počáteční podmínka výboje),  $V_p$  objem plasmatu známý<sup>[1]</sup> jako konstanta 80 l,  $V_{ch}$  celkový objem komory známý<sup>[1]</sup> jako konstanta 150 l,  $k_B$  Boltzmannovu konstantu<sup>[1]</sup>  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  a  $T_0$  pokojovou teplotu<sup>[1]</sup> 300 K.

Z nich pomocí vztahu

$$\tau_E = \frac{en_e T_e V_p}{3U_l I_p} \quad (6)$$

tedy lze získat dobu udržené energie  $\tau_E$ , přičemž  $U_l$  a  $I_p$  jsou námi zjištěné hodnoty napětí na drátu omotaném kolem obvodu tokamaku a elektrického proudu v plasmatu a  $e$  značí elementární náboj  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

### 3.3 Neo-Alcatorův škálovací zákon

Doba udržení energie může být také vyjádřena pomocí takzvaného Neo-Alcatorova škálovacího zákona<sup>[3]</sup>

$$\tau_E^{neo} = 1,92 \cdot 10^{-20} R^{2,04} a^{1,04} n_e, \quad (7)$$

kde  $n_e$  stále značí elektronovou hustotu plasmatu,  $R$  větší poloměr vakuové komory tokamaku (v případě GOLEMu<sup>[1]</sup> rovný 0,4 m) a  $a$  menší poloměr vakuové komory tokamaku (v případě GOLEMu<sup>[1]</sup> rovný 0,085 m).

## 4 Postup měření

Nejprve projdeme školením o bezpečnosti a podepíšeme, že jsme s ním byli seznámeni. Zapojíme oscilátor do sítě a do zdroje, podél obvodu tokamaku umístíme kabel  $U_l$ , příčně na něj kolem těla tokamaku umístíme Rogowského cívku, mezi hliníkové bloky s cívkami generujícími toroidální magnetické pole umístíme kleště s malou cívkou a na optickou výstup tokamaku připevníme fotodiodu s  $H_\alpha$  filtrem. Všechny tyto detektory připojíme koaxiálními kabely k oscilátoru a dáваме si pozor aby se žádný z nich v době výboje neležel příliš blízko napájecích kabelů. Přes dálkový ostrý velín pro úterní skupinu 9 spustíme výboj s libovolnými hodnotami  $p_0$ ,  $U_B$  a  $U_{CD}$ . Následně podle zadání úkolu 4 provedeme 10 dalších systematických výbojů. Po každém výboji si pomocí bashového skriptu stáhneme data z databáze tokamaku GOLEM.

## 5 Naměřené hodnoty a vypracování

### 5.1 Základní diagnostiky

Test byl proveden s parametry  $p_0 = 18 \text{ mPa}$ ,  $U_B = 400 \text{ V}$  a  $U_{CD} = 500 \text{ V}$ , což nevedlo k výboji. Napětí na malé cívce mezi hliníkovými bloky je vykreslené na Obr. 1, napětí na drátu omotaném podél obvodu tokamaku je vykreslené na Obr. 2, napětí na Rogowského pásce příčně k tokamaku je vykreslené na Obr. 3 a napětí na fotodiodě u optického výstupu tokamaku je vykreslené na Obr. 4.

## 5.2 Určení času udržení energie

Výboje byly prováděny za tlaku  $p_0 = \text{mPa}$  a pro napětí  $U_B = 950 \text{ V}$  s  $U_{CD} = 550 \text{ V}$  a  $650 \text{ V}$ ,  $U_B = 1000 \text{ V}$  s  $U_{CD} = 550 \text{ V}$  a  $700 \text{ V}$ ,  $U_B = 1050 \text{ V}$  s  $U_{CD} = 450 \text{ V}$  a  $550 \text{ V}$ ,  $U_B = 1100 \text{ V}$  s  $U_{CD} = 450 \text{ V}$  a  $550 \text{ V}$  a  $U_B = 1200 \text{ V}$  s  $U_{CD} = 600 \text{ V}$  a  $700 \text{ V}$ .

Jejich průběhy napětí na drátu kolem obvodu tokamaku  $U_l$  jsou zobrazeny na Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7, Obr. 8, Obr. 9, Obr. 10, Obr. 11, Obr. 12, Obr. 13 a Obr. 14.

Obdobně jejich průběh magnetické indukce na malé cívice mezi hliníkovými bloky  $B_t$  získané numerickou integrací z napětí na této cívice podle vztahu (1) jsou zobrazeny na Obr. 15, Obr. 16, Obr. 17, Obr. 18, Obr. 19, Obr. 20, Obr. 21, Obr. 22, Obr. 23 a Obr. 24.

Nakonec jejich průběhy proudu plasmatem  $I_p$  získané pomocí numerické integrace napětí na Rogowského cívice a z napětí na drátu kolem obvodu tokamaku podle vztahu (2) jsou zobrazeny na Obr. 25, Obr. 26, Obr. 27, Obr. 28, Obr. 29, Obr. 30, Obr. 31, Obr. 32, Obr. 33 a Obr. 34.

Střední hodnoty  $\overline{B_t}$ ,  $\overline{U_l}$  a  $\overline{I_p}$  získané z těchto grafů v kvazi-statické fázi a z nich pomocí vztahů (4) a (6) získané hodnoty elektronové teploty  $T_e$  a času udržení energie  $\tau_E$  jsou zobrazeny v Tab. 1. Hodnota elektronové hustoty používané v těchto vztazích je pro naši hodnotu  $p_0$ :  $n_e = 9,058 \cdot 10^{18} \text{ \#}\cdot\text{m}^{-3}$ .

## 5.3 Srovnání s Neo-Alcatorovým škálovacím zákonem

Graf vykreslující magnetickou indukci na malé cívice  $B_t$  v závislosti na čase udržení energie  $\tau_E$  z Tab. 1 je zobrazen na Obr. 35. Průměrná hodnota těchto časů je  $\overline{\tau_E} = (0,0743 \pm 0,0006) \text{ s}$ . Čas udržení energie získaný pomocí Neo-Alcatorového škálovacího vztahu je  $\tau_E^{neo} = 0,01093 \text{ s}$ .

## 6 Diskuse

Experimentálně určená hodnota  $\tau_E^{exp} = (0,0743 \pm 0,0006) \text{ s}$  se poměrně, ovšem ne řádově liší od hodnoty získané Neo-Alcatorovým škálovacím zákonem  $\tau_E^{teo} = 0,01093 \text{ s}$ . Možných zdrojů chyb je několik: zaprvé je možné, že jsme nevhodně zapojili některý z měřících přístrojů, případně že datový přesun z nich dat nějakým způsobem poškodil. Toto vysvětlení se ale nezdá pravděpodobné vzhledem k podobnosti dat se standardním výstupem tokamaku GOLEM. Zadruhé je možné, že chyba byla v námi vybraným kvazi-statickými intervaly, které mohly být jak moc krátké tak i příliš dlouhé, což by vedlo k chybě na všech třech určených hodnotách. Nakonec ta doufejme nejméně pravděpodobná chyba je lidský faktor způsobený množstvím zpracovávaných dat, tedy "překlepnutí", či špatné zadání numerické integrace dat, které by bylo v tomto množství dat těžko dohledatelné.

## 7 Závěr

Seznámili jsme se s fyzikou, technologií, diagnostikou a operací tokamaku GOLEM. Provedli jsme test výboje se zapnutou předionizací a provedli 10 různých výbojů, data ze kterých jsme následně zpracovali a zjistili průměrnou dobu udržení energie  $\tau_E^{exp} = (0,0743 \pm 0,0006) \text{ s}$  a teoretickou dobu udržení energie z Neo-Alcatorova škálovacího zákona  $\tau_E^{teo} = 0,01093 \text{ s}$ .

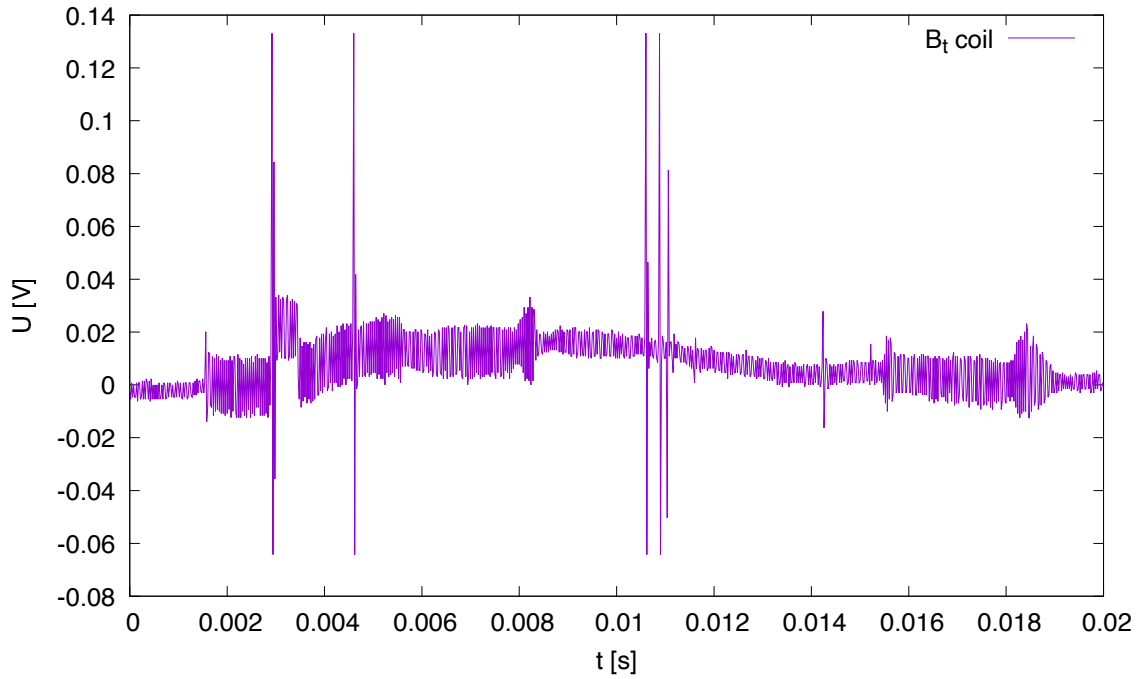
## Literatura

1. Návod k úloze Vysokoteplotní plasma na tokamaku GOLEM - Fyzikální Praktikum 2 [13.4.2022]  
<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Education/GMinstructions/extracts/Universities/CTU.cz/PRA2/docum.pdf>
2. Standardní diagnostika výstupních dat z tokamaku GOLEM (Výboj #32499) [13.4.2022]  
[http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/32499/analysis\\_wave\\_i/BasicDiagnostics/basig\\_diagnostics\\_processed.csv](http://golem.fjfi.cvut.cz/shots/32499/analysis_wave_i/BasicDiagnostics/basig_diagnostics_processed.csv)
3. R.R. Palker et al. Progress in tokamak research at mit. [17.4.2022]  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0029-5515/25/9/023/pdf>

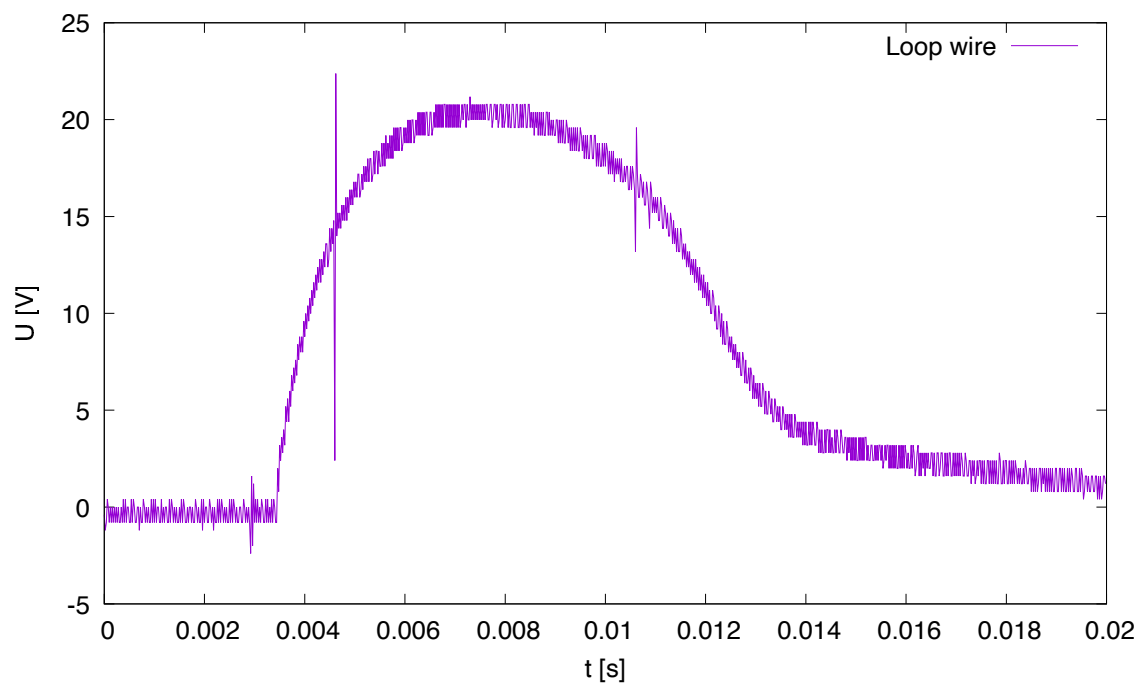
## Přílohy

$U_B$ [V]	$U_{CD}$ [V]	$U_l$ [V]	$B_t$ [T]	$I_p$ [kA]	$T_e$ [eV]	$\tau_E$ [ms]
950	550	$7,5 \pm 0,2$	$0,307 \pm 0,001$	$3,646 \pm 0,014$	$55,43 \pm 0,04$	$0,078 \pm 0,002$
950	650	$7,9 \pm 0,2$	$0,304 \pm 0,001$	$4,610 \pm 0,017$	$62,78 \pm 0,04$	$0,0666 \pm 0,0019$
1000	550	$7,6 \pm 0,2$	$0,3228 \pm 0,0011$	$4,018 \pm 0,013$	$58,96 \pm 0,04$	$0,075 \pm 0,002$
1000	700	$8,1 \pm 0,2$	$0,3241 \pm 0,0011$	$5,081 \pm 0,017$	$66,11 \pm 0,04$	$0,0624 \pm 0,0018$
1050	450	$7,18 \pm 0,16$	$0,3404 \pm 0,0011$	$2,348 \pm 0,011$	$42,71 \pm 0,02$	$0,098 \pm 0,002$
1050	550	$7,6 \pm 0,2$	$0,3407 \pm 0,0011$	$4,081 \pm 0,014$	$59,70 \pm 0,04$	$0,075 \pm 0,002$
1100	450	$7,10 \pm 0,16$	$0,3492 \pm 0,0012$	$2,713 \pm 0,011$	$47,39 \pm 0,03$	$0,095 \pm 0,002$
1100	550	$7,6 \pm 0,2$	$0,3505 \pm 0,0012$	$4,068 \pm 0,014$	$59,51 \pm 0,04$	$0,075 \pm 0,002$
1200	600	$7,7 \pm 0,2$	$0,3776 \pm 0,0012$	$4,737 \pm 0,015$	$65,25 \pm 0,04$	$0,0695 \pm 0,0019$
1200	700	$8,1 \pm 0,2$	$0,3835 \pm 0,0013$	$4,442 \pm 0,016$	$60,35 \pm 0,04$	$0,0650 \pm 0,0018$

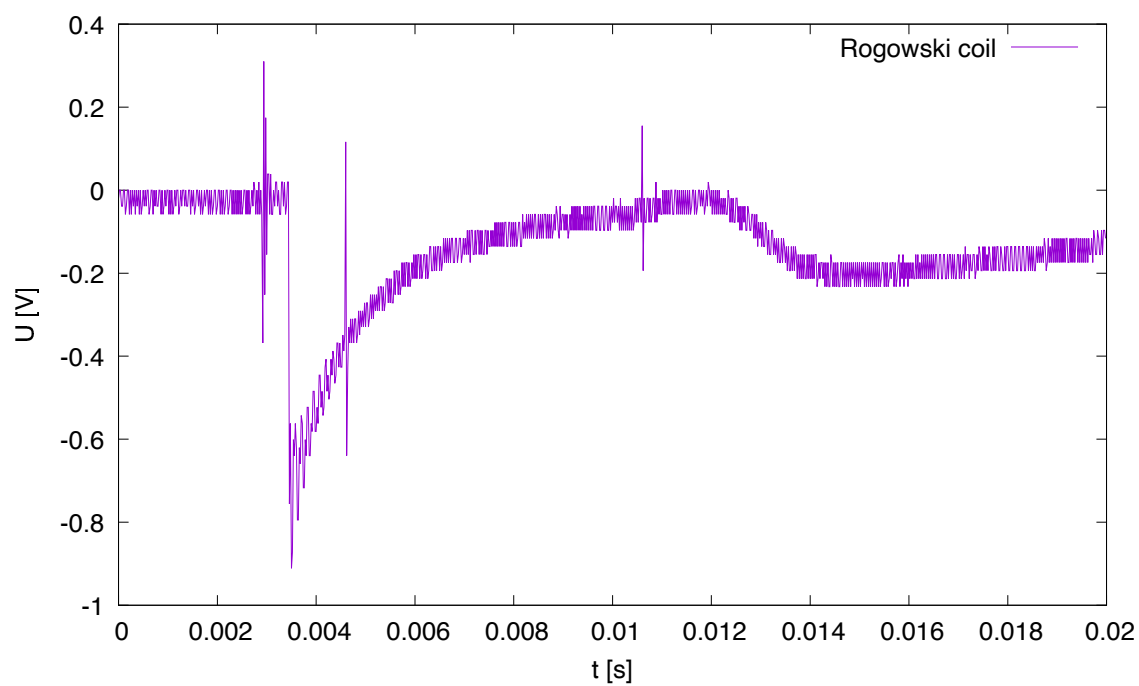
Tab. 1: Tabulka zobrazující nastavené parametry napětí  $U_B$  a  $U_{CD}$ , naměřené napětí na drátu omotaném kolem obvodu tokamaku  $U_l$ , magnetické indukce na malé cívce  $B_t$  a elektrický proud plasmatem  $I_p$  a z nich určené hodnoty elektronové teploty  $T_e$  pomocí vztahu (4) a času udržení energie  $\tau_E$  pomocí vztahu (6).



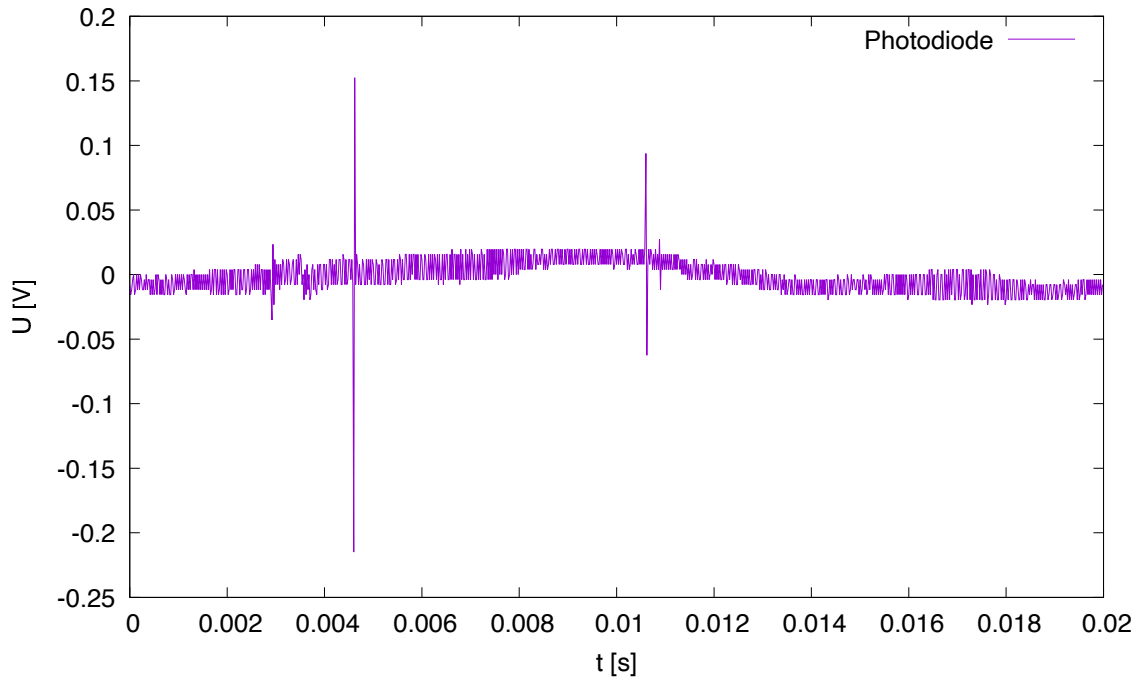
Obr. 1: Graf zobrazující napětí na cívce měřící toroidální magnetické pole  $U$  v závislosti na čase  $t$  získané z datového výstupu osciloskopu během testu libovolného výboje v úkolu 3.



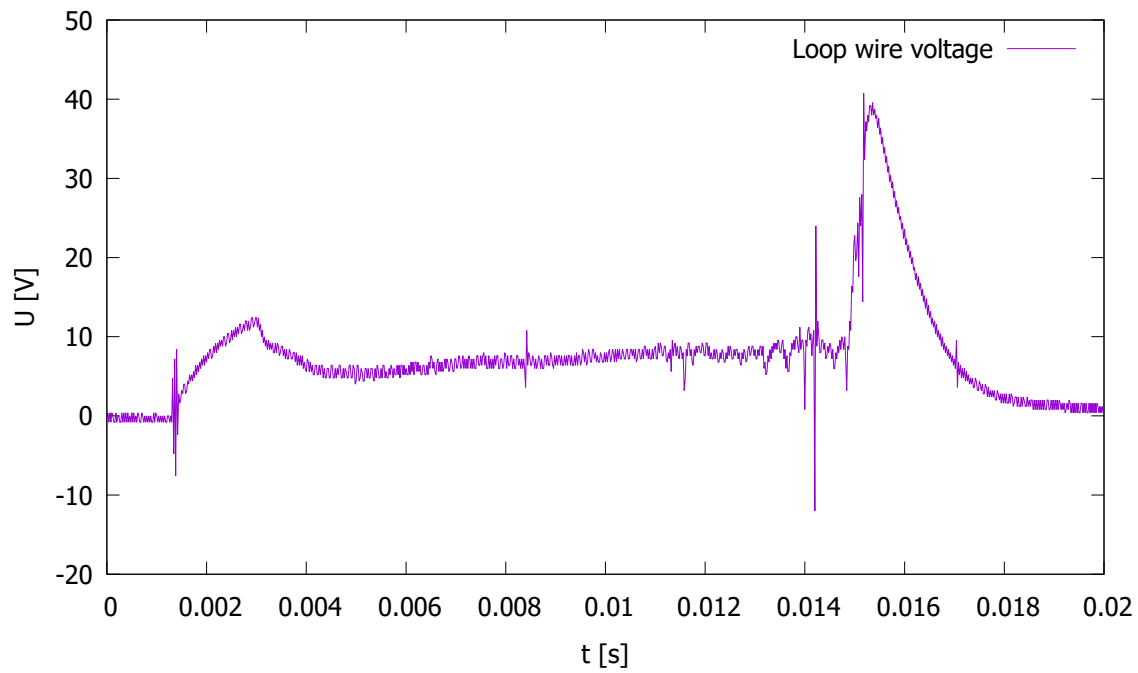
Obr. 2: Graf zobrazující napětí na drátu vedoucím kolem celého obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  získané z datového výstupu osciloskopu během testu libovolného výboje v úkolu 3.



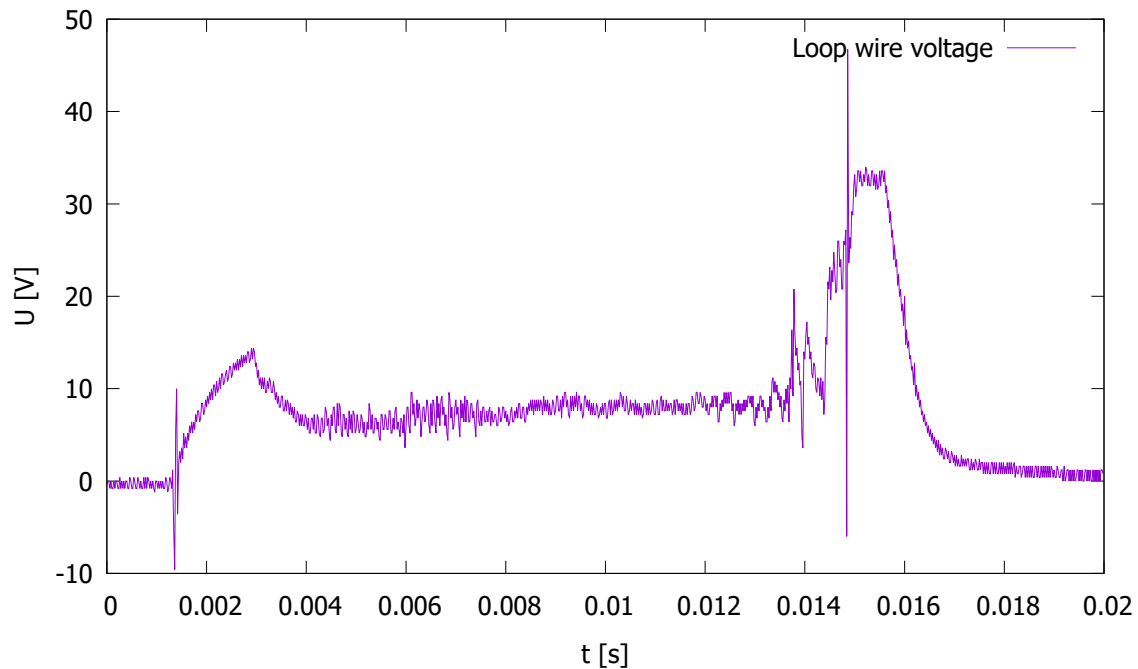
Obr. 3: Graf zobrazující napětí na Rogowského pásce  $U$  v závislosti na čase  $t$  získané z datového výstupu osciloskopu během testu libovolného výboje v úkolu 3.



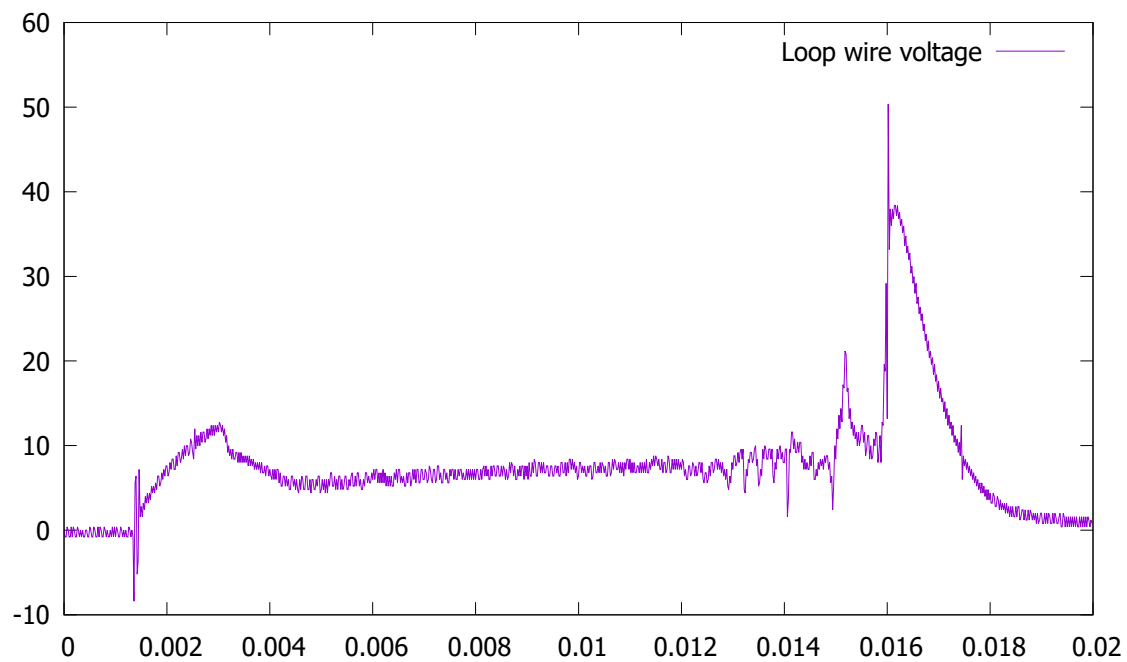
Obr. 4: Graf zobrazující napětí na fotodiodě s  $H_\alpha$  filtrem  $U$  v závislosti na čase  $t$  získané z datového výstupu osciloskopu během testu libovolného výboje v úkolu 3.



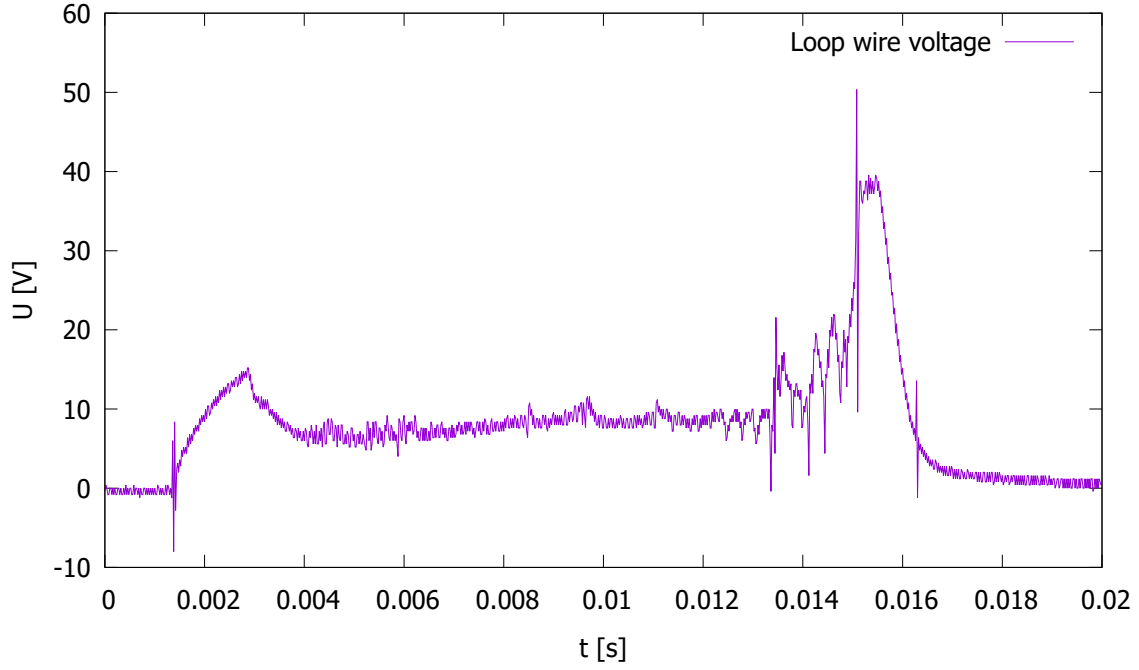
Obr. 5: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 1. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 950$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



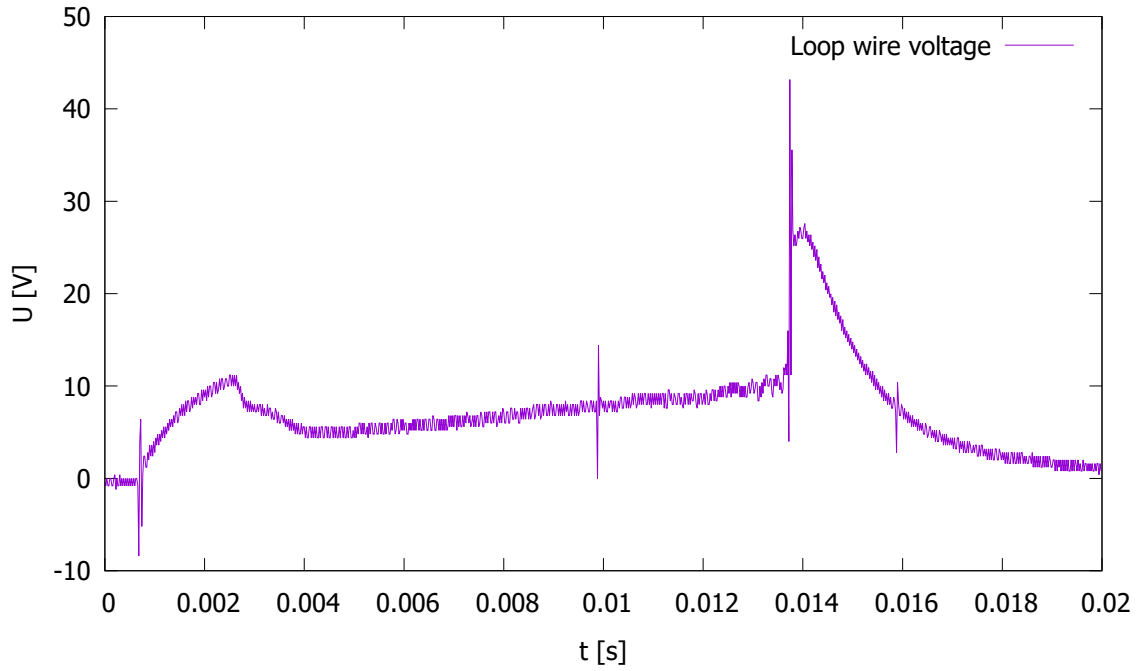
Obr. 6: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 2. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 950$  V a  $U_{CD} = 650$  V.



Obr. 7: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 3. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1000$  V a  $U_{CD} = 550$  V.

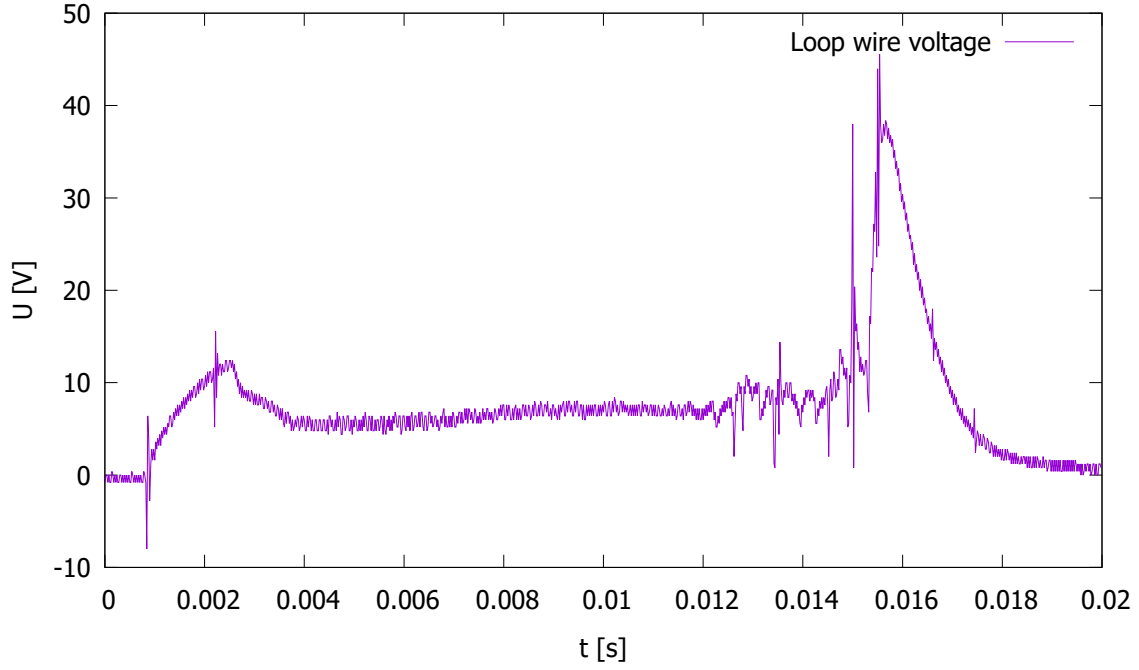


Obr. 8: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 4. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1000$  V a  $U_{CD} = 700$  V.

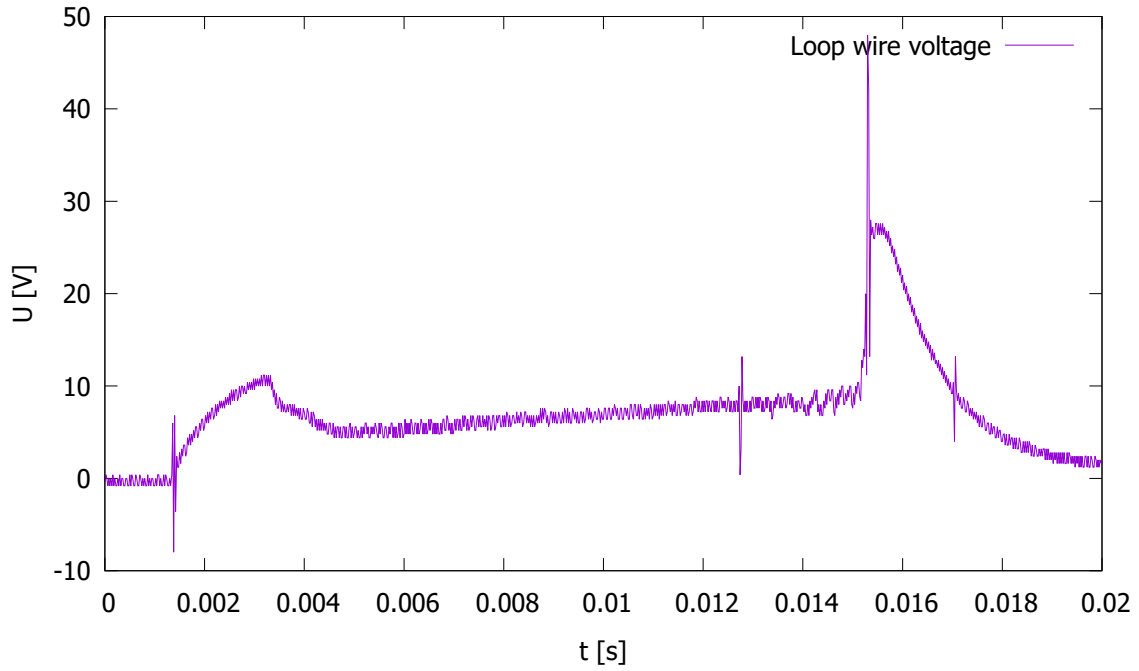


Obr. 9: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 5. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1050$  V a  $U_{CD} = 450$  V.

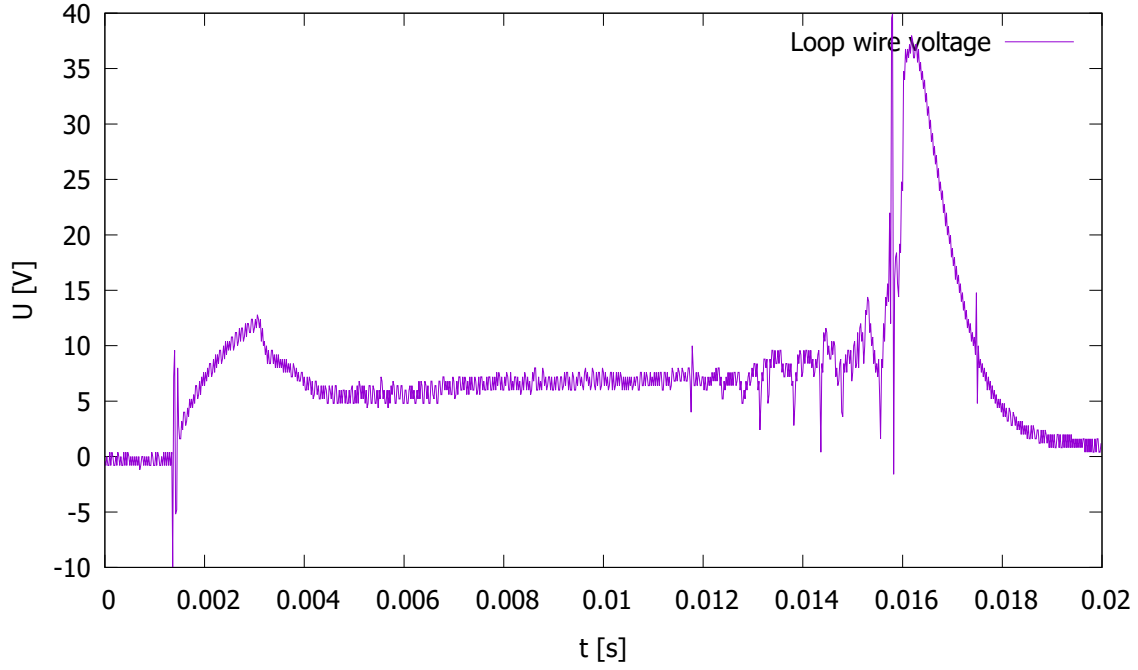




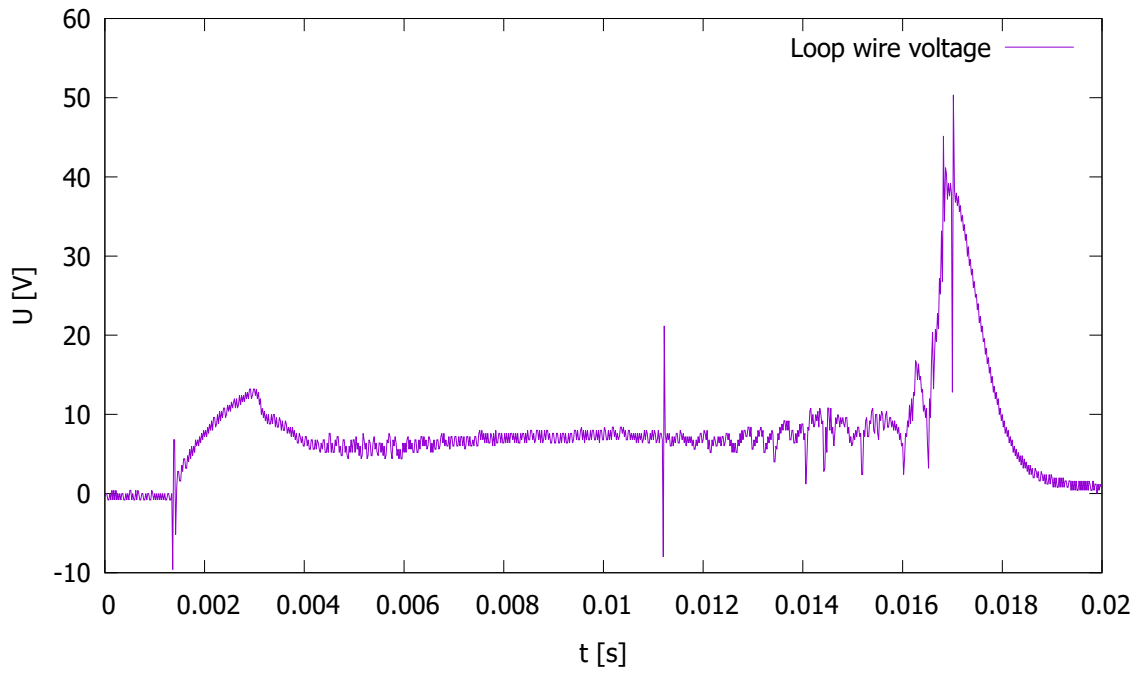
Obr. 10: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 6. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1050$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



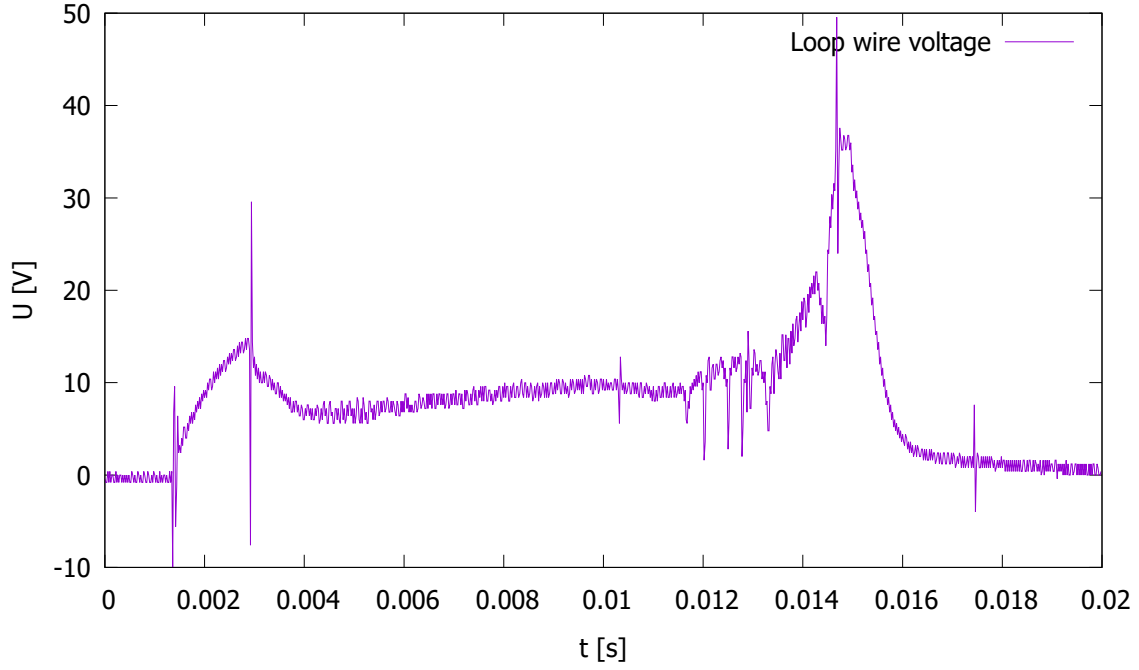
Obr. 11: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 7. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1100$  V a  $U_{CD} = 450$  V.



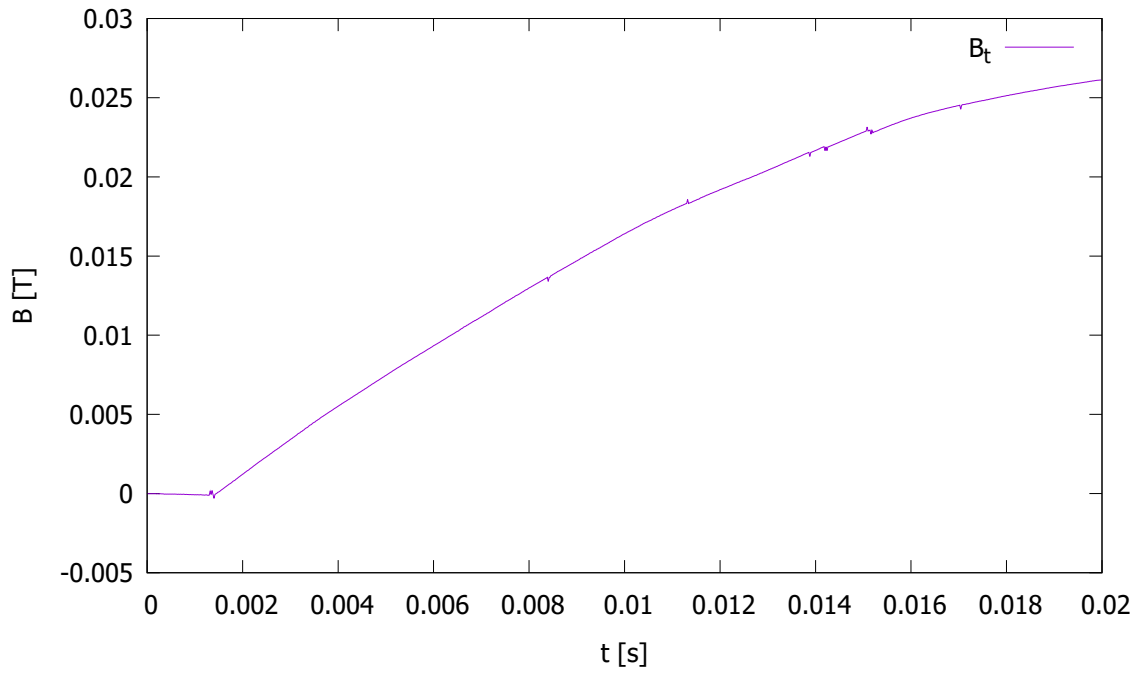
Obr. 12: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 8. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1100$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



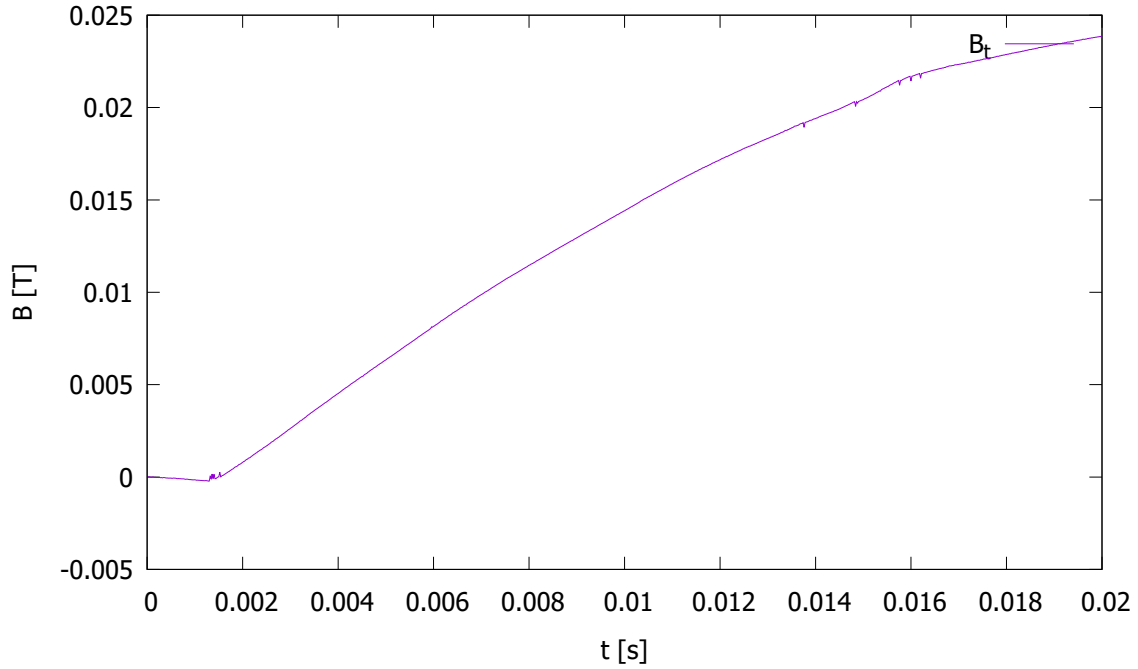
Obr. 13: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 9. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1200$  V a  $U_{CD} = 600$  V.



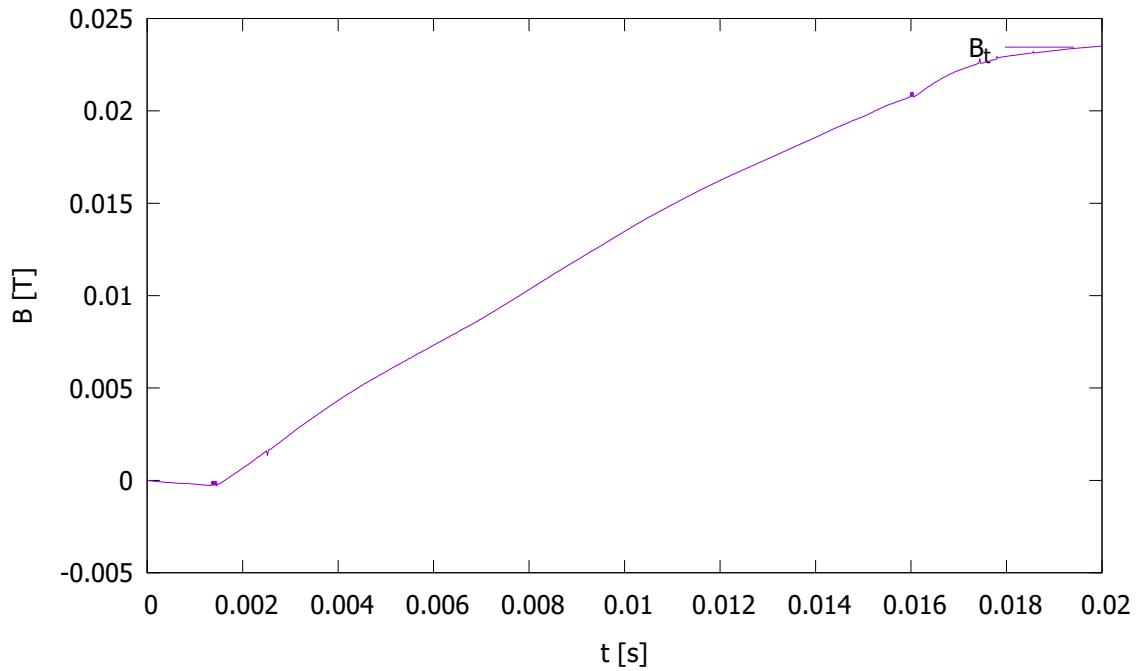
Obr. 14: Graf zobrazující průběh napětí na kabelu omotaném podél obvodu tokamaku  $U$  v závislosti na čase  $t$  pro 10. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1200$  V a  $U_{CD} = 700$  V.



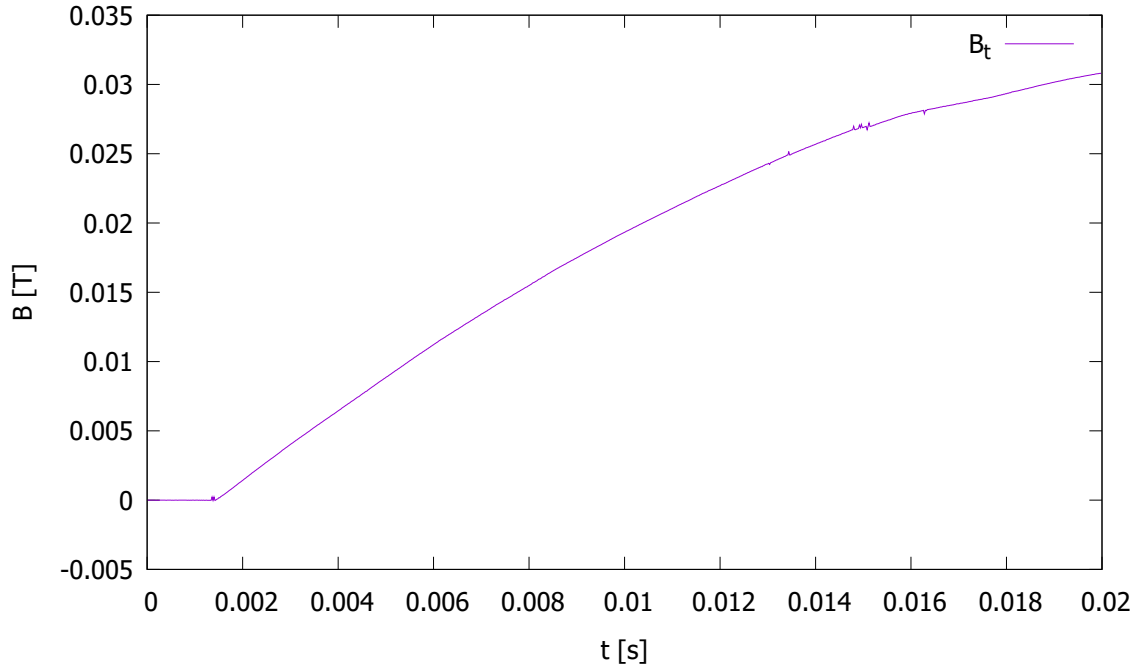
Obr. 15: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 1. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 950$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



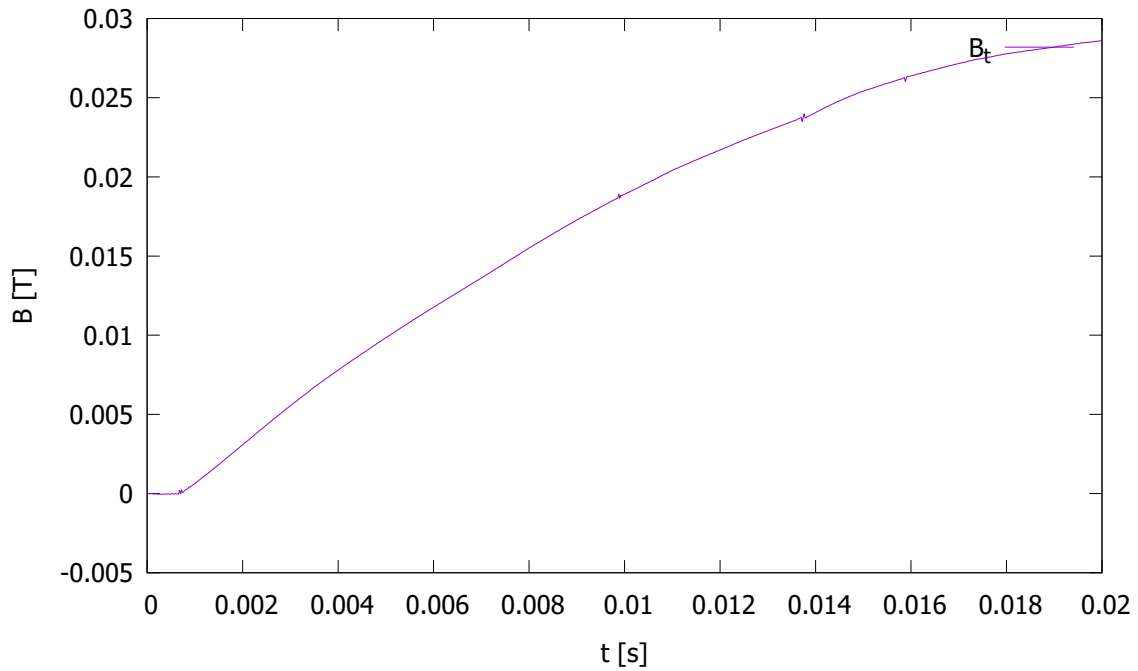
Obr. 16: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 2. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 950$  V a  $U_{CD} = 650$  V.



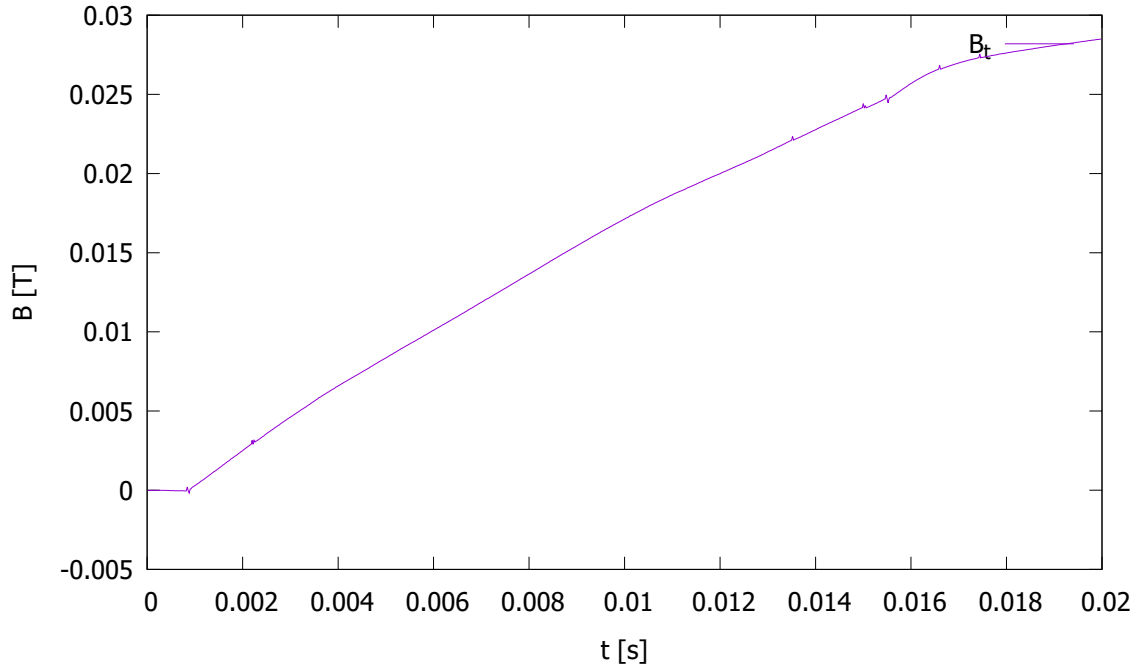
Obr. 17: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 3. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1000$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



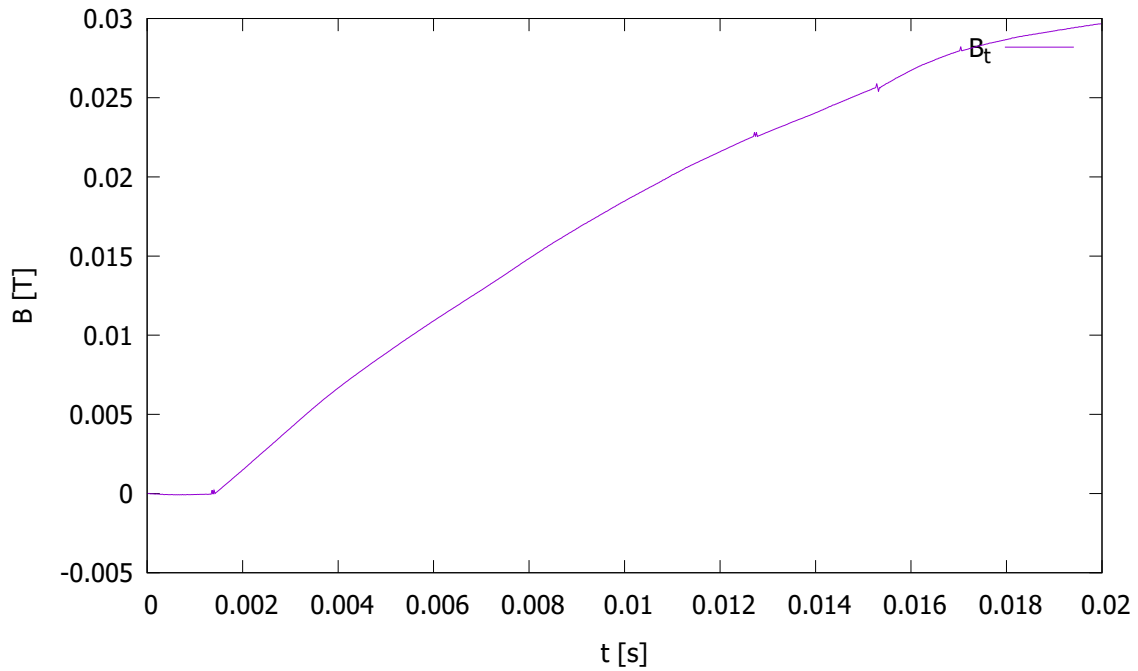
Obr. 18: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 4. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1000$  V a  $U_{CD} = 700$  V.



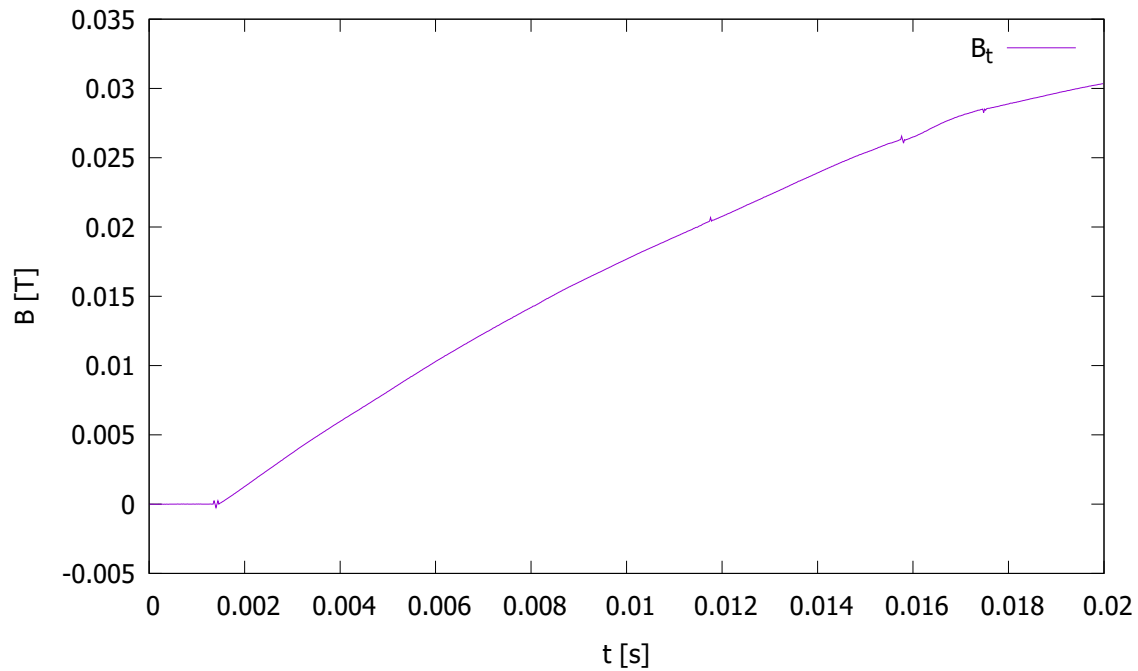
Obr. 19: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 5. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1050$  V a  $U_{CD} = 450$  V.



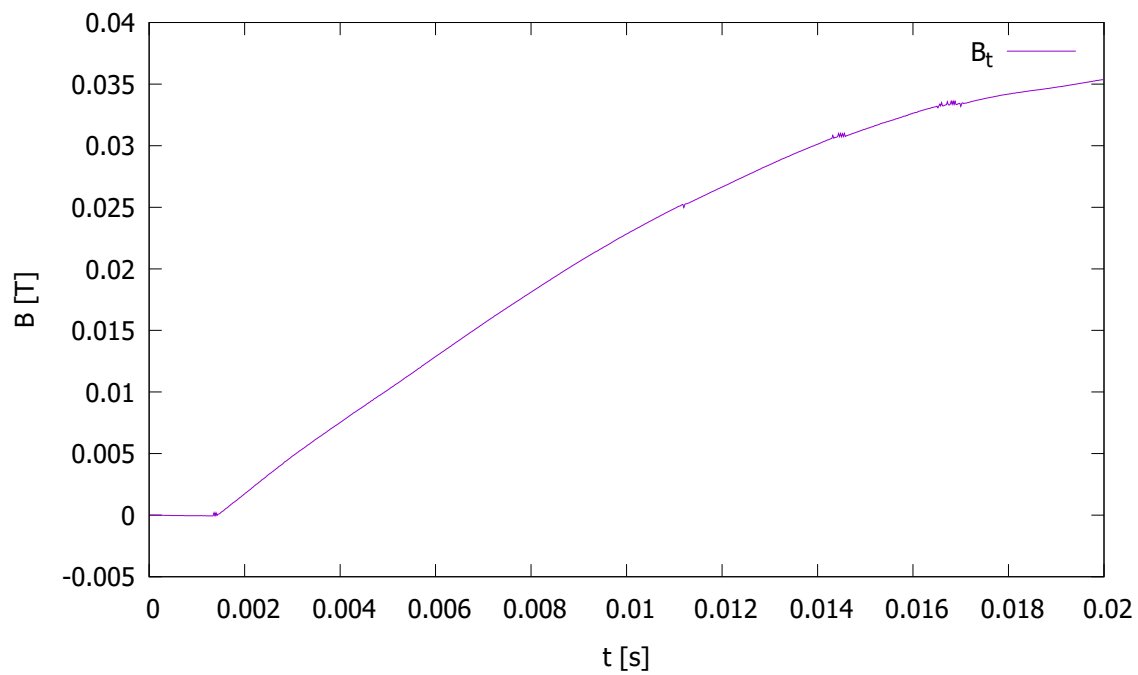
Obr. 20: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 6. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1050$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



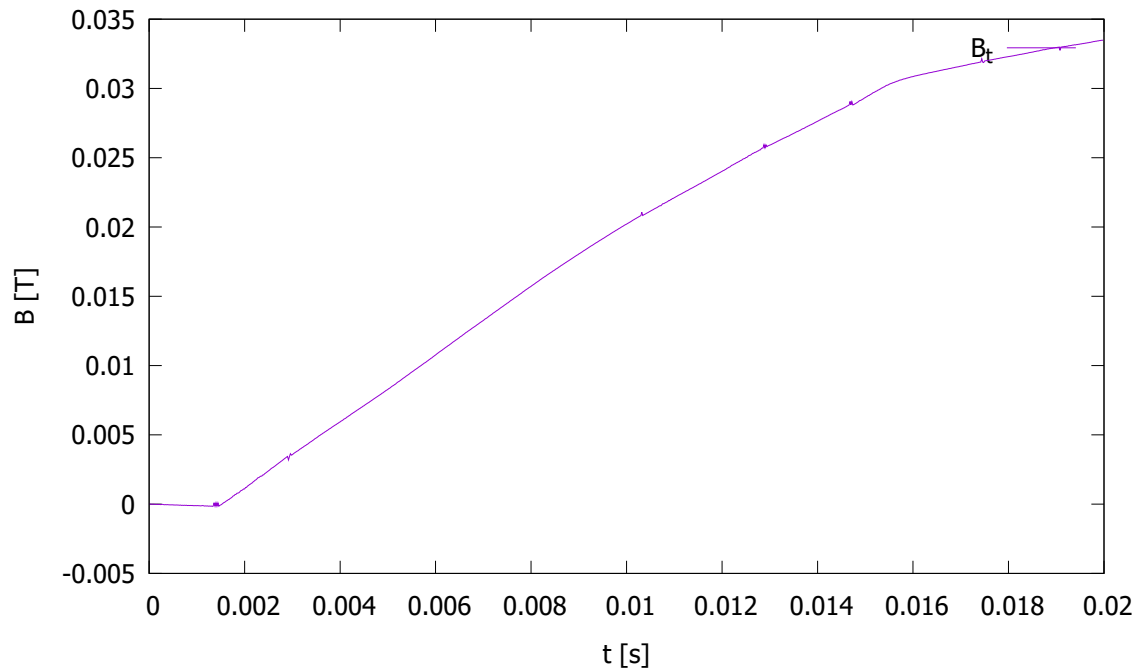
Obr. 21: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 7. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1100$  V a  $U_{CD} = 450$  V.



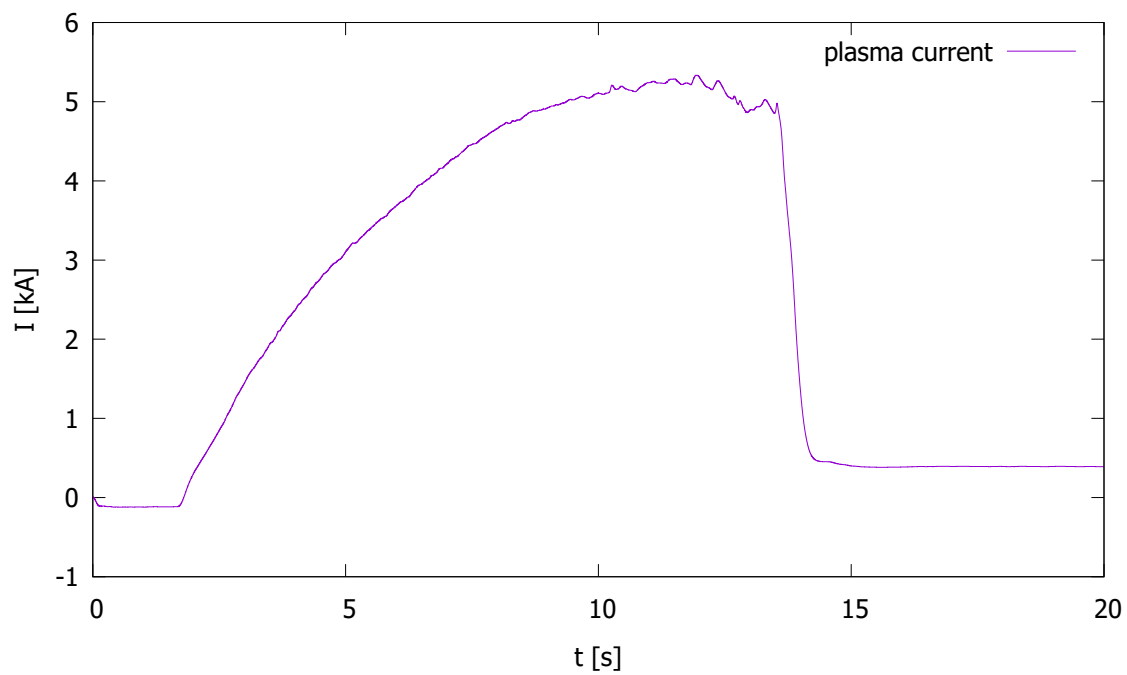
Obr. 22: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 8. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1100$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



Obr. 23: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 9. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1200$  V a  $U_{CD} = 600$  V.

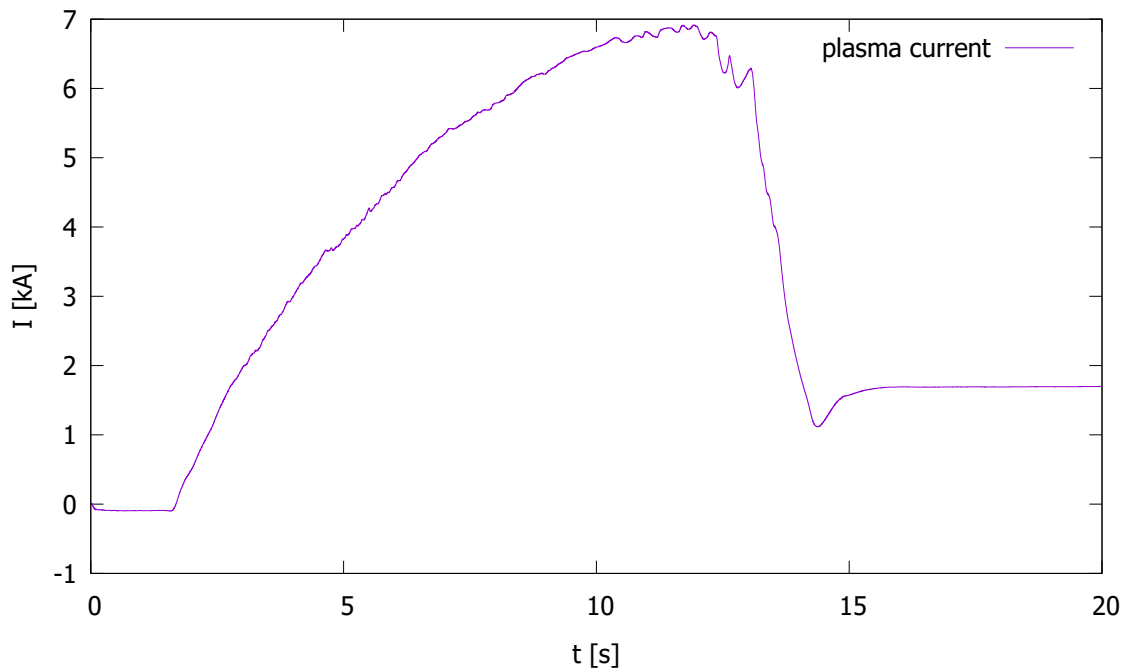


Obr. 24: Graf zobrazující průběh magnetické indukce  $B$  na malé cívce v závislosti na čase  $t$  pro 10. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1200$  V a  $U_{CD} = 700$  V.

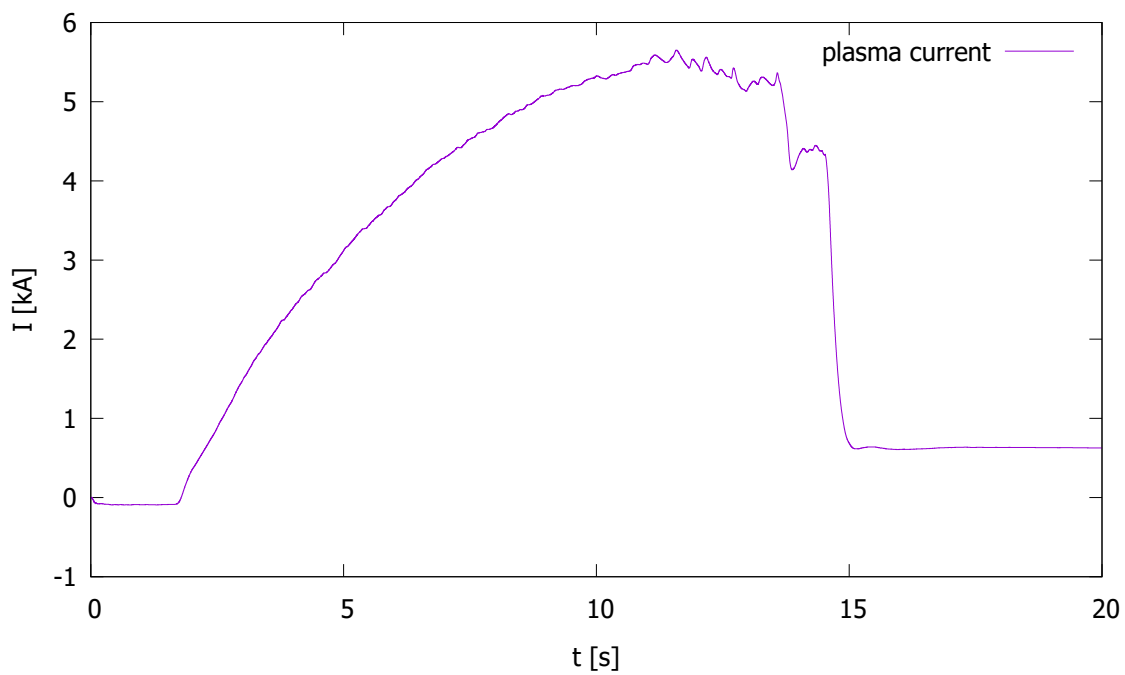


Obr. 25: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 1. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 950$  V a  $U_{CD} = 550$  V.

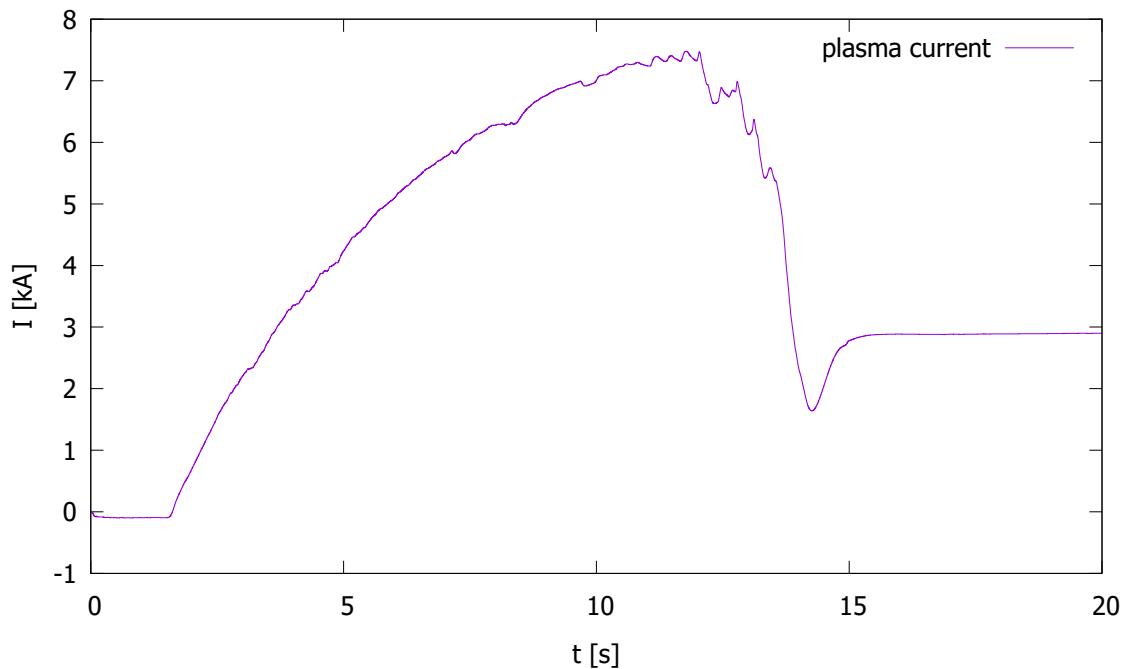




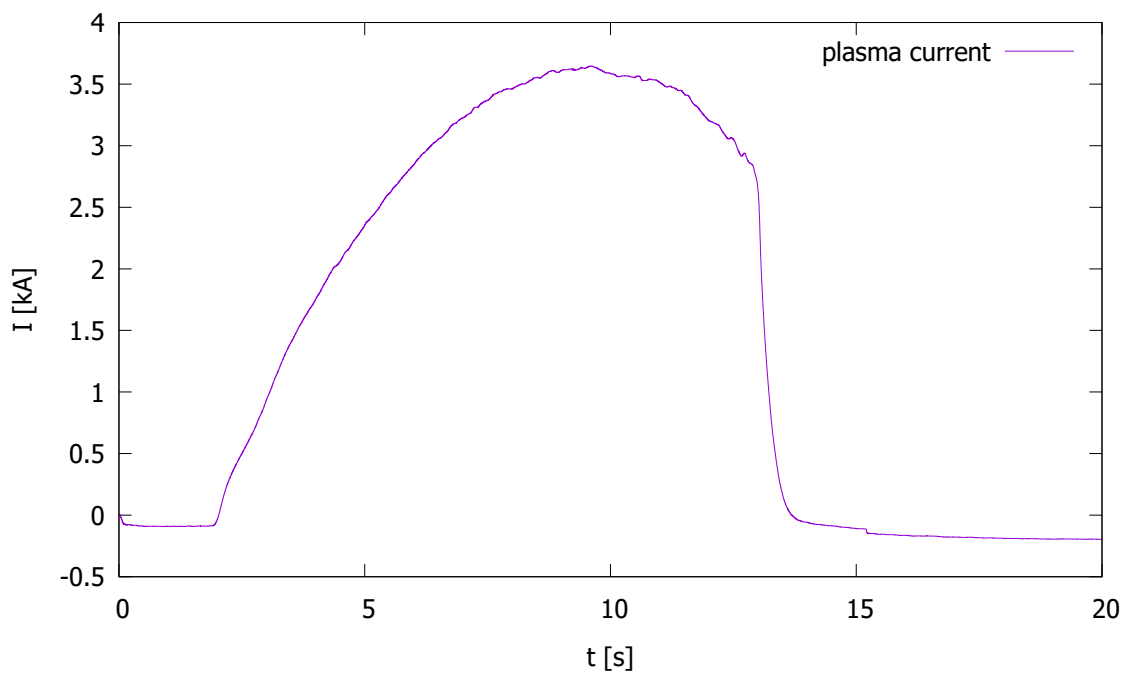
Obr. 26: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 2. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 950$  V a  $U_{CD} = 650$  V.



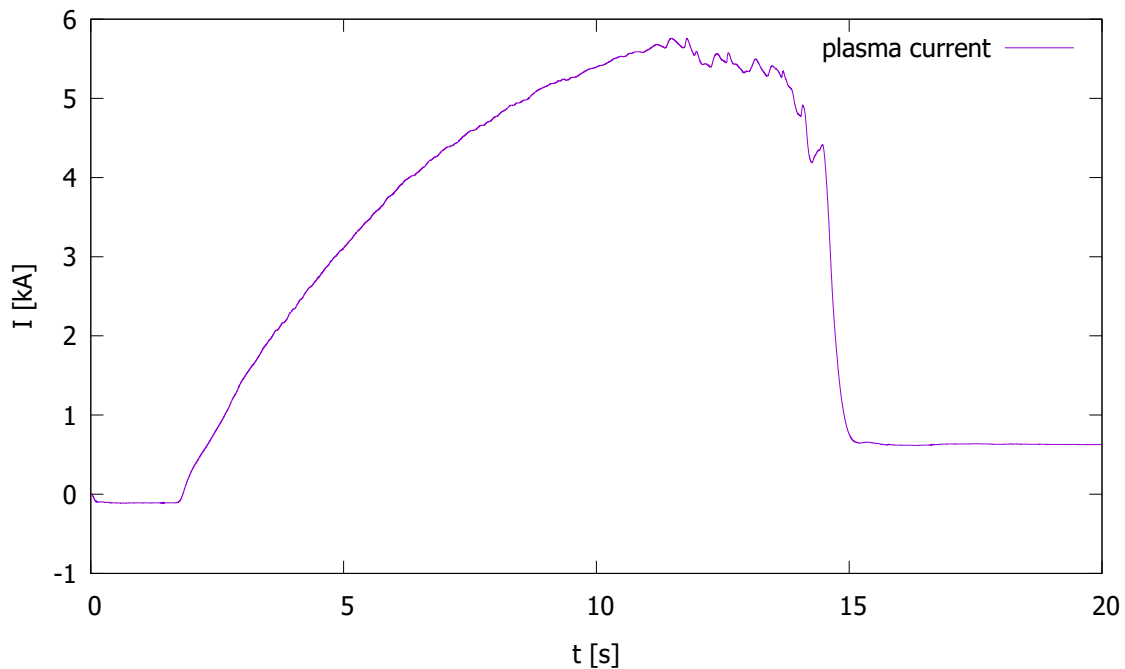
Obr. 27: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 3. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1000$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



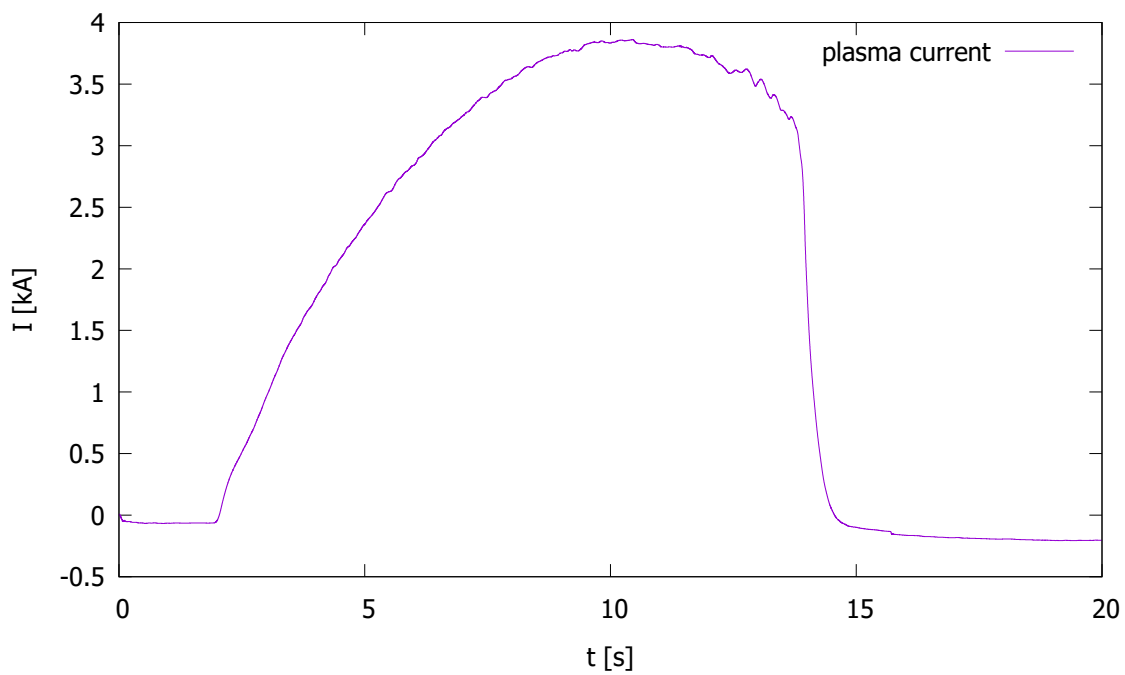
Obr. 28: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 4. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1000$  V a  $U_{CD} = 700$  V.



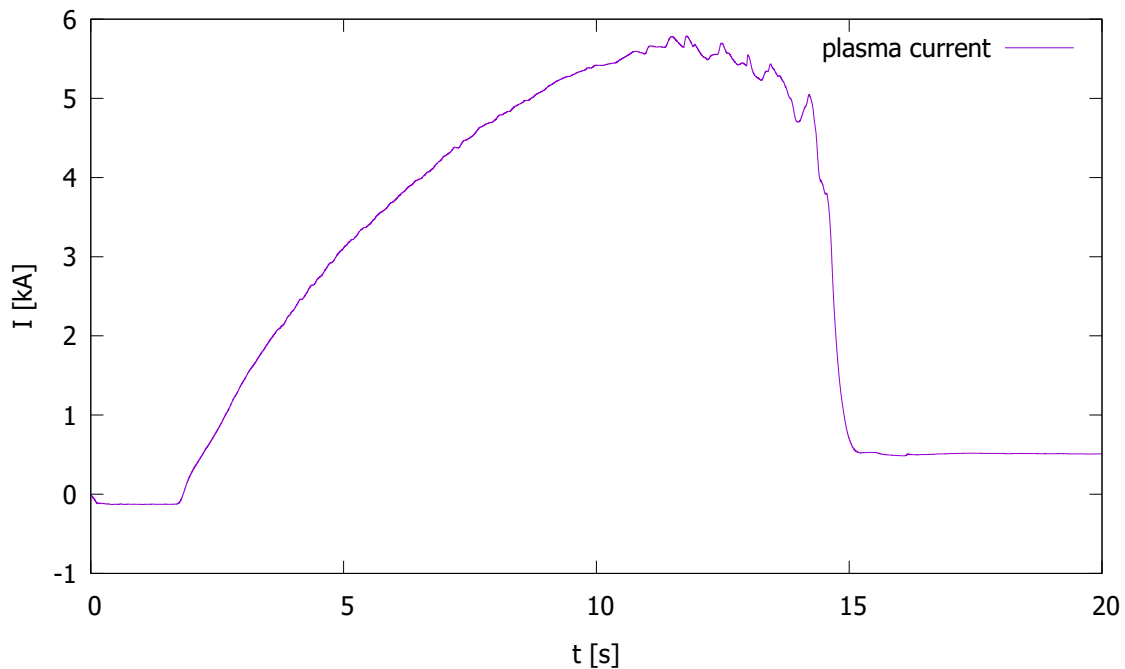
Obr. 29: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 5. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1050$  V a  $U_{CD} = 450$  V.



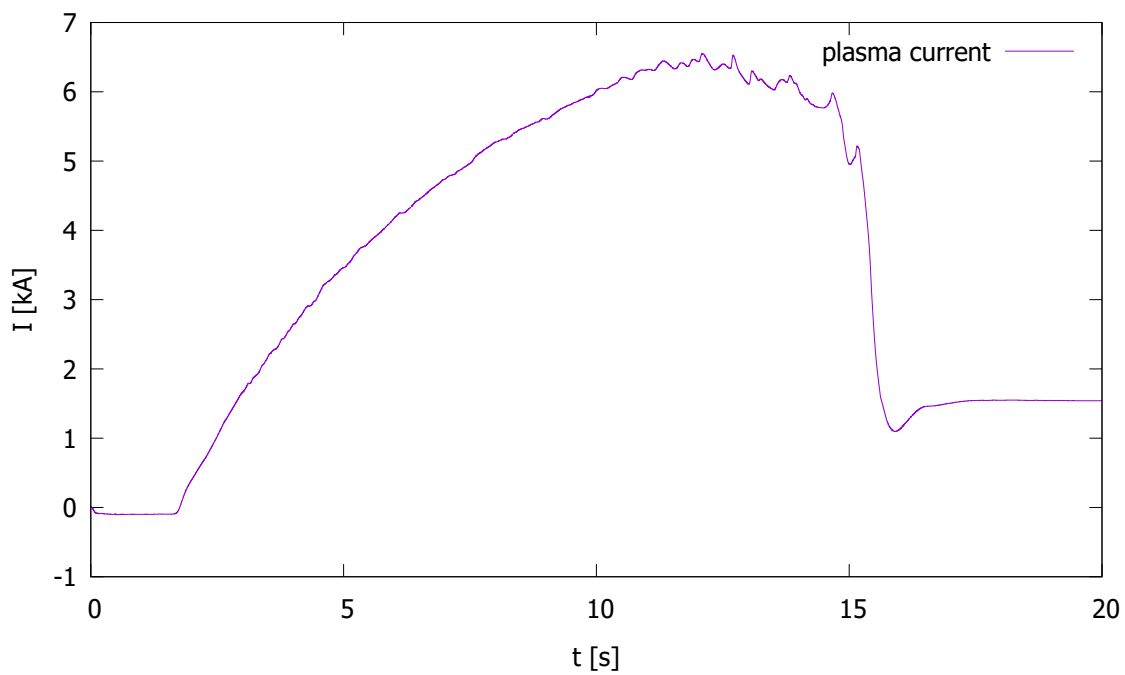
Obr. 30: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 6. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1050$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



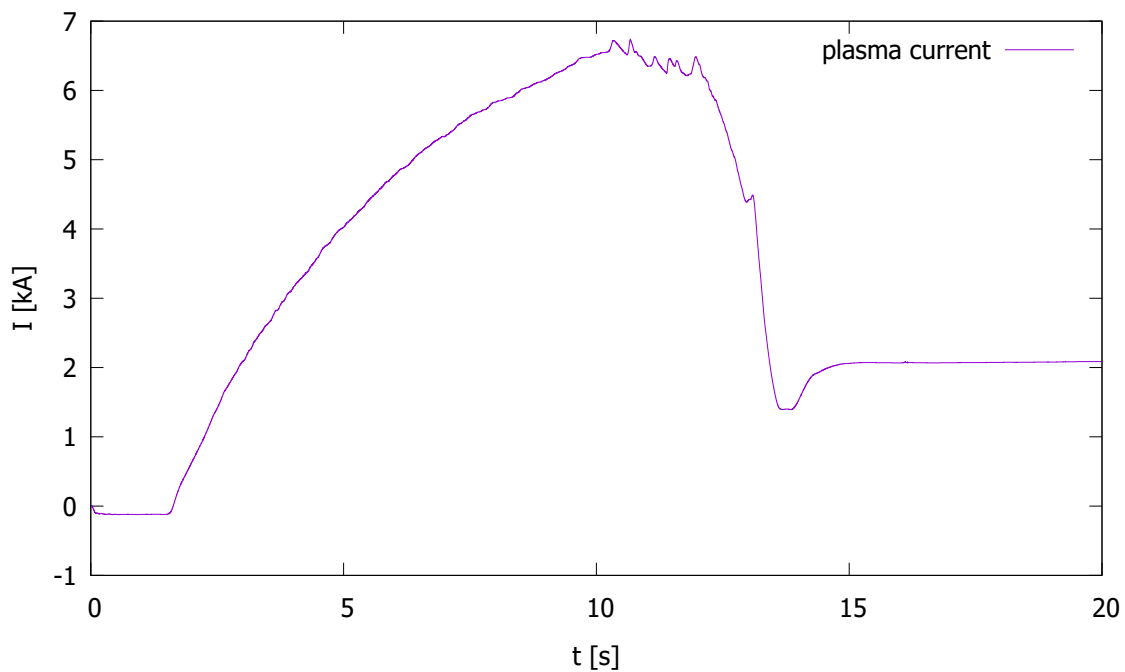
Obr. 31: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 7. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1100$  V a  $U_{CD} = 450$  V.



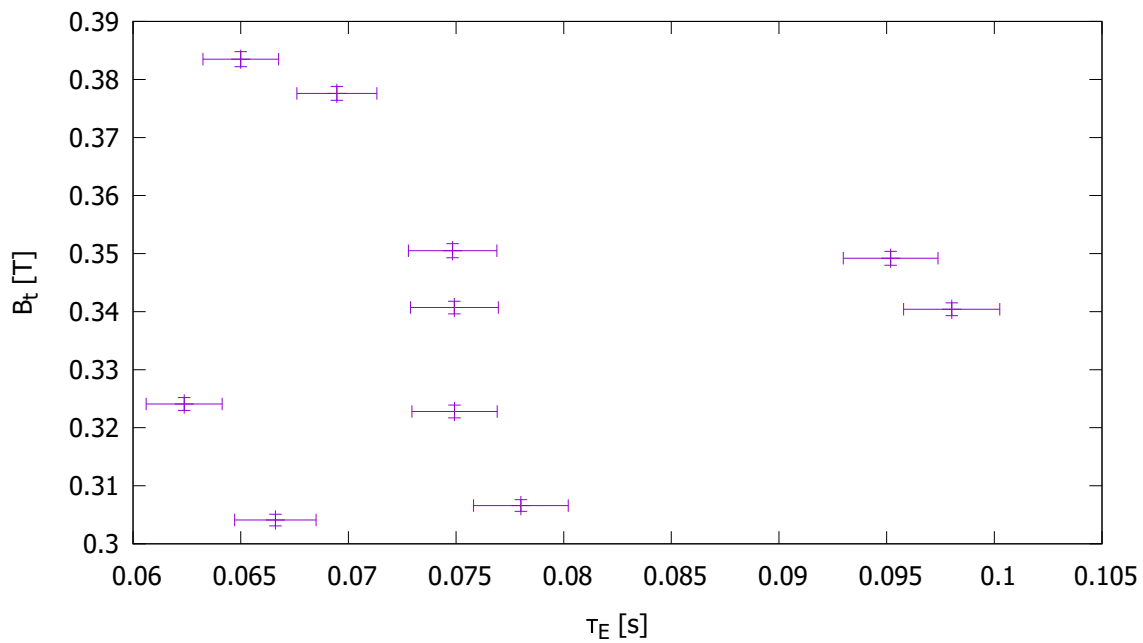
Obr. 32: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 8. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1100$  V a  $U_{CD} = 550$  V.



Obr. 33: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 9. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1200$  V a  $U_{CD} = 600$  V.



Obr. 34: Graf zobrazující průběh proudu probíhajícího plasmou  $I$  v závislosti na čase  $t$  pro 10. výboj s parametry  $p_0 = 20$  mPa,  $U_B = 1200$  V a  $U_{CD} = 700$  V.



Obr. 35: Graf zobrazující hodnoty naměřené magnetické indukce  $B_t$  v závislosti na čase udržení energie  $\tau_E$ .