

Alkalmazott fizikai módszerek laboratórium

II.: Optikai pumpálás

Pál Balázs*
Somogyfoki Réka*,^m, Tuhári Richárd*,^m

2019. október 5.

Abstract

Az *Alkalmazott fizikai módszerek laboratórium* második alkalmával az optikai pumpálás módszerét jártuk körül, mely során egy ^{85}Rb és ^{87}Rb izotópokat tartalmazó rubídiumgázt sugároztunk be lézerrel, majd nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzással. A labormunka során egy Rb- és Kr-tartalmú kisülési cső segítségével megmértük a rendszerre jellemző $\tau = (1/T_p + 1/T_1)^{-1}$, valamint a T_2 relaxációs időket. Ezt követően egy rádiófrekvenciás jelgenerátorral 4 különböző frekvencián feltérképeztük a két rubídiumizotóphoz tartozó rezonanciaátmenetek pozícióját, mely során megmértük a Föld mágneses terének nagyságát is. Végül megpróbáltuk meghatározni a két rubídiumizotóphoz tartozó a hiperfinom kölcsönhatást is figyelembevevő Landé-féle g-faktort (g_F) mely azonban a laborban található eszköz műszaki hibájából fakadóan csupán az $I = 3/2$ magspinnel rendelkező ^{87}Rb izotópra sikerült.

I. BEVEZETÉS

Az optikai pumpálás alatt azt a folyamatot értjük, mely során fény besugárzásával valamilyen mintában található elektronokat magasabb energiaszintre gerjesztünk és ún. „populáció inverziót” hozunk létre, vagyis megfordítjuk az egyes energiaszintek – egyensúlyi helyzetben és kellően magas hőmérsékleten a Boltzmann-eloszlás alapján várható – betöltöttségi arányait. A gerjesztéssel feltöltött energiaszint emiatt metastabil, így arról folyamatosan

elektronok fognak spontán emisszió útján leugrani az alacsonyabb szintekre, miközben koherens fotonokat bocsájtanak ki. A módszert első sorban lézerekben alkamazzák, ahol az aktív közegben található anyag pumpálása során kilépő fotonokat használják fel a lézerfény létrehozásához.

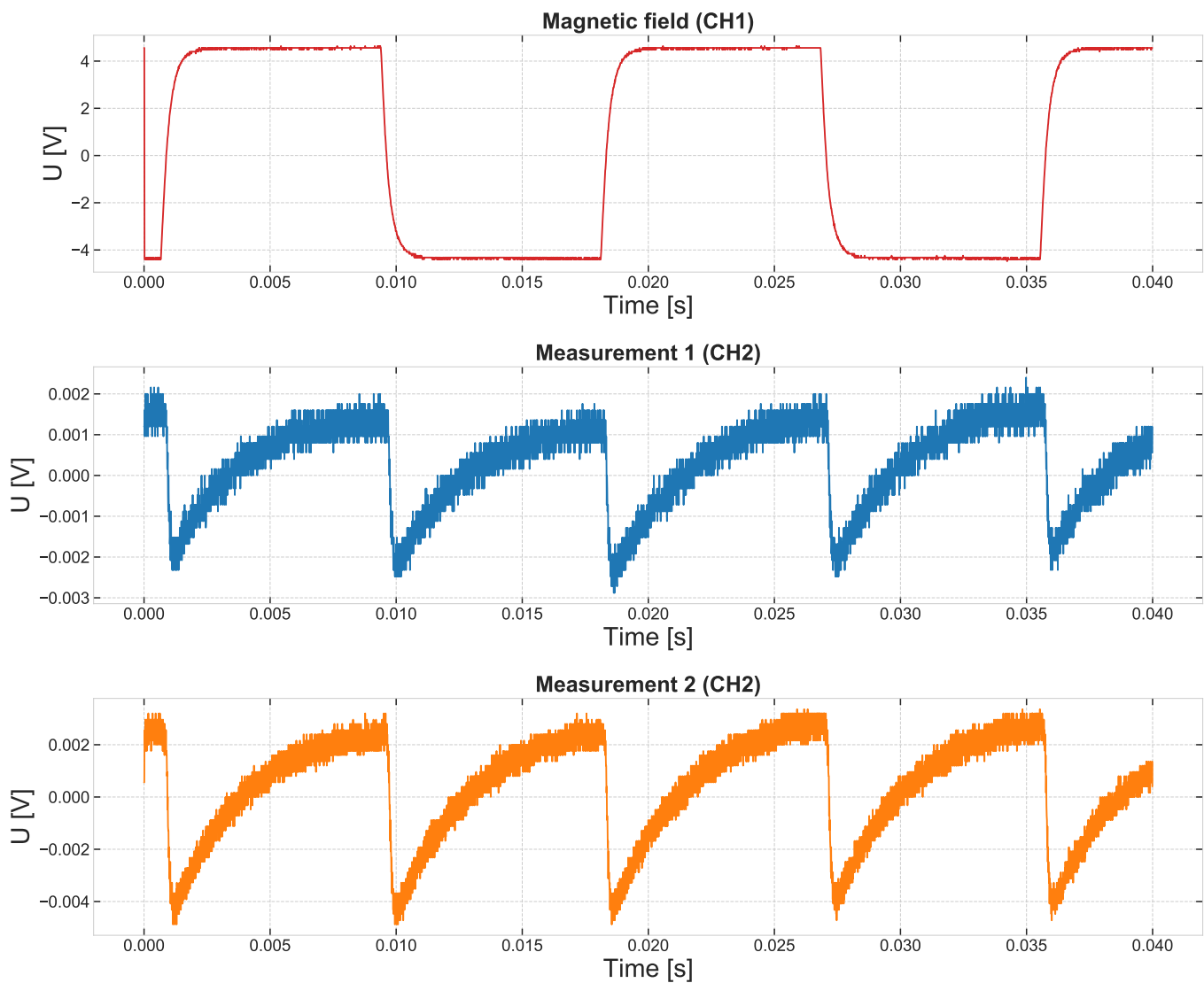
II. A FOLYAMATOT MEGHATÁROZÓ IDŐÁLLANDÓK

*Eötvös Loránd Tudományegyetem

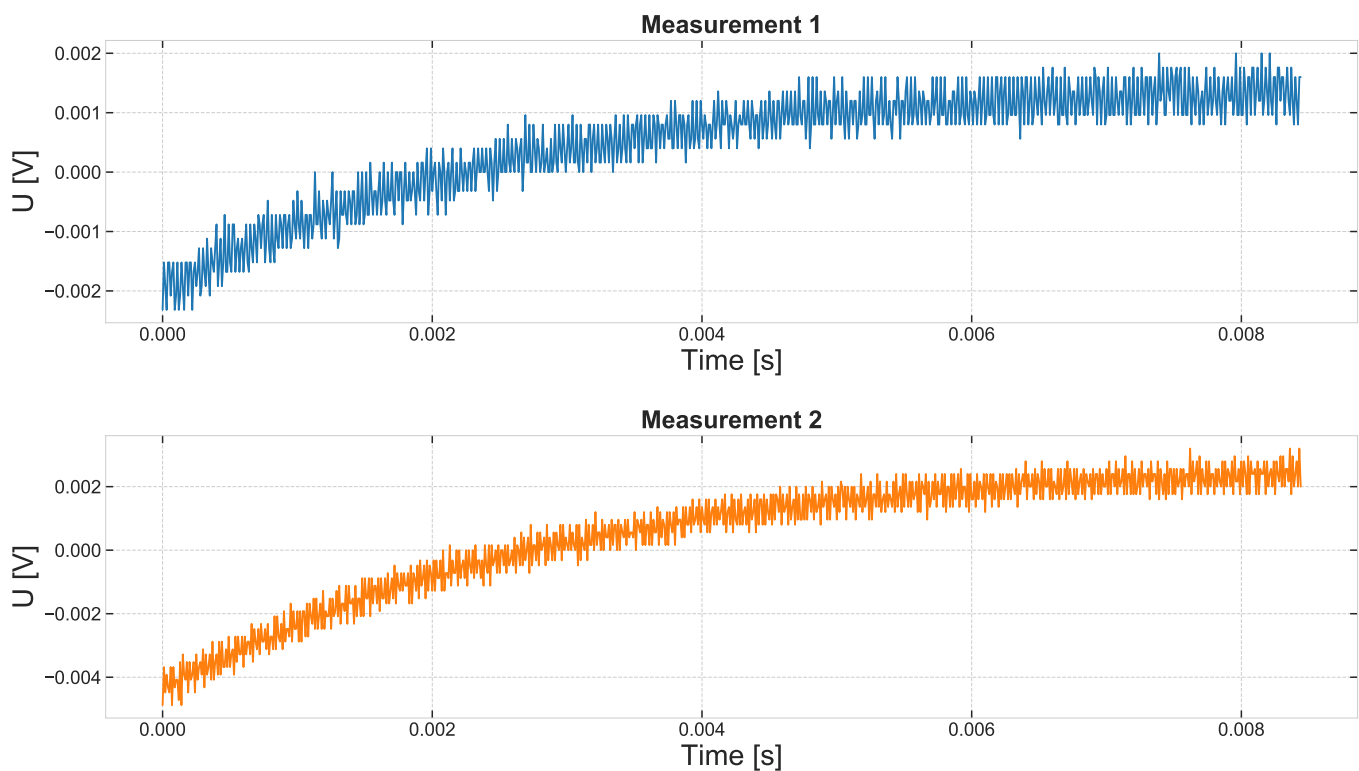
^mMérőtársak

APPENDIX A. - AZ AKTIVITÁS SZÁMÍTÁSA

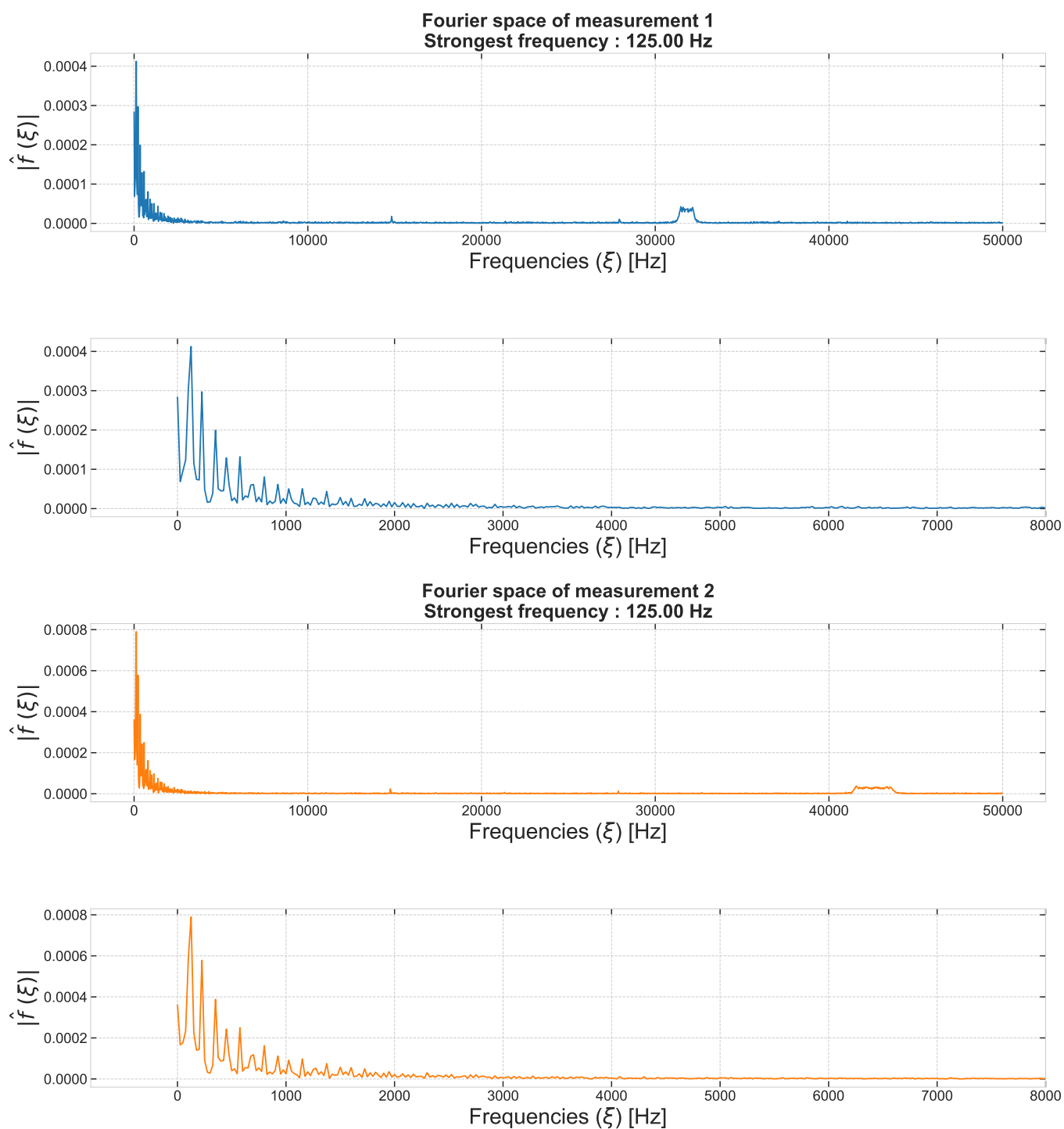
APPENDIX B. - ÁBRÁK



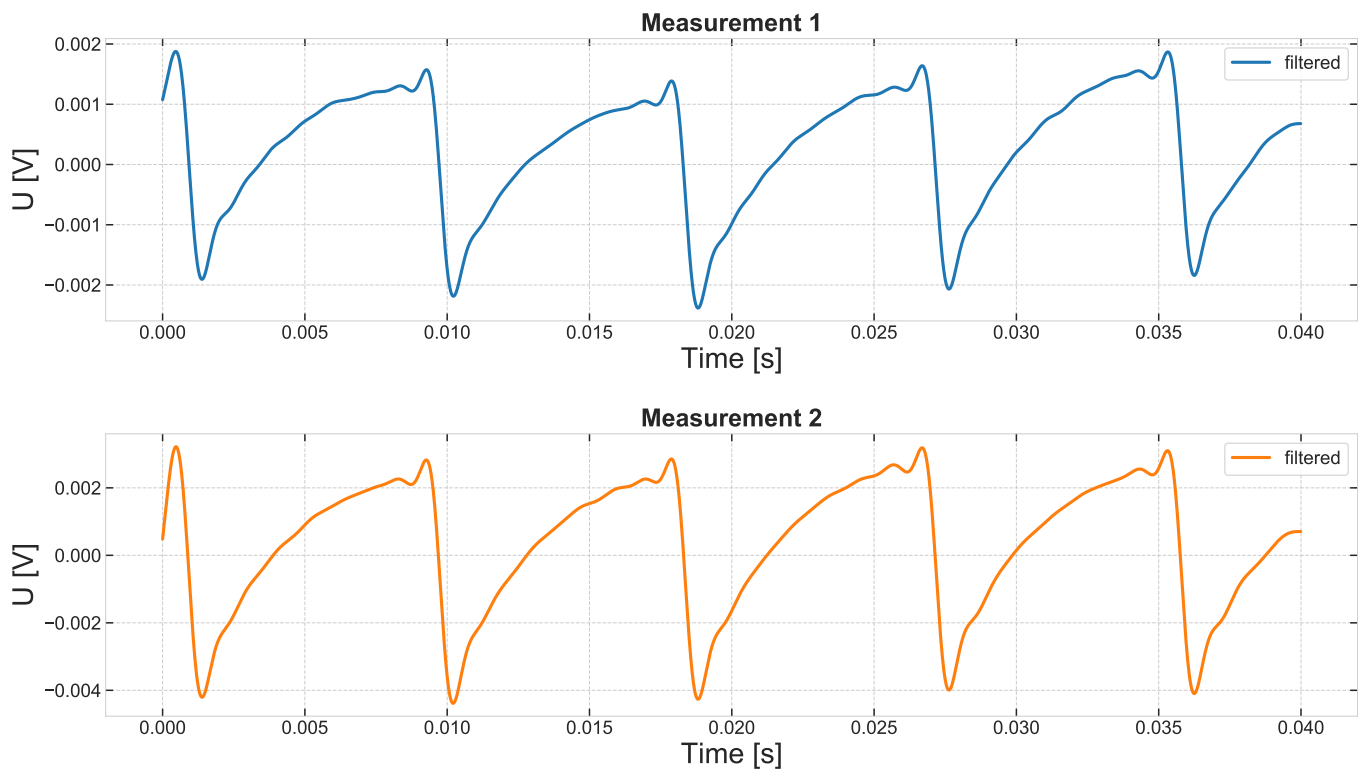
1. ábra. A τ időállandó meghatározásához az ábra első képén is látható, négyyszög alakú jelet vezettünk a Helmholtz-tekercekbe. A kísérleti összeállítás kimenetén egy fotodióda helyezkedett el, mely a mintán áthaladó és kijövő fény intenzitását volt képes mérni. A kimeneti jelet két időpontban is megmértük, mely felvett jelek az ábra középső és alsó képein láthatóak.



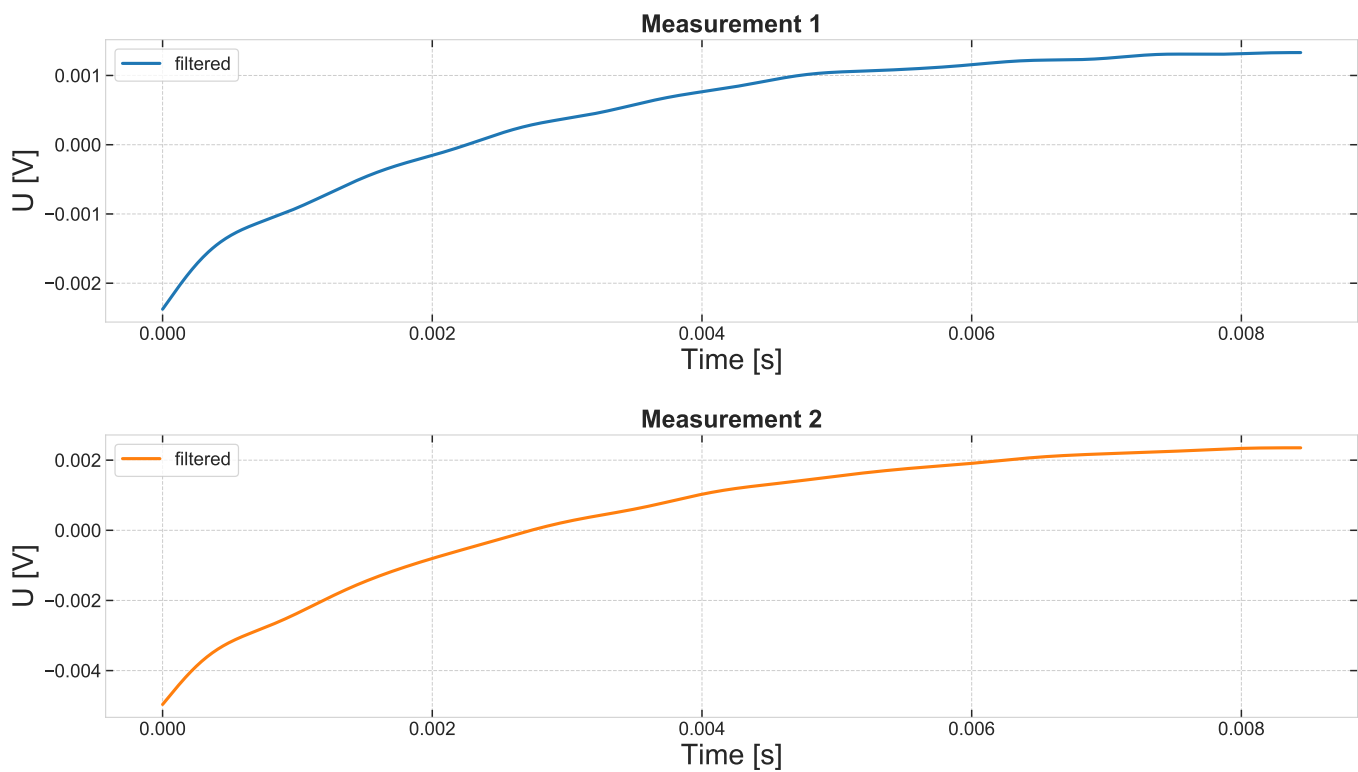
2. ábra. A τ mérése során felvett két jel 1-1 kiemelt periódusának felfutó éle. A jelek kezdőpontja a $t = 0$ -ba van eltolva.



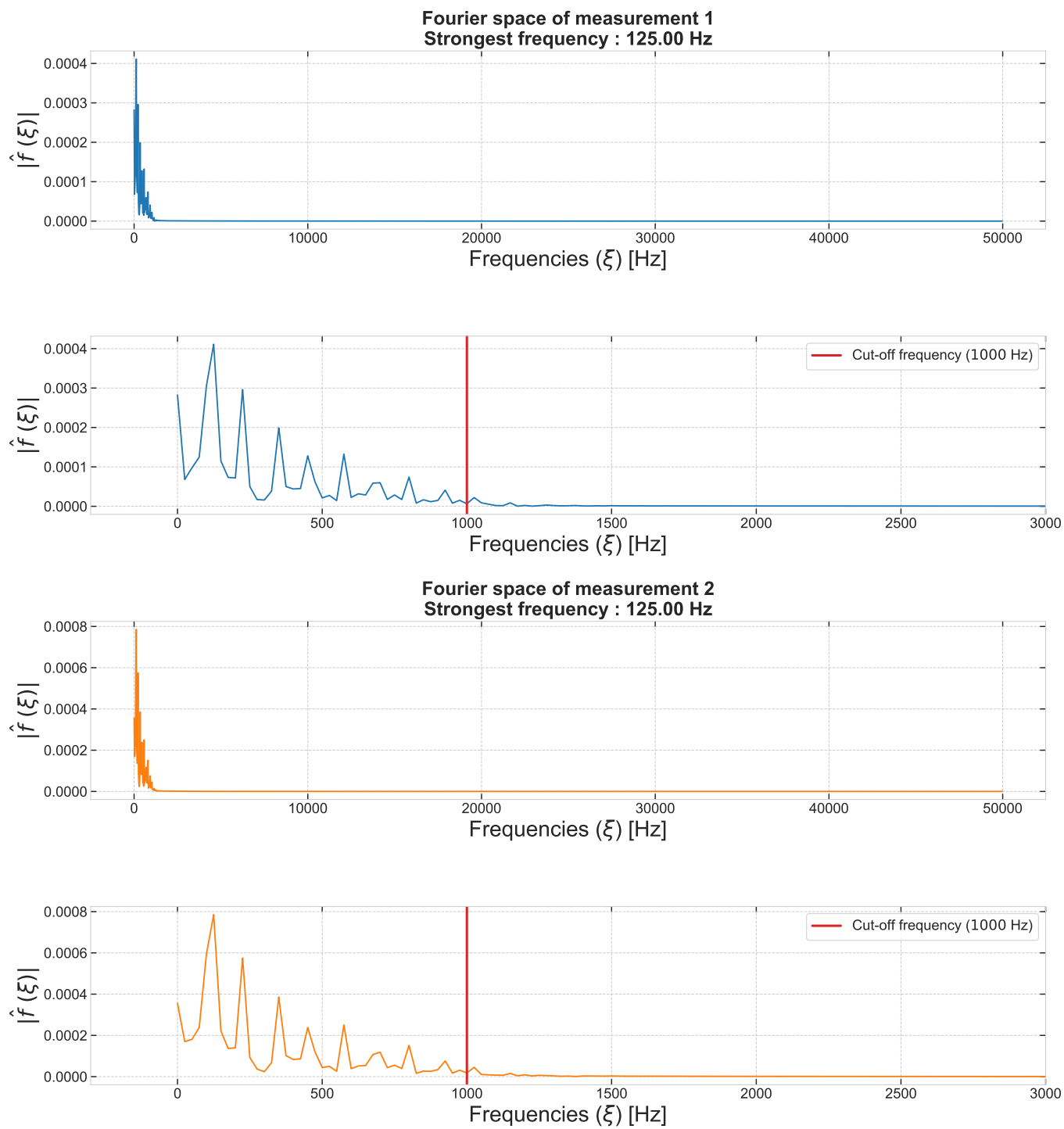
3. ábra. A τ mérése során felvett két jel Fourier-térben ábrázolva. Az 1. és 3. képen a jelek teljes frekvenciatere látható, míg a 2. és 4. képen csak a 8000 Hz alatti frekvenciák szerepelnek.



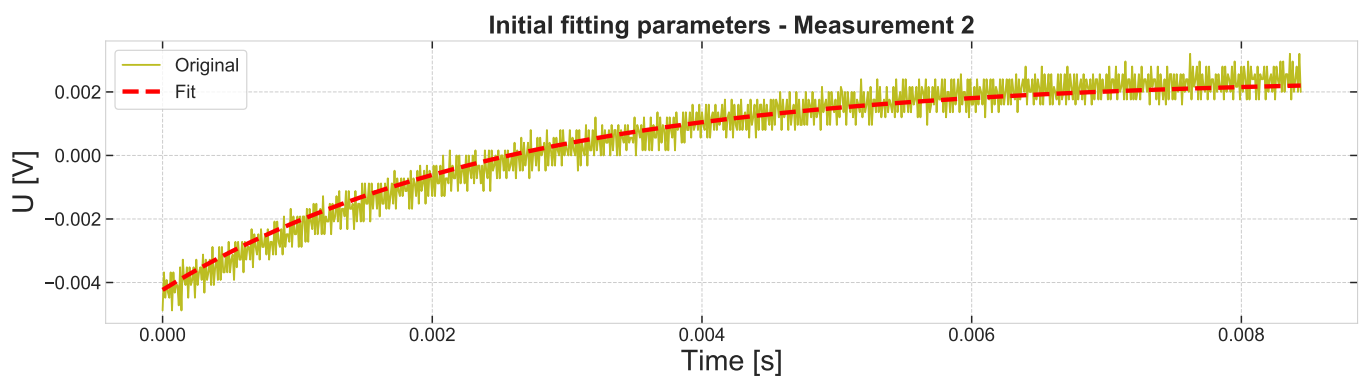
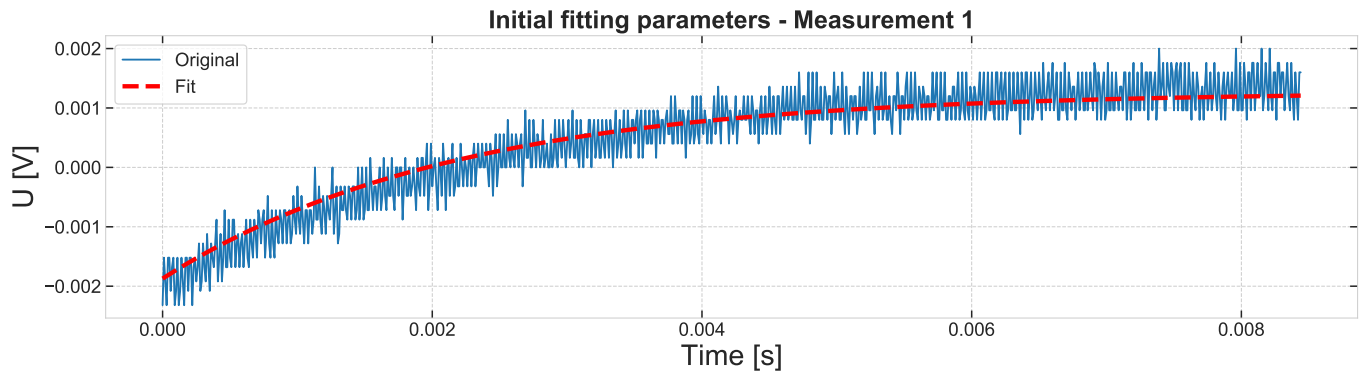
4. ábra. A τ mérése során felvett két jel egy $f_C = 1000$ Hz levágási frekvenciával rendelkező aluláteresztő szűrőn átengedve.



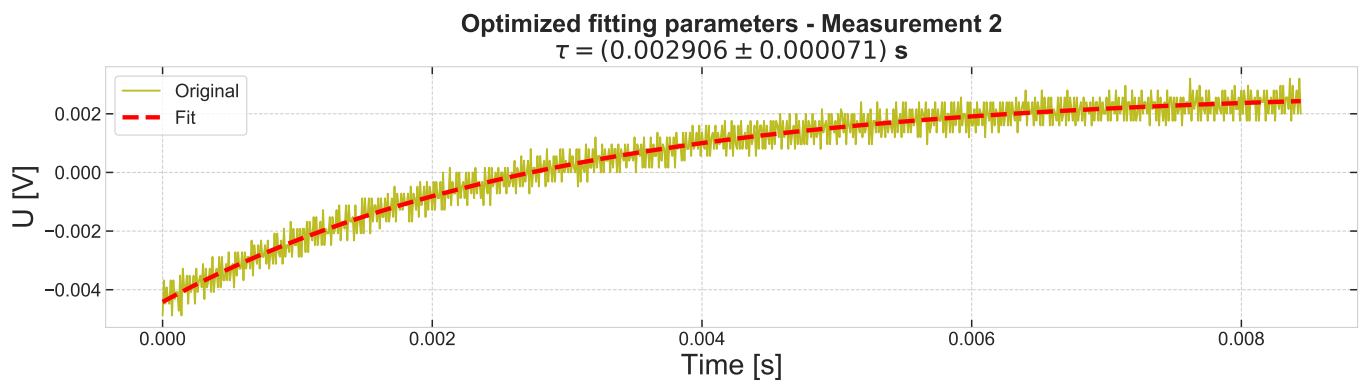
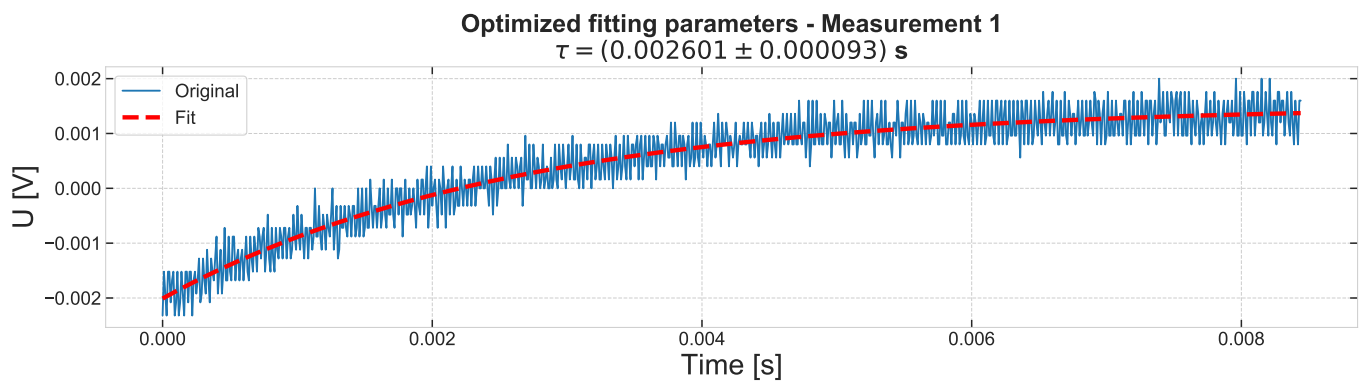
5. ábra. A τ mérése során felvett két jel egy $f_C = 1000$ Hz levágási frekvenciával rendelkező aluláteresztő szűrőn átengedve. Az ábrán a jelek 1-1 kiemelt periódusának felfutó élei láthatóak. A jelek kezdőpontja a $t = 0$ -ba van eltolva.



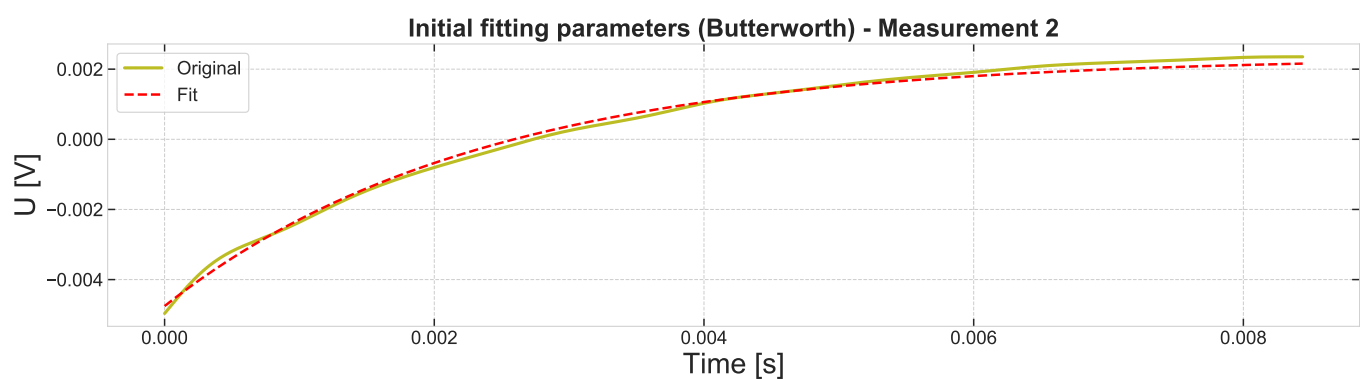
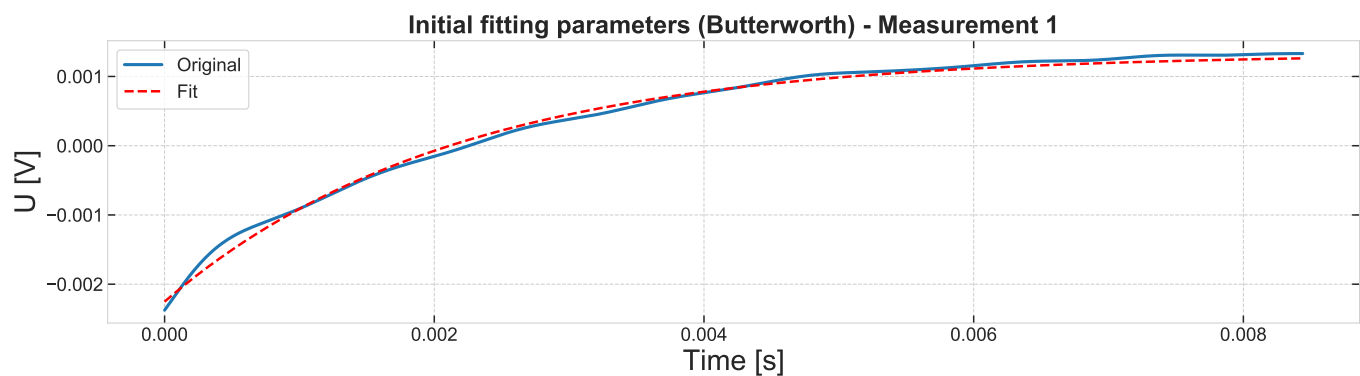
6. ábra. Az aluláteresztő szűrőn átengedett jelalak Fourier-térben ábrázolva. A függőleges vörös vonal a szűrő levágási frekvenciáját jelzi. Az 1. és 3. képen a jelek teljes frekvenciatere látható, míg a 2. és 4. képen csak a szűrő f_C levágási frekvenciájának háromszorosánál kisebb értékek szerepelnek.



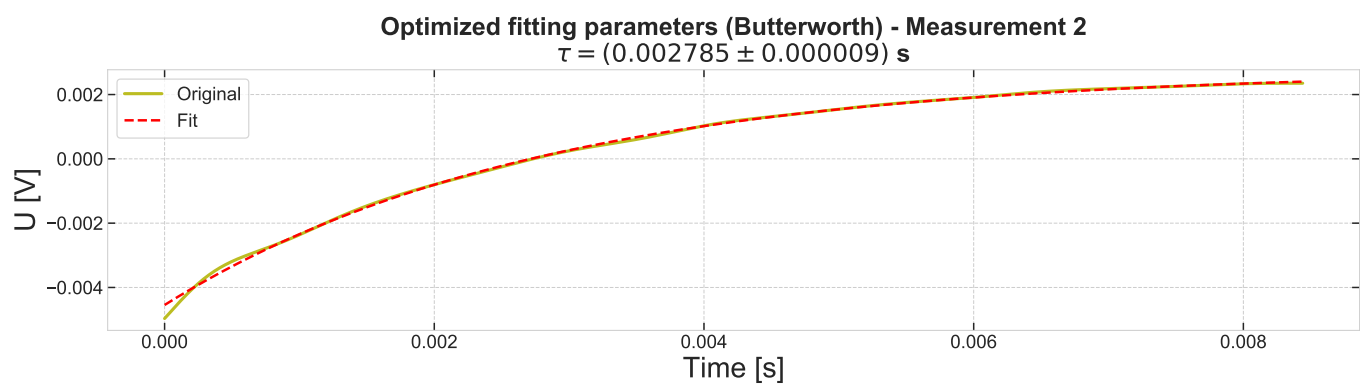
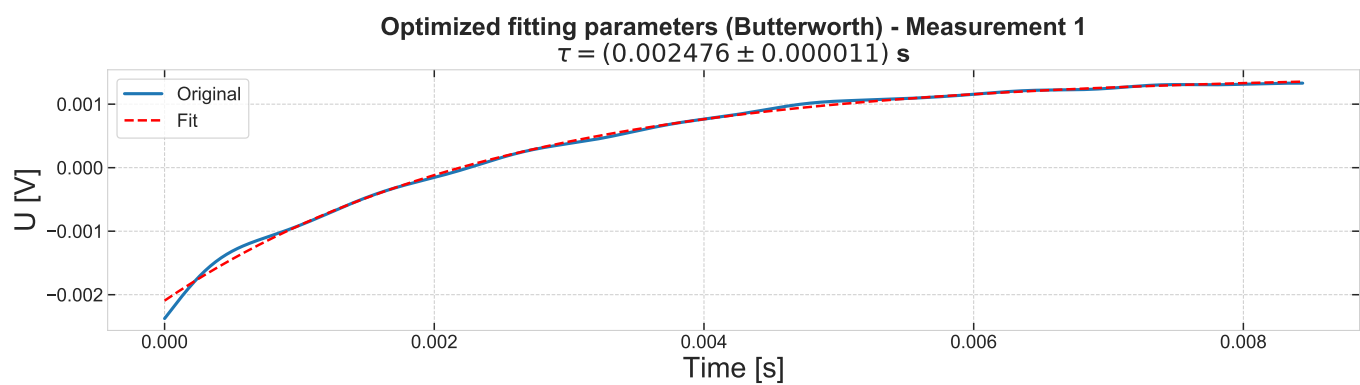
7. ábra. A τ mérése során kapott, szűrés nélküli jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe az első lépésben becsült együtthatóival ábrázolva.



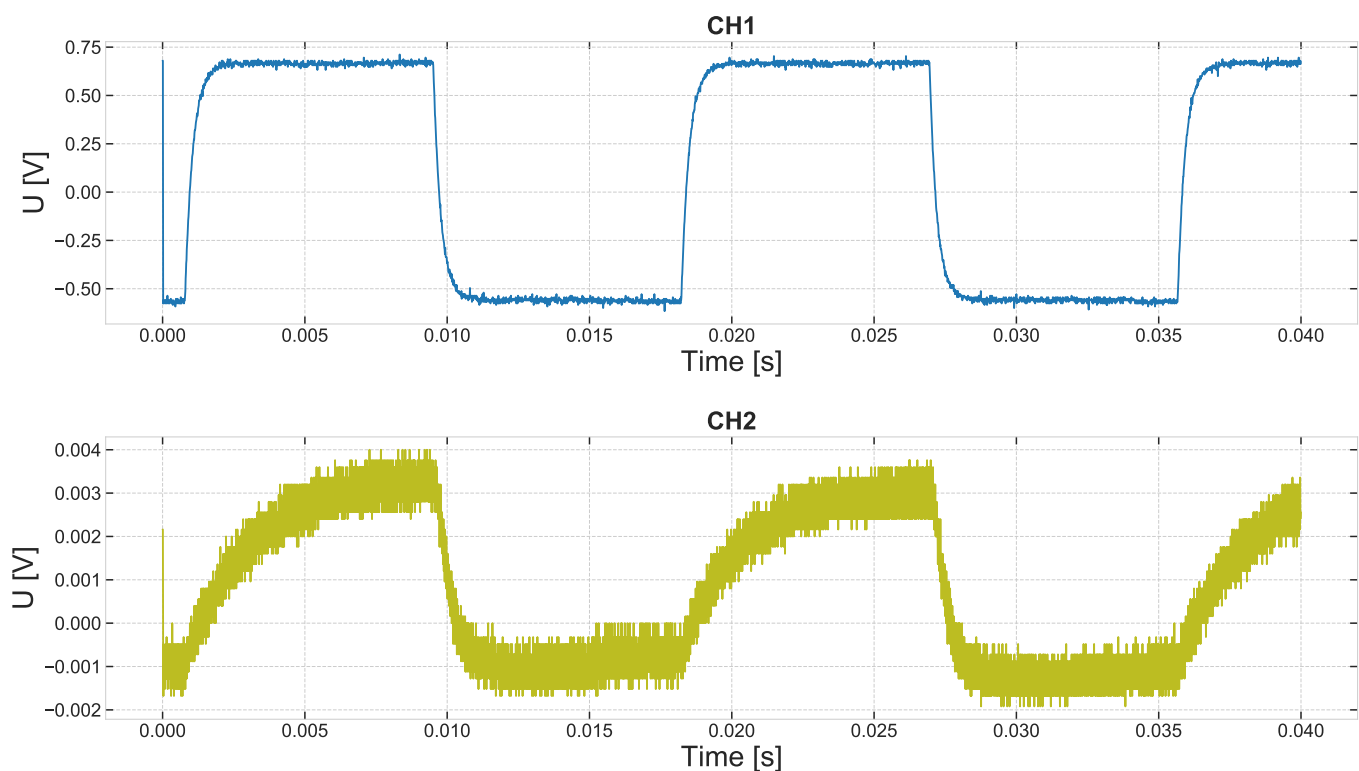
8. ábra. A τ mérése során kapott, szűrés nélküli jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe a függvényillesztési iterációk után optimalizált együtthatóival ábrázolva.



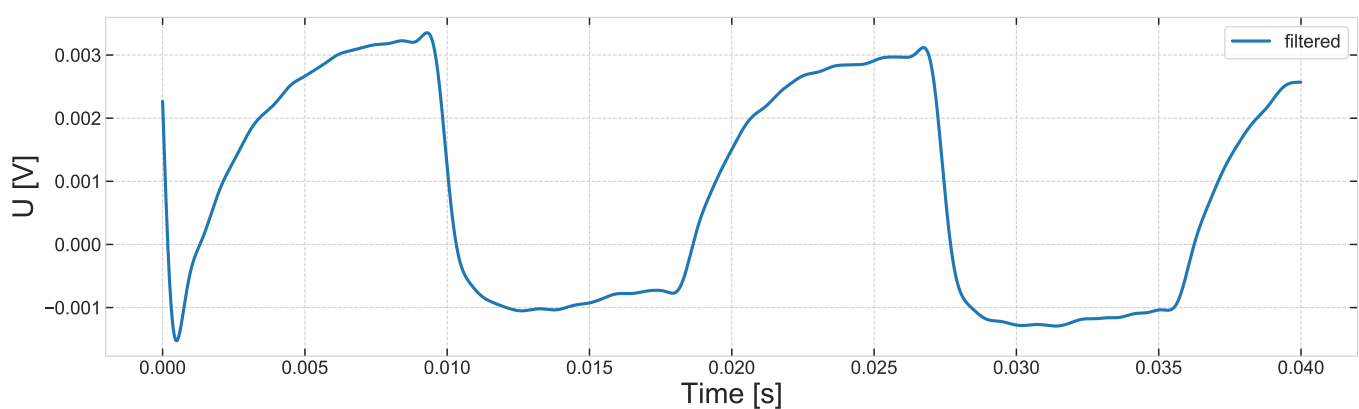
9. ábra. A τ mérése során kapott, aluláteresztő szűrőn átengedett jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe az első lépésben becsült együtthatóival ábrázolva.



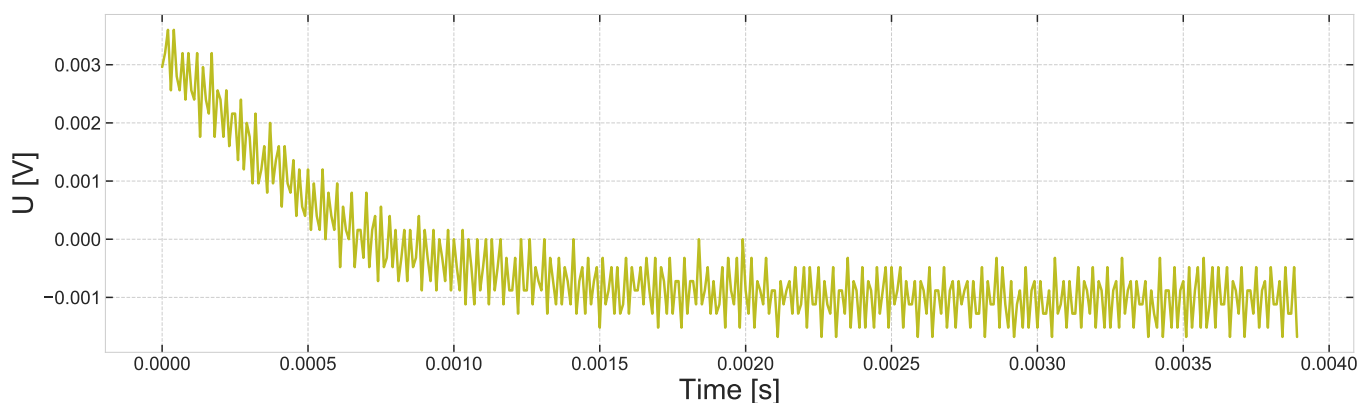
10. ábra. A τ mérése során kapott, aluláteresztő szűrőn átengedett jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe a függvényillesztési iterációk után optimalizált együtthatóival ábrázolva.



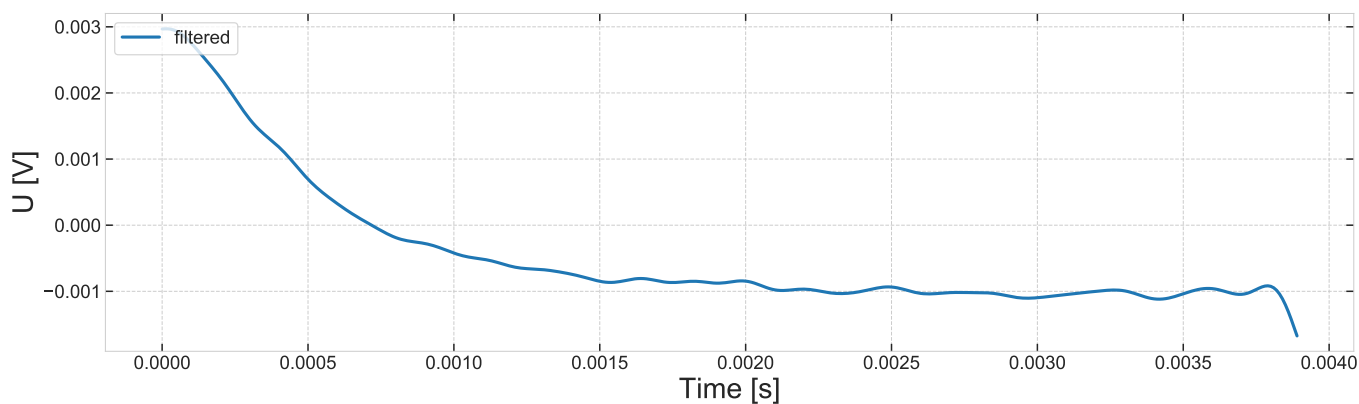
11. ábra. A T_2 időállandót kimérendő, a Föld mágneses terét ellensúlyozó és így a minta helyén a mágneses teret teljesen kioltó áramot kapcsoltunk a Helmholtz-tekersekre. A tekercsre kapcsolt jelalak a felső, míg a fotodióda jele az alsó ábrán látható.



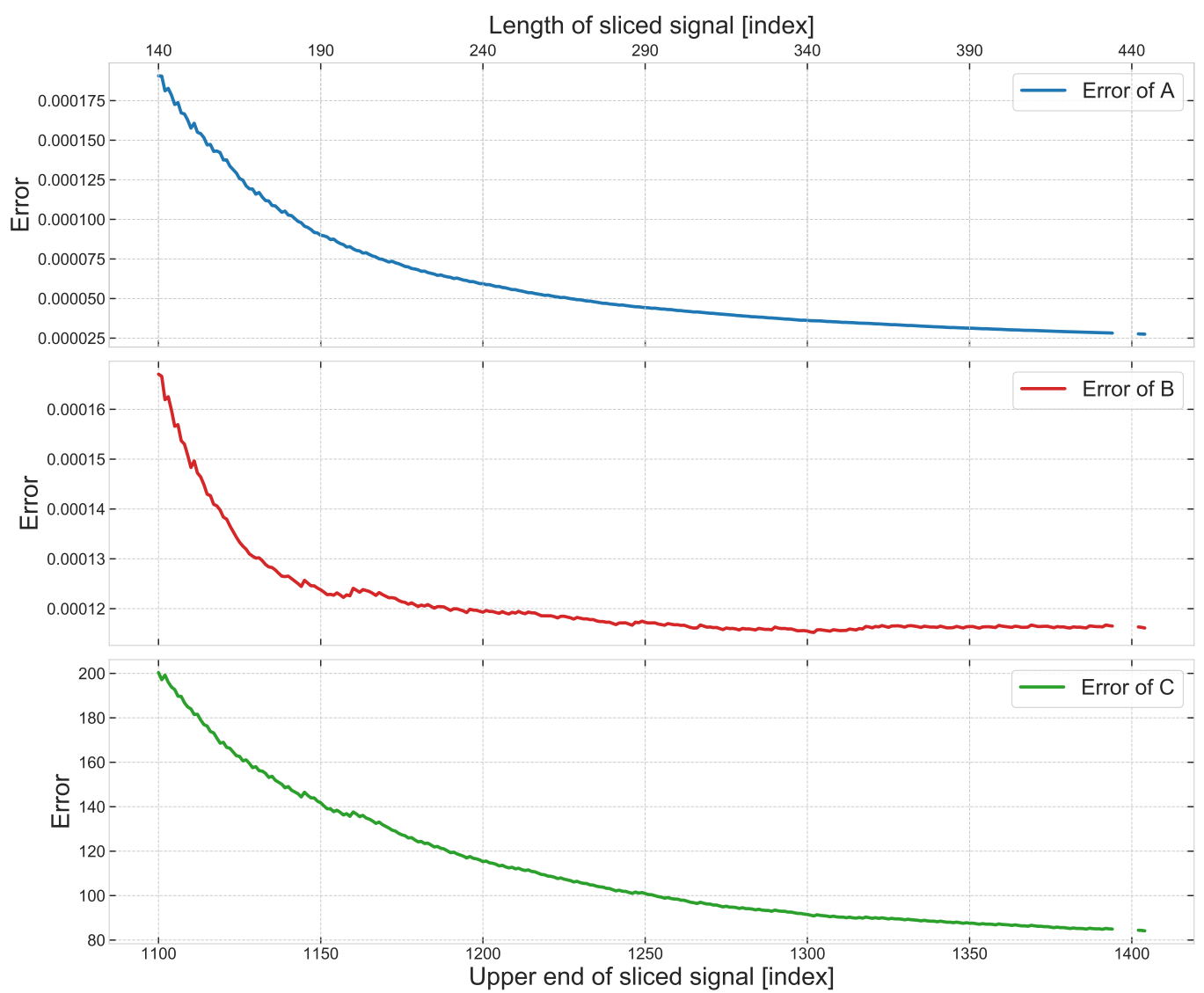
12. ábra. A fotodióda jele egy $f_C = 1000$ Hz levágási frekvenciával rendelkező aluláteresztő szűrőn átengedve.



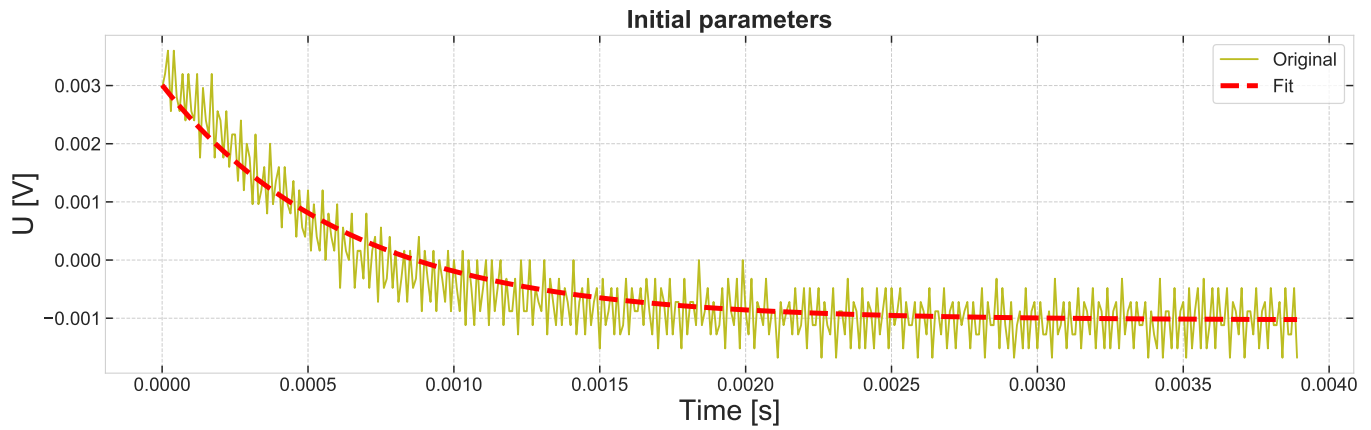
13. ábra. A T_2 mérése során kapott jelalak egyik periódusának lefutó éle. A jel kezdőpontja a $t = 0$ -ba van eltolva.



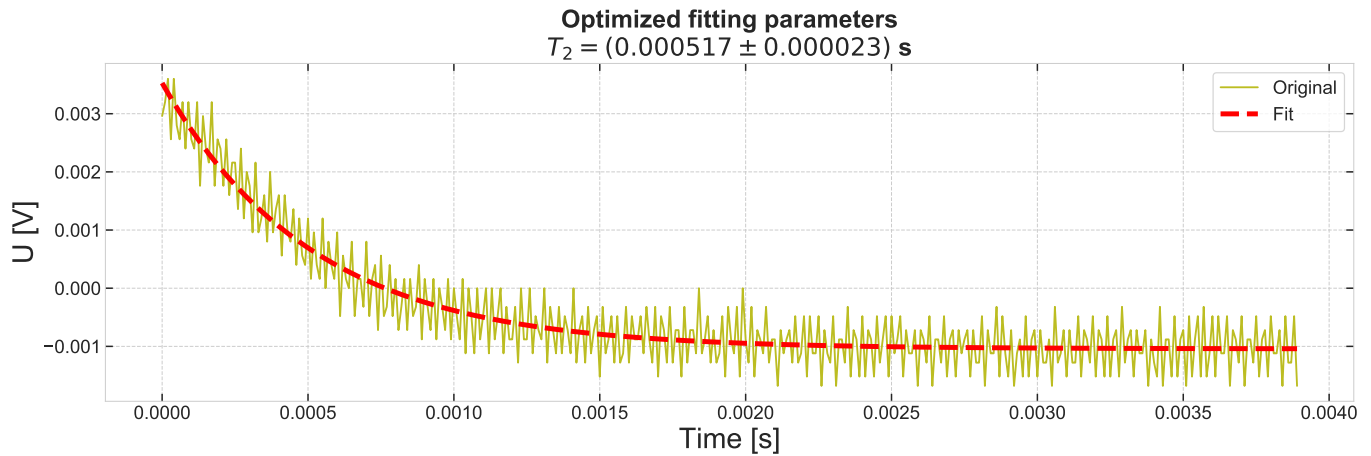
14. ábra. A T_2 mérése során kapott jelalak egyik periódusának lefutó éle, egy $f_C = 1000$ Hz levágási frekvenciával rendelkező aluláteresztő szűrőn átengedve. A jel kezdőpontja a $t = 0$ -ba van eltolva.



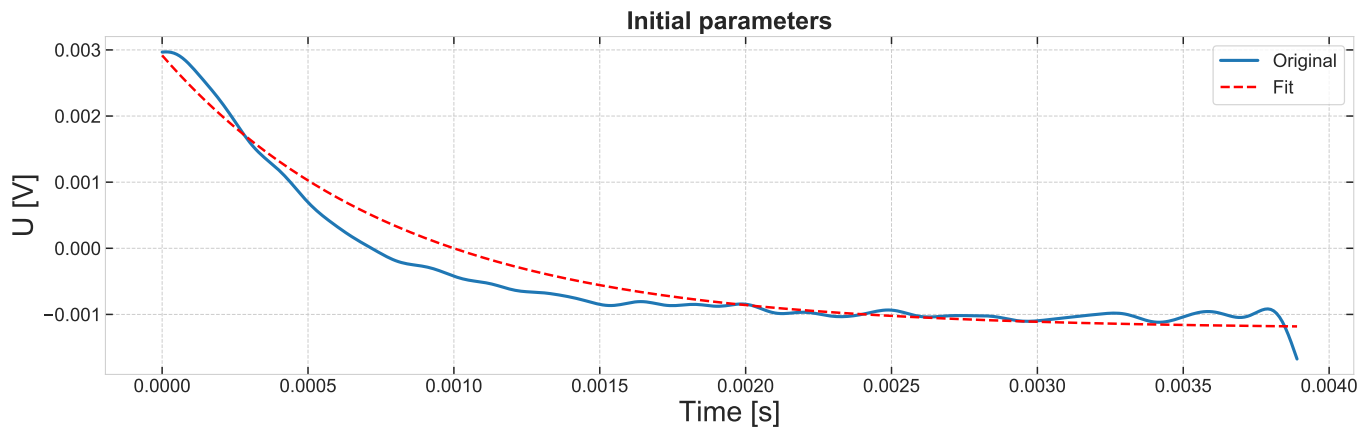
15. ábra. A lefutó élek pontos hosszának kiválasztása az arra történő függvényillesztés standard hibájának elemzésével történt, mely után az elérhető legkisebb hibához tartozó pontnál választottam meg az él hosszát.



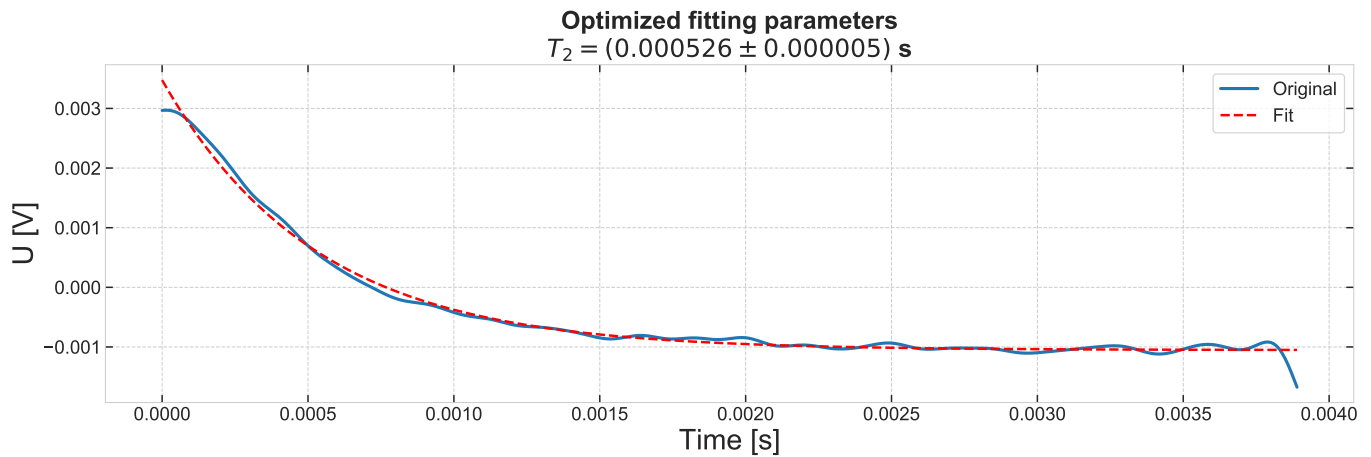
16. ábra. A T_2 mérése során kapott, szűrés nélküli jelalak egyik lefutó élére illesztett paraméteres görbe az első lépésben becsült együtthatóival ábrázolva.



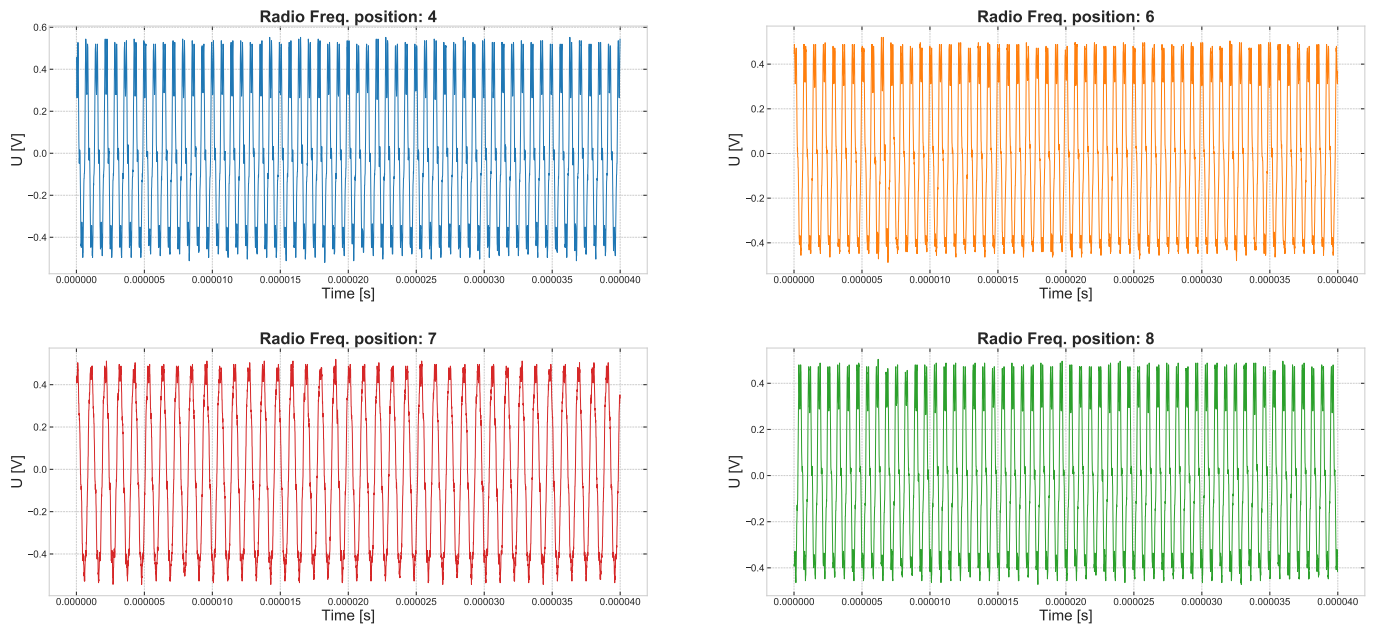
17. ábra. A T_2 mérése során kapott, szűrés nélküli jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe a függvényillesztési iterációk után optimalizált együtthatóival ábrázolva.



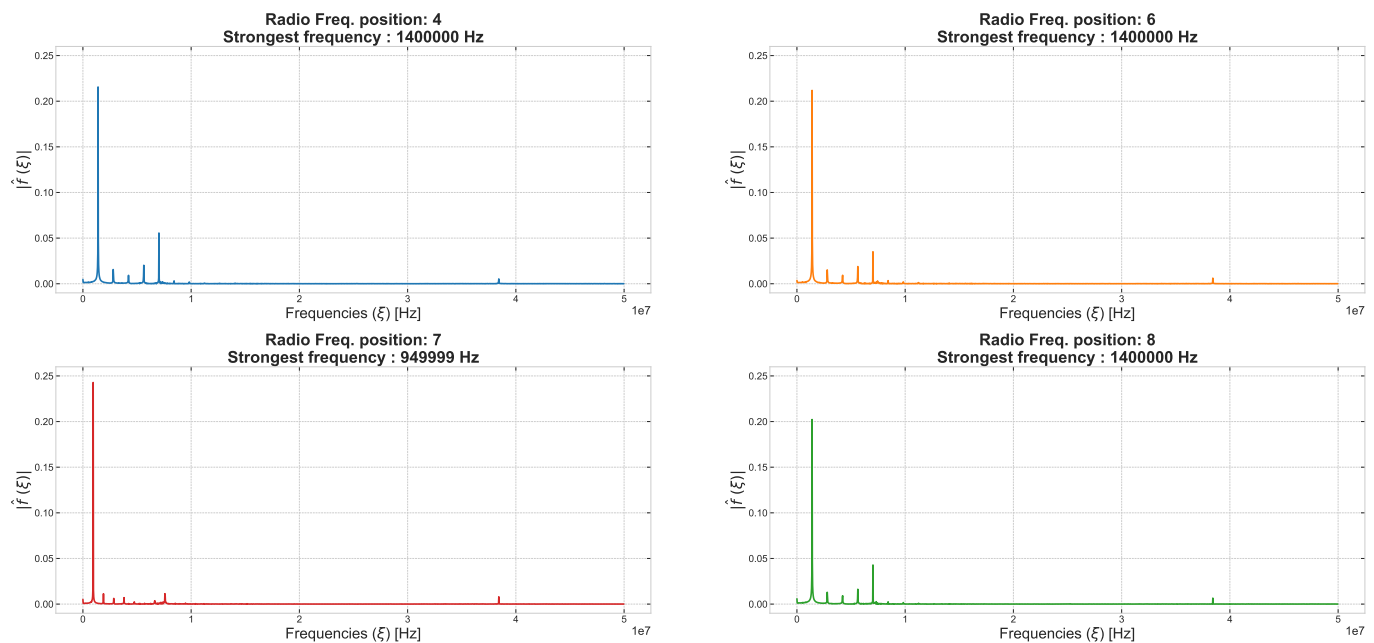
18. ábra. A T_2 mérése során kapott, aluláteresztő szűrőn átengedett jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe az első lépésben becsült együtthatóival ábrázolva.



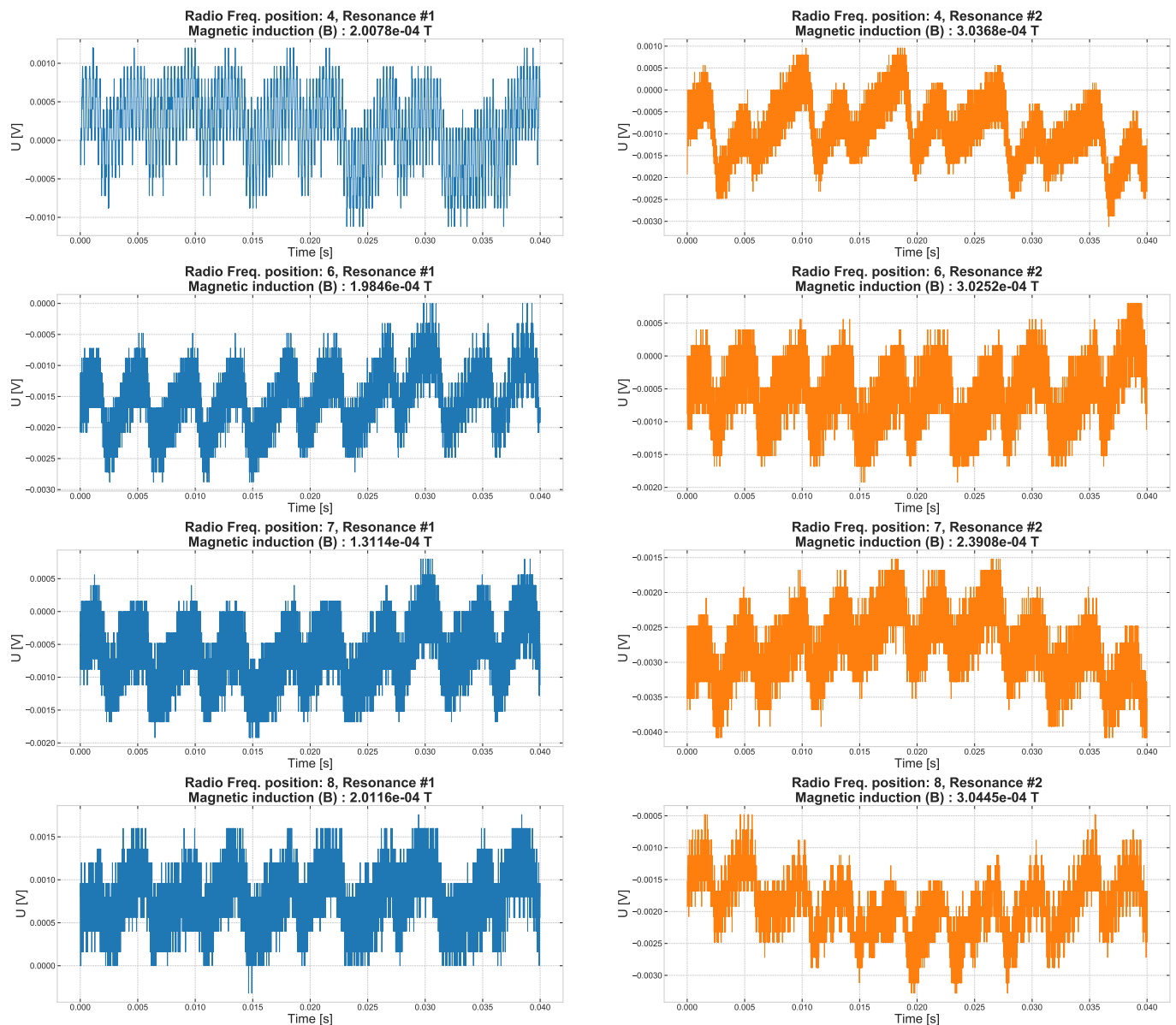
19. ábra. A T_2 mérése során kapott, aluláteresztő szűrőn átengedett jelalak egyik felfutó élére illesztett paraméteres görbe a függvényillesztési iterációk után optimalizált együtthatóival ábrázolva.



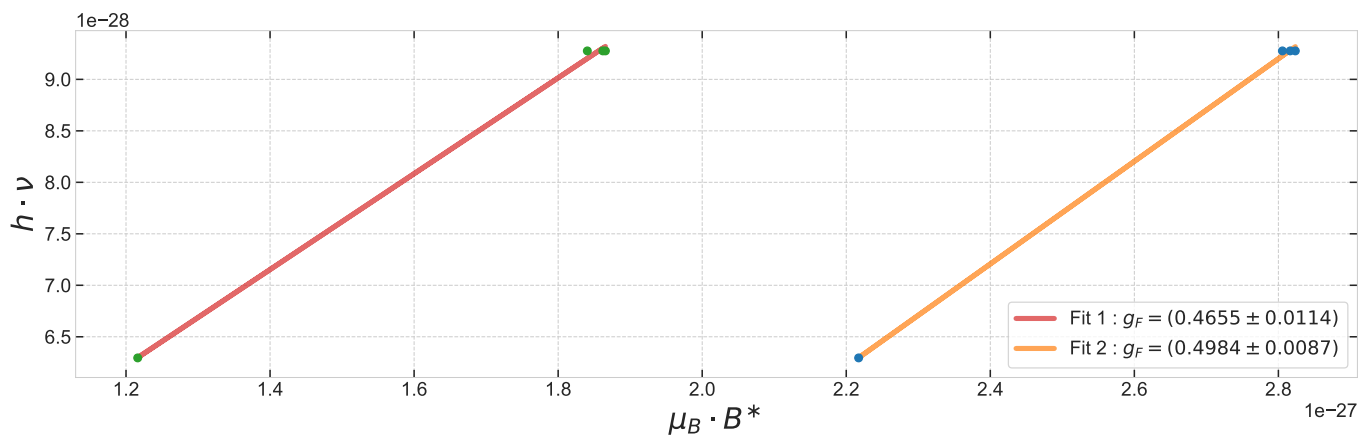
20. ábra. A g_F faktorok méréséhez használt rádiófrekvenciák jelalakjai. A mérés során a jelgenerátor 4 különböző pozícióját használtuk, melyeket a 4, 6, 7 és 8 számokkal jelzünk a műszer beosztási skálája alapján.



21. ábra. A fenti jelek pontos frekvenciáját Fourier-analízissel határoztam meg. Már a labormérés során is problémák adódtak a jelgenerátorral, azonban a vizsgálatukból fény derült a pontos hibára is. A 4-es, 7-es és 8-as állásokban a jeladó pontosan ugyanazon frekvenciákat bocsájtja ki magából, így mérés szempontjából semmilyen különbséggel nem rendelkeznek.



22. ábra. A g_F faktorok meghatározásához kimért $\mu_B B^* = h\nu$ rezonanciákhoz tartozó fotodióda jelalakok a B_+ polaritás esetében.



23. ábra. A g_F faktorok meghatározásához kimért $\mu_B B^* = h\nu$ rezonanciákra illesztett egyenesek. A mérőműszer hibájából fakadóan csak az $I = 3/2$ magspinű ^{87}Rb izotópokhoz tartozó $g_F \approx 1/2$ értéket tudtuk mindkét illesztésből kimutatni.