

Dízel berendezések elektronikus vezérlése

Elektronikus Dízel Technika

Madarász Róbert Rossi

Sapientia EMTE

Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely

irányító Dr. Kelemen András

Tartalomjegyzék

- 1. Rövid bevezető**
- 2. A Common-Rail rendszer áttekintése**
- 3. A Common-rail üzemanyagellátó rendszer kísérleti mikrokontrolleres vezérlése**
- 4. A nyomásszabályozott rendszer vezérlési jelleggörbéje**
- 5. Kísérleti eredmények**
- 6. A porlasztás késésének a mérése**
- 7. Következtetések**

Rövid bevezető

Amint tudjuk a gépjárműtechnika számos kiváló találmánya Robert Bosch-nak köszönhető s az ő kiváló találmányainak, mint például a több mint 110 éves gyújtó gyertya és a több mint 85 éves dízelporlasztó. A gépjárműipar újabb és újabb szintekre fejlesztette ezeket a találmányokat az évek során miközben az eredeti működési elvet megtartotta. A dízel berendezések megkönnyítik a mindennapi életet. Legyen az személygépkocsi vagy akár teherhaszongépjármű, több mint valószínű, hogy az előbb felsoroltak közül legalább egyik eszköz megtalálható benne.

A dízelmotorok befecskendező rendszereivel szemben támasztott követelmények folyamatosan növekednek. A nagyobb nyomások, a rövidebb kapcsolási idők és a befecskendezés lefutásának a motor üzemállapotához történő rugalmas állítása teszik a dízelmotorokat takarékosabba, tisztábbá és növelik meg ugyanakkor a teljesítményt is.

Ezek a követelmények vezettek a Common-Rail rendszer kifejlesztéséhez.

Célkitűzés

Célom egy olyan bevizsgáló eszköz tanulmányozása és gyakorlati kivitelezése, amely alkalmas a Dízelmotorok egyik legkorszerűbb üzemanyag-ellátó rendszerének, a Common-Rail rendszernek az elektronikus vezérlésére és tesztelésére. A bevizsgáló berendezés egyik alapvető eszköze az úgynevezett köböző pad, amelynek szerepe a befecskendezett üzemanyagmennyiség mérése. A kísérleti berendezés fényképe az 1. ábrán látható.

A rendszer vezérlése céljából szükséges egy mikrokontrolleres rendszer kialakítása mely képes befecskendezési nyomást szabályozni és képes porlasztókat vezérelni. A bevizsgáláshoz szükséges, hogy ez a rendszer pontosan tudja reprodukálni a dízelmotor vezérléshez szükséges körülményeket.

A diagnózis felállítása a befecskendezett üzemanyagmennyiség alapján dől el.



1. Ábra. A kísérleti berendezés alkotó elemei

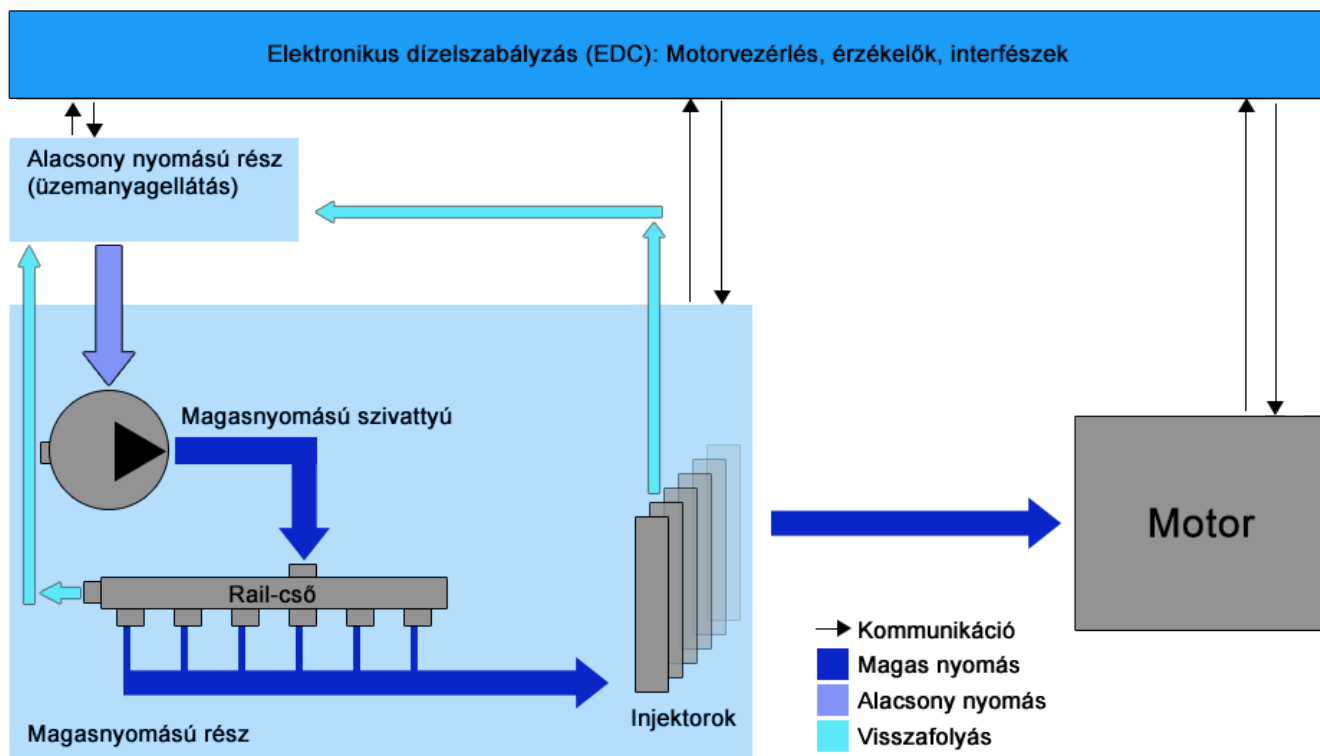
A Common-Rail rendszer áttekintése

A rendszer sajátossága az előző generációkhoz képest az, hogy a nyomásépítést és a befecskendezést különböző, specializált egységek hajtják végre. Így a magasnyomású szivattyúnak a feladata, hogy egy állandó nyomást alakítson ki függetlenül a fordulatszámtól és a befecskendezett mennyiségtől. A befecskendezést a porlasztók valósítják meg. Ezeknek a vezérlésével a központi számítógép foglalkozik mely jóval, nagyobb pontossággal bír, mint az előző generációk mechanikus vezérlése. A rendszer legfőbb előnye az, hogy különböző nyomások, időpontok és időtartamok kombinációjából nagyon sok befecskendezési „receptet” lehet kialakítani. Így meg lehet valósítani a nagy precizitást igénylő elő befecskendezést.

A Common-Rail rendszer főbb alegeységei:

- Kisnyomású rész az üzemanyag ellátó elemekkel
- Magasnyomású rész a magasnyomású szivattyúval, a közös Rail-csővel, a befecskendezők (piezokristályos vagy szolenoidos injektorok) és a magasnyomású üzemanyag vezetékek
- Az elektronikus érzékelőkkel, vezérlőegységgel és beavatkozó szervekkel (aktuátorokkal)

Ezeket az alegeységeket az 2. Ábrán láthatjuk.

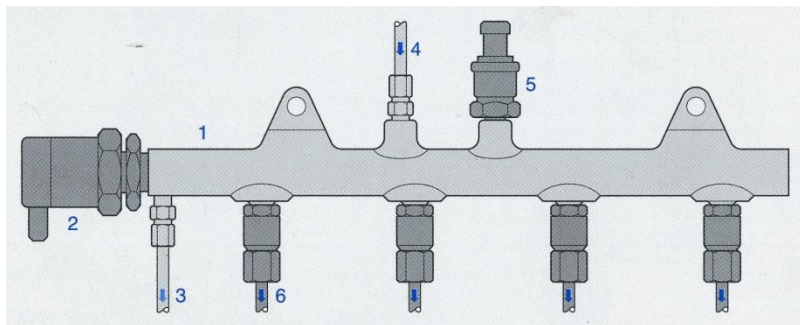


2. Ábra. A Common-Rail rendszer fő egységei

A rendszer központi elemei az injektorok. Ezek felépítésében a legfontosabb szerepet a mágnes szelep vagy piezo-elem játsza, amely a befecskendező fúvókát nyitja és zárja. Ezen módon minden egyes injektor a többitől függetlenül képes működni. Minden porlasztó külön-külön csatlakozik a Rail-csőhöz, innen származik az angol Common-Rail elnevezés (közös elosztó cső). A porlasztóknak, a magasnyomású szivattyúnak és a Rail-csőnek van üzemanyag visszacsatolása az alacsony nyomású részhez. Így bizonyos idő után a fel nem használt üzemanyag felmelegedik a körforgás során.

A porlasztási nyomás szabályozása

A porlasztási nyomás szabályozása a Rail-csőre szerelt nyomásátalakító (3. Ábra, 5. pozíció) és nyomásszabályzó egységek (3. ábra, 2. pozíció) segítségével történik. A2. ábrán azonosítható az üzemanyag-bemenet (3. ábra, 4. pozíció) és az üzemanyag-visszafolyás (3. ábra, 3. pozíció) .

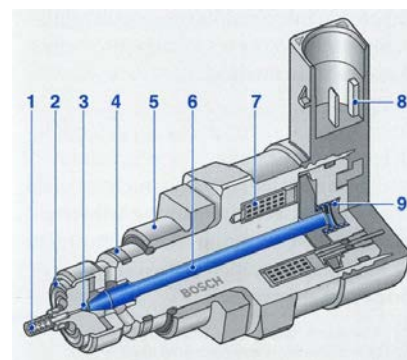


3. Ábra. A Common-Rail elosztócső a ráépített elemekkel ^[1]

A nyomásszabályzó egység felépítése és működési elve

A nyomásszabályzó egység fő alkotó elemei a 3. ábrán láthatóak:

- Mágnes tekercs (4. ábra, 7. pozíció)
- Szeleprugó (4. ábra, 9. pozíció)
- Mozgórész (4. ábra, 6. pozíció)
- Menetes hüvely (4. ábra, 5. pozíció)
- Szelepgolyó (4. ábra, 3. pozíció)



4. Ábra. DRV2
nyomásszabályzó-szelep ^[1]

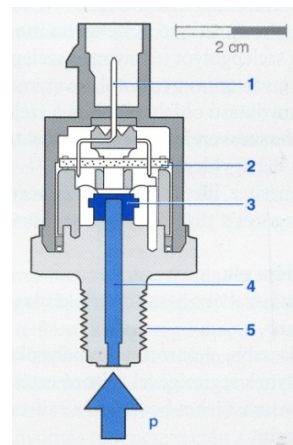
A mozgórész a szelepgolyót a szeleplékre nyomja a szeleprugó segítségével, amivel leválasztja a magasnyomású teret az alacsony nyomású térről. A mozgórészre hat az előfeszített szeleprugó és a szelepet vezérlő elektromágnes. A kenéshez és hőelvezetéshez a teljes mozgó részt üzemanyag veszi körül. Mivel árammentes állapotban a mozgórészre csak a szeleprugó hat, melynek erejét kb. 80bar nyomás ki tudja egyenlíteni, a rendszer meghibásodása esetén a nyomás nem haladhatja meg ezt a nyomásküszöböt.

^[1] A nyomás növelését 80bar nyomás fölött az elektromágnes tekercs segíti elő. A tekercs által kifejtett vonzóerő a tekercsen áthaladó áramerősségnek függvénye. A vonzóerő szabályozása impulzusszélesség modulációval valósul meg. Ha a frekvencia nagyobb, mint 1 kHz akkor nem okoz nyomáslengéseket a Rail-ben. Ha a magasnyomású szivattyú által szállított üzemanyagmennyiség megváltozik, vagy a porlasztók által befecskendezett üzemanyagmennyiség nő, ezt a hatást a szelepgolyó mozgása ellensúlyozza.

A nyomásmérő felépítése és működési elve

A nyomásmérő központi eleme egy acélmembrán (5. ábra, 3. pozíció) melyre nyúlásmérő bélyegeket rögzítenek. Az érzékelő méréstartománya a membrán vastagságával arányos. A hidraulikus csatlakozón keresztül (5. ábra, 4. pozíció) beáramló folyadék hat az acélmembránra és ennek alakváltozását eredményezi (1600 bar esetén kb. 20 μ m). Ennek következtében a nyúlásmérő bélyegek megváltoztatják elektromos ellenállásukat. Az alakváltozás kb. 80mV-os kimenő feszültséget generál. A belső áramkörök (5. ábra, 2. pozíció) feldolgozzák ezt és felerősítik.

Az érzékelő a 1-2025 bar nyomásintervallumot bijektíven képezi le a 0.5-5 V feszültségintervallumra. A központi rendszer a benne eltárolt jelleggörbe alapján kiértékeli a nyomást.



5. Ábra. Nagynyomású
érzékelő ^[1]

A Common-Rail Piezokristályos befecskendező

^[1] A Piezo Injektor rendszer lehetővé teszi az egyes befecskendezések közötti nagyon rövid („hidraulikus szempontból nulla”) időtartamokat. Akár öt befecskendezés is végezhető munkaciklusonként, ezáltal a rendszert a motor munkapontjaihoz lehet igazítani. A szervo szelep és a fúvókatú szoros csatolásának köszönhetően a tú nagyon gyorsan reagál a működtető elem mozgására. Az elektromos vezérlés kezdete és a fúvókatú hidraulikus reakciója közötti késedelmi idő csak 150µs. Így pontos üzemanyag adagolás valósítható meg nagy működési sebesség esetén is.

Piezo-inline injektor felépítése

Fő alkotó elemek (6. ábra):

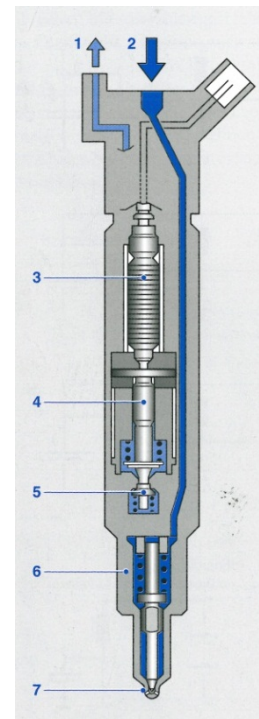
- Piezokristályos aktuátor (3. pozíció)
- Hidraulikus csatoló (áttétel) (4. pozíció)
- Vezérlő (szervo szelep) (5. pozíció)
- Porlasztófúvóka-modul (6. pozíció)

A CR injektorban lévő szervószelep működése

^[1] A fúvókában lévő fúvókatút a piezo-inline injektor esetében közvetlenül egy szervószelep (7. ábra, 1. pozíció) vezérli. A kívánt befecskendezett mennyiség így a szelep vezérlési idejével szabályozható. Nem vezérelt állapotban a meghajtó elem kiindulási helyzetben található, a szervószelep pedig zárva van. Ez azt jelenti, hogy ekkor a nagynyomású kör el van választva a kisnyomású körtől.

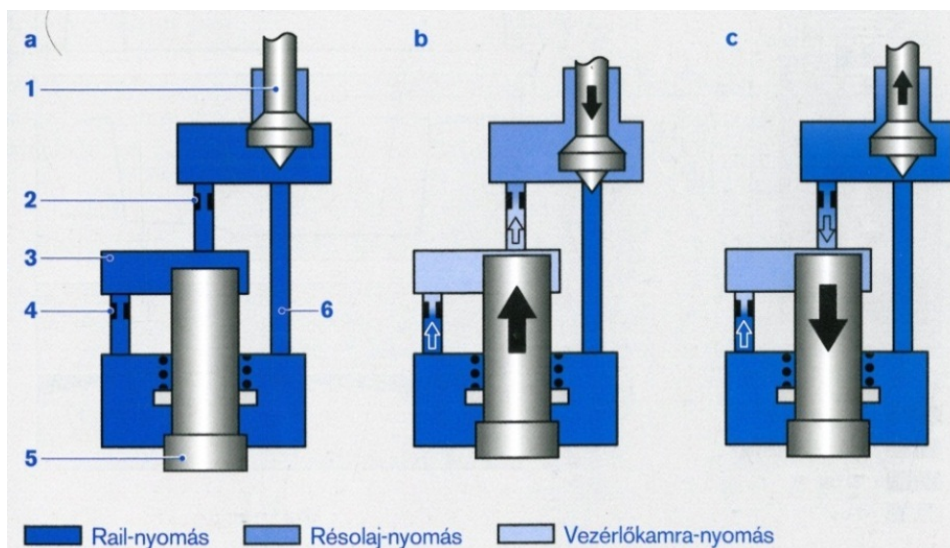
^[1] A fúvókát a vezérlőkamrában (7. ábra, 3. pozíció) uralkodó Rail-nyomás zárva tartja. A Piezo működtető elem vezérlésével kinyit a szervószelep és lezárja a megkerülő (bypass-) furatot. A kilépő- (7. ábra, 2. pozíció) és a belépő (7. ábra, 4. pozíció) fojtófuratok átfolyási mennyiségei közötti különbség hatására lecsökken a nyomás a vezérlő kamrában, a fúvóka (7. ábra, 5. pozíció) pedig kinyit. A keletkező vezérlőmennyiség a szervószelepen keresztül a teljes rendszer visszafolyó körébe kerül.

^[1] A fúvóka zárásához a működtető elemen felhalmozódott töltésmennyiséget ki kell sütni, ennek hatására a szervószelep újra kinyitja a megkerülő csatornát. A bemenő és a kilépő fojtásokon való fordított áramlással a vezérlőkamra újra feltöltődik, a vezérlőkamrában pedig megnő a nyomás. Amint a rendszerben kialakult a szükséges nyomásszint, a fúvókatú mozgásba jön, a befecskendezési folyamat pedig befejeződik.



6. Ábra. Piezo-inline injektor felépítése ^[1]

a – nem vezérelt állapot
b – nyitás
c – zárás



7. Ábra. A szervószelep működése ^[1]

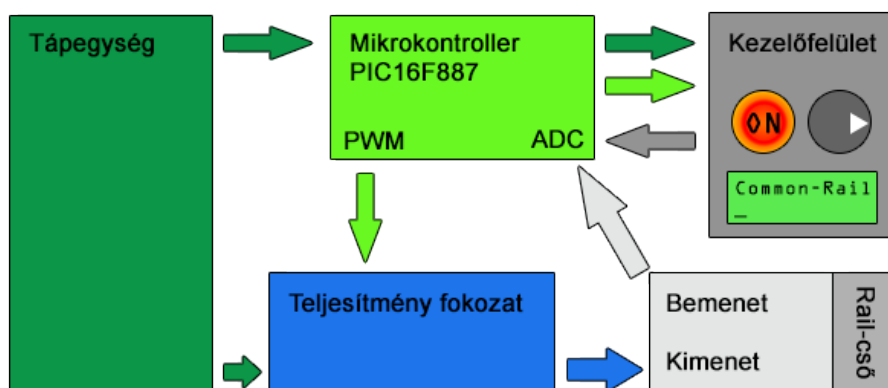
A Common-rail üzemanyagellátó rendszer kísérleti mikrokontrolleres vezérlése

A gyakorlatban megvalósított mikrokontrolleres rendszer a következő feladatokat látja el:

- a nyomás szabályozásához szükséges vezérlőjel előállítása
- a porlasztó vezérlőjének az előállítása
- a nyomás mérése és a pillanatértékének a kijelzése
- a mérési adatok tárolása

A 8. ábrán láthatók a nyomásszabályozáshoz szükséges főbb elemek. A 9. ábrán látható gyakorlatban megvalósított mikrokontrolleres rendszer.

A megvalósított rendszer központi eleme a Microchip gyártmányú PIC16F887 mikrovezérlő, melynek órajel frekvenciáját egy 6 MHz-es kvarc-kristály biztosítja. A rendszer áramforrását egy személyi számítógép tápja képviseli, mely biztosít minden, a rendszer számára szükséges feszültségszintet. A kezelőfelület alkotó elemei közé sorolható egy főkapcsoló, egy reset gomb, egy lineáris potenciométer és egy alfanumerikus 2x16 karakteres LCD.



8. Ábra. A mikrokontrolleres rendszer fő egységei



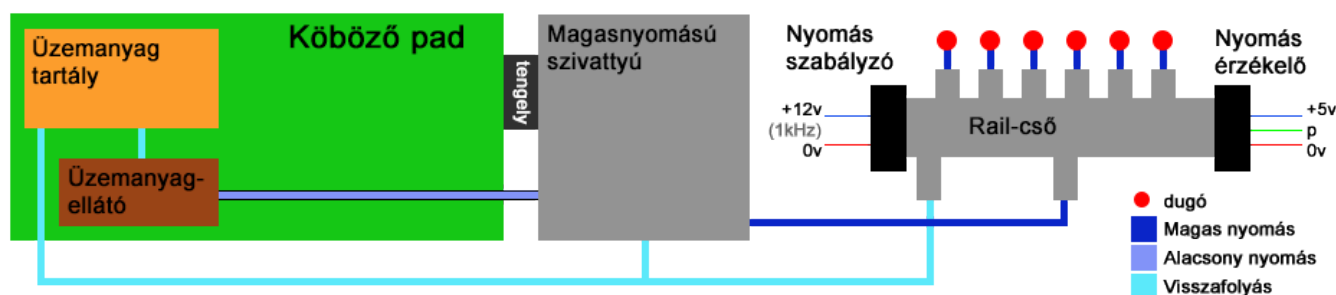
9. Ábra. A gyakorlatban megvalósított mikrokontrolleres rendszer

A mikrovezérlő szoftvere Mikroelektronika MikroC környezetben volt programozva és kompilálva. A program tárolása Mikrovezérlő flash memóriájában történik. A programozó segítségével olvashatók ki az EEPROM memóriában tárolt adatok is.

A nyomásszabályozott rendszer vezérlési jelleggörbéje

A jelenleg üzemben lévő próbapad a porlasztási gázolajnyomást nyílt hurkú vezérlés alapján állítja elő. Ennek elve az 10. ábrán látható. A gép kezelője egy potenciométer segítségével változtatja a nyomásszabályozót vezérlő feszültséget mindaddig, amíg a kívánt nyomásértéket olvassa le a próbapad kijelzőjéről (a szabályozóhurok tulajdonképpen a gépkezelőn keresztül zárul).

A későbbiekben egy nyomásszabályozó megvalósítását tervezem, vagyis a célom az, hogy közvetlenül a Common-Rail csőben mért nyomást írassuk elő egy alapjel segítségével. A szabályozás megvalósításához első lépésként a csőben fellépő nyomás vezérlési karakterisztikájának a meghatározását tűztem ki célul.



10. Ábra. A porlasztási nyomás előállítása a nyomásszabályozó vezérlőfeszültsége alapján

A mérőberendezés

A fenti ábrán feltüntetett magasnyomású szivattyú fordulatszáma 500 [fordulat/perc], amelyet ± 2 [fordulat/perc] hibahatárral egy fordulatszám szabályozó tart konstans értéken. E fordulatszám nál a szivattyú névleges nyomástartományának maximális értéke (kb. 1650[bar]) a maximális vezérlőfeszültség kb. 47%-ánál érhető el. Az 500 [fordulat/perc]-nél kisebb fordulatszámok esetén nem érhető el a szivattyú maximális nyomása. Az 500 [fordulat/perc]-nél nagyobb fordulatszámokkal nem ajánlott kísérletezni. Ez a vezérlőfeszültség határozza meg a DRV2 nyomásszabályozóban a visszafolyást gátló golyóra ható erőt, így hozzávetőlegesen egyenes arányosság áll fenn a vezérlőfeszültség és a Common-Rail csőben megjelenő nyomás között. A nyomásszabályozás megvalósításához fontos részlet, hogy a vezérlőfeszültség tulajdonképpen egy nagyfrekvenciás (20kHz) négyzögjel, amely nem okoz hallható zajt. Ennek az átlagértéke jelenti a nyomásszabályozás szempontjából fontos mennyiséget, tehát a porlasztási nyomás hozzávetőlegesen arányos a négyzögjel kitöltési tényezőjével. A kitöltési tényezőt a vezérlőfeszültséget előállító mikrokontroller 8 bit-es kontroll-regiszterének feltöltésével tudjuk beállítani. Tehát az előbbi 47%-os kitöltési tényezőhöz a kontroll-regiszter tartalma 122d.

Fontos megjegyezni, hogy a méréseket befecskendezők nélkül hajtottam végre. Az üzemanyagot helyettesítő olaj (Castrol Calibration Oil 4113) a Common-Rail csőből csak a nyomásszabályozó szelepen keresztül távozhat. Ezzel magyarázható, hogy a maximális nyomás elérhető kisebb kitöltési tényező esetén is. A nyomás pillanatnyi értéke és az impulzusszélesség moduláció kitöltési tényezője az LCD képernyőre kerül (lásd a 13. ábrát).

Az adatgyűjtési eljárás:

Az adatgyűjtés érdekében a mikrovezérlőn futó programot az 11. ábrán látható programrészlettel egészítettem ki. A meghatározott időpillanatokban bekövetkező megszakítás az adatgyűjtés kezdetét jelenti. Ekkor az eddig megmért és átalakított értékek függvényében az EEPROM memóriába bejegyzések kerülnek az alábbiak szerint.

Az EEPROM memória tömbként van kezelve és a tömbindex a négyszögjel kitöltési tényezőjét is képviseli.

A „tömb” egyes cellái tartalmazzák a nyomás („pressure”) értékeit. Így megvalósul a „kitöltési tényező – nyomás” függvény diszkrét eltárolása egyetlen érték eltárolásával értékpárok eltárolása helyett.

EEPROM cím	0	1	2	...	255
Duty Cycle értéke	0	1	2	...	255
Pressure értéke	P ₀	P ₁	P ₂	...	P ₂₅₅

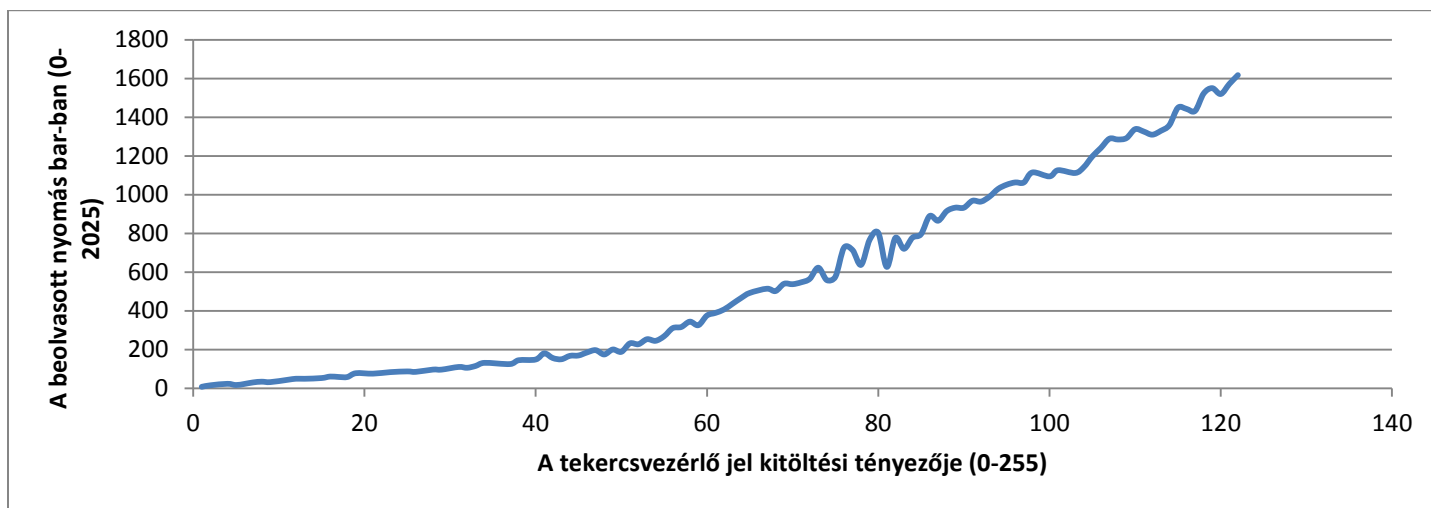
...
Potencióméter pozíció kiértékelése => Duty Cycle

Nyomás szenzor kiértékelése => Pressure

...
Megszakítás
Mentés az EEPROM memóriába
EEPROM [Duty Cycle]=Pressure;

A 12. ábrán látható a begyűjtött adatok kiolvasásával és ábrázolásával készült vezérlési karakterisztika.

11. Ábra. Adatgyűjtési program részlet



12. Ábra. A vezérlési karakterisztika



13. Ábra. A nyomás pillanatnyi értékének a kiírása LCD-re

Kísérleti eredmények

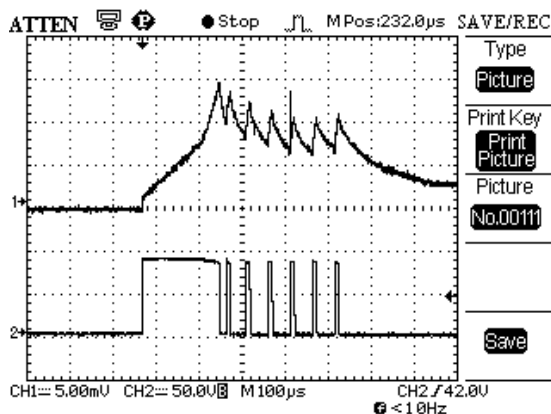
A szolenoidos és a piezokristályos porlasztók tulajdonságainak és vezérlési módszereinek a tanulmányozása céljából laboratoriumi kísérleteket végeztem. A kísérletek során megvizsgáltam mindkét típusú porlasztó viselkedését egy Merlin Diesel S300-1 típusú vezérlőegység felhasználásával. Ezeket a mérést a porlasztók elektromos paramétereinek az azonosításához használtam fel.

A piezokristályos porlasztók vezérléséhez kidolgoztam, modelleztem, szimuláltam és gyakorlatban teszteltem egy olyan vezérlési eljárást, amely alkalmas az energia visszatermelésére a tápegységbe.

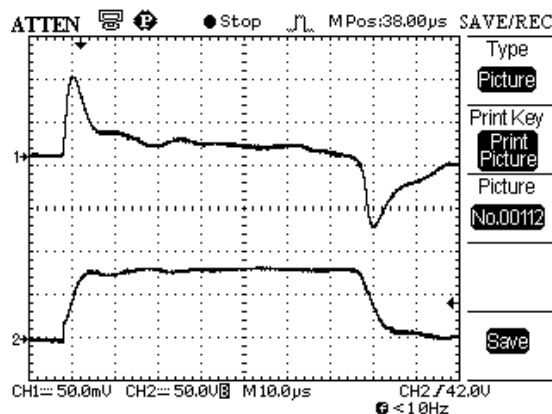
A porlasztók paramétereinek az azonosítása

A 14. ábrán egy szolenoidos porlasztó tekercsét vezérlő feszültség és a tekercsáram idődiagramja látható. A 15. ábrán egy piezokristályos porlasztó vezérlőfeszültségének és vezérlőáramának az idődiagramja látható. A szolenoidos porlasztó vezérlése impulzusszélesség modulált áramszabályozással történik. A piezokristályos porlasztó vezérlésének egy négyszög feszültségimpulzussal történik. Ebben az esetben tulajdonképpen egy nemlineáris kondenzátor feltöltéséről és kisütéséről van szó.

A piezokristályos porlasztó vezérlése céljából szükség ismerni a porlasztó kapacitását. A kondenzátorfeszültség felfutási meredekségéből és a töltőáramból kiszámítható a porlasztó kapacitása ($i = C \cdot \frac{du}{dt}$), amelyre az így kapott eredmény 2.15μF.



14. Ábra. Vezérlőáram (felső diagram) és feszültség idődiagramja a szolenoidos porlasztó esetén

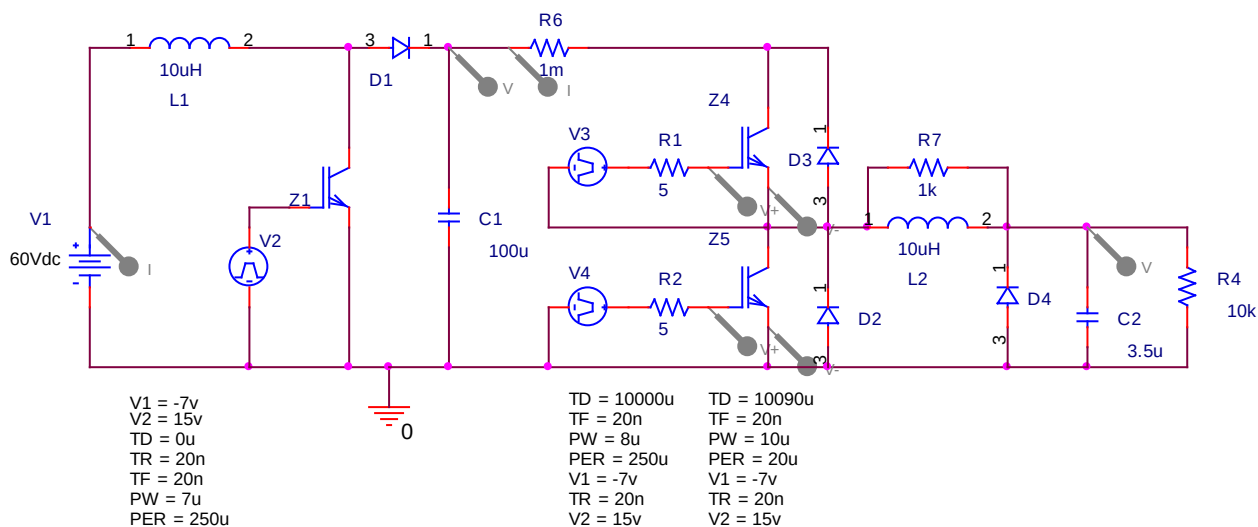


15. Ábra. Vezérlőáram (felső diagram) és feszültség idődiagramja a piezokristályos porlasztó esetén

A piezokristályos porlasztó vezérlőegységének a pSpice modellezése

A porlasztóvezérlő kapcsolási rajza a 16. ábrán látható.

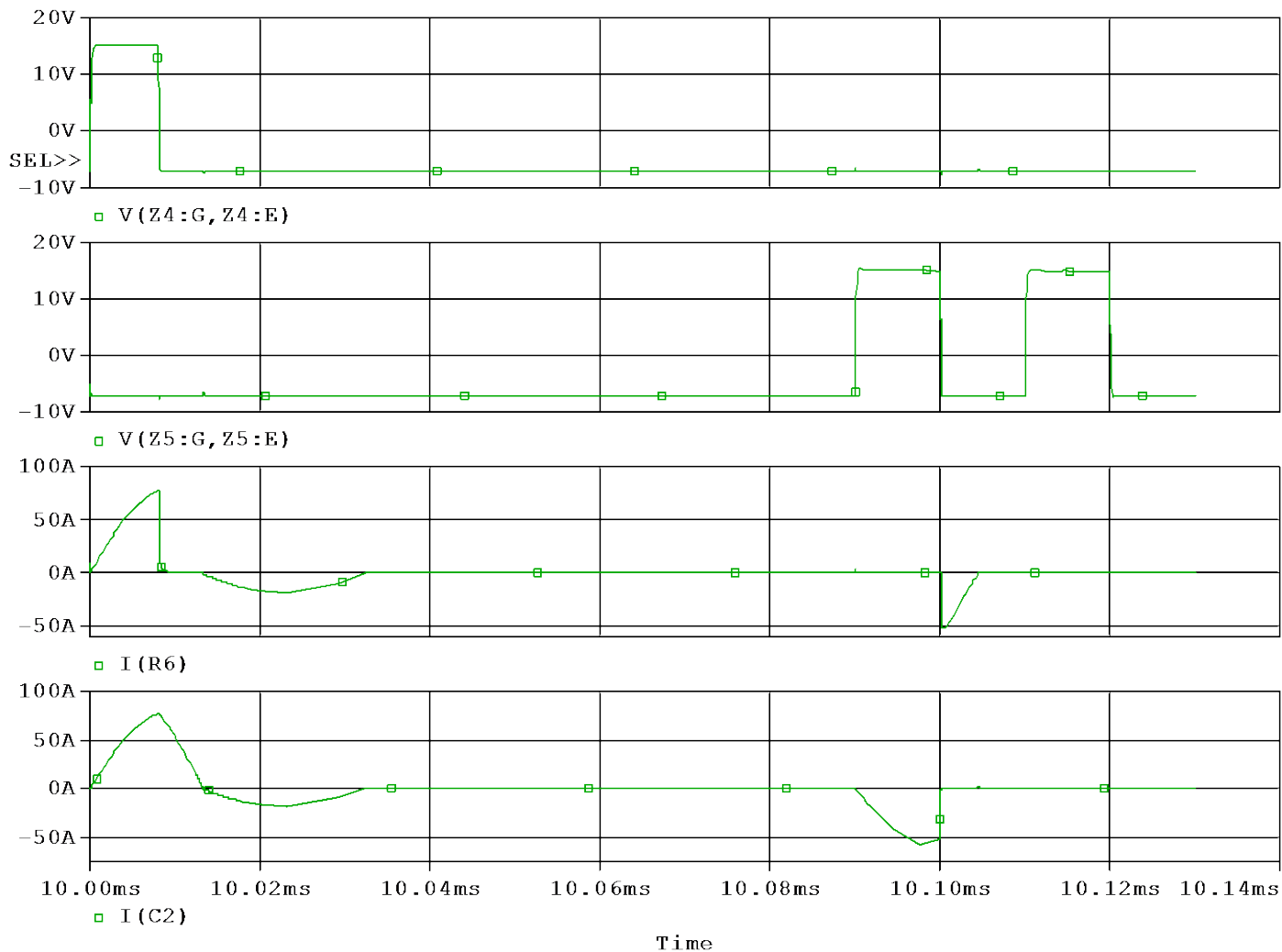
A porlasztó vezérléshez szükséges 130V-os feszültséget egy boost típusú DC/DC konverter állítja elő a laboratóriumban rendelkezésre álló maximum 60V-os feszültségforrásról táplálva. A Z4 tranzisztor 10μs-os vezetési ideje alatt a C2 kondenzátor feltelik és a fűvókatút mozgató piezokristály alakváltozást szenved. A szimulált porlasztás időtartama 80μs, ami után a Z5 tranzisztor impulzus sorozattal történő vezérlésével megvalósul a kondenzátor kisütése és a tárolt energia visszatáplálása a C1 kondenzátorba.



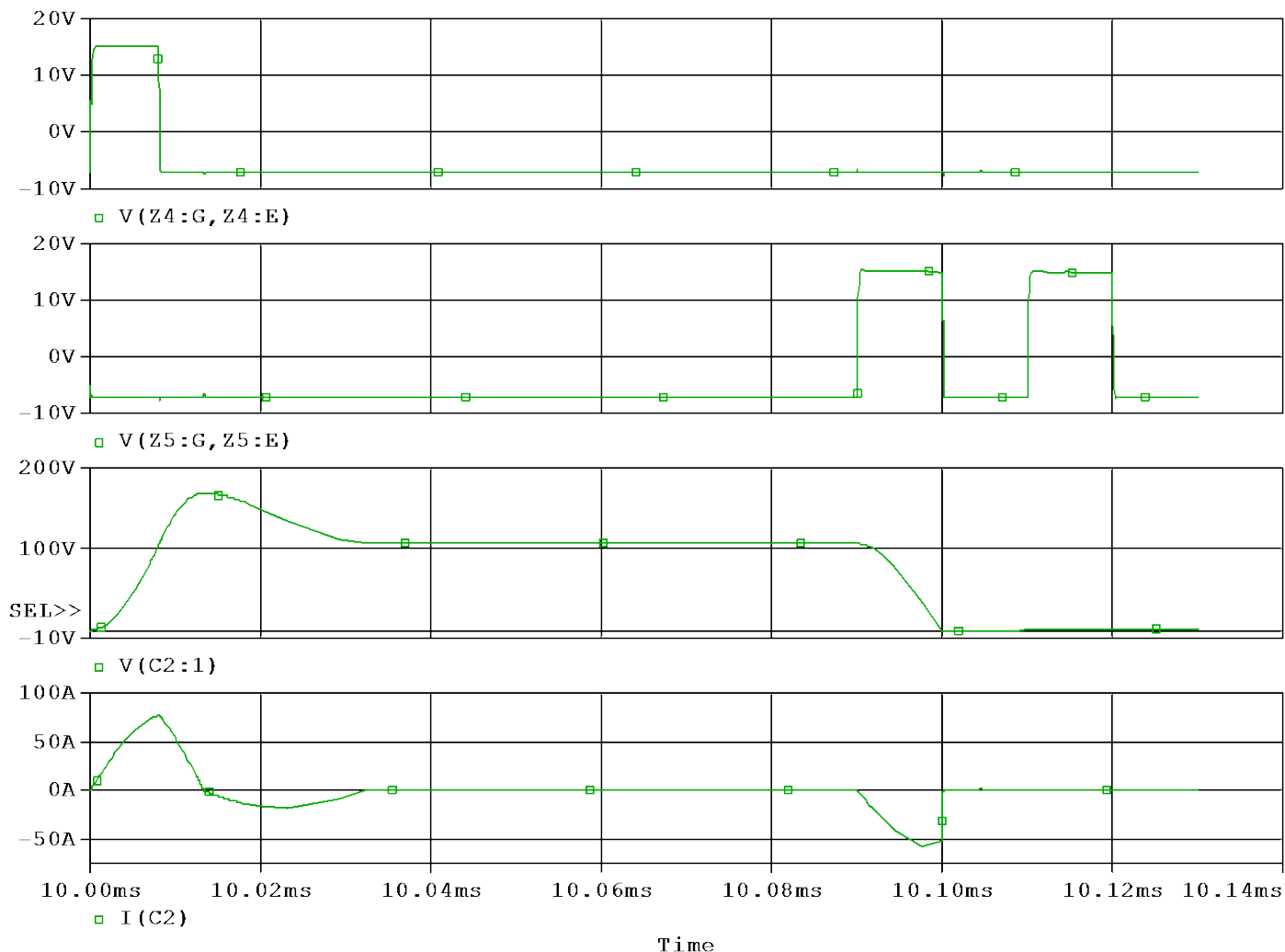
16. Ábra. A porlasztóvezérlő pSpice modellje

Az áramkörben használt C1 kondenzátor 3.5 μ F-os kapacitása a gyakorlatban előforduló porlasztók kapacitásának a felső értékét képviseli.

Az áramkör működésére jellemző idődiagramok a 16. és 17. ábrán láthatók.



16. Ábra. A Z4 és Z5 tranzisztorok rácsvezérlő impulzusai (V(Z4:G,Z4:E), V(Z5:G,Z5:E)), a porlasztó vezérlő által felvett áram (I(R6)), a porlasztó által felvett áram (I(C2))



17. Ábra. A Z4 és Z5 tranzistorok rácsvezérlő impulzusai ($V(Z4:G, Z4:E)$, $V(Z5:G, Z5:E)$), a porlasztón eső feszültség ($V(C2:1)$), a porlasztó által felvett áram ($I(C2)$)

Gyakorlati mérések

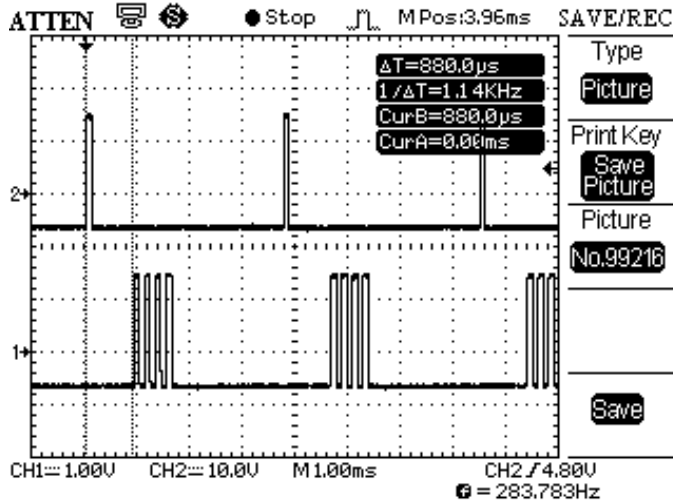
A kísérleti berendezés felépítése

- 60V-os laboratóriumi tápegység
- Semikron SKHI 22A H4R típusú tranzisztormeghajtó áramkör
- Semitrans SKM 50GB 12T4 típusú IGBT fél híd
- 10k Ω 10W 5% kisütőellenállás (R4)
- 12 μ H tekercs (L2)
- Mikrovezérlő rendszer (PIC16F887)

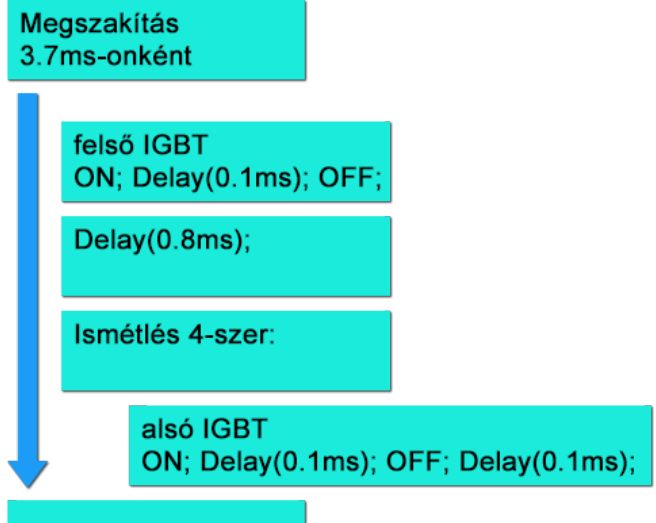
A kísérlet során a porlasztóvezérlő áramkört közvetlenül a laboratóriumi feszültségforrásról tápláltam, mivel a piezokristályos porlasztó működhet akár 10V-on is, de ezen a feszültségen nem lenne képes porlasztani nyomás jelenlétében.

A rácsvezérlő impulzusok az előállítás a 18. ábrán látható diagram szerint történik.

A 17. ábrán láthatók a tranzistorvezérlő kimenetei, a programrészletnek megfelelően. Logikai 1 esetén a rácsheszültség +15V, logikai 0 esetén a rácsheszültség -7V.



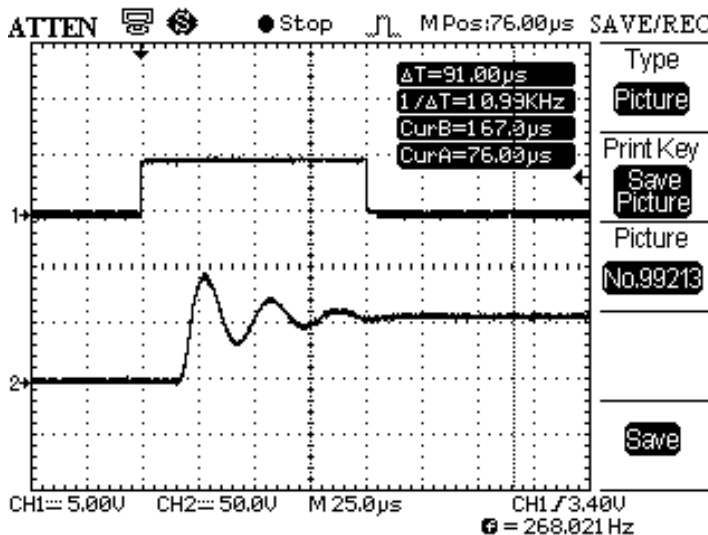
17. Ábra. Z4 és Z5 tranzistorok rácshimpulzusai



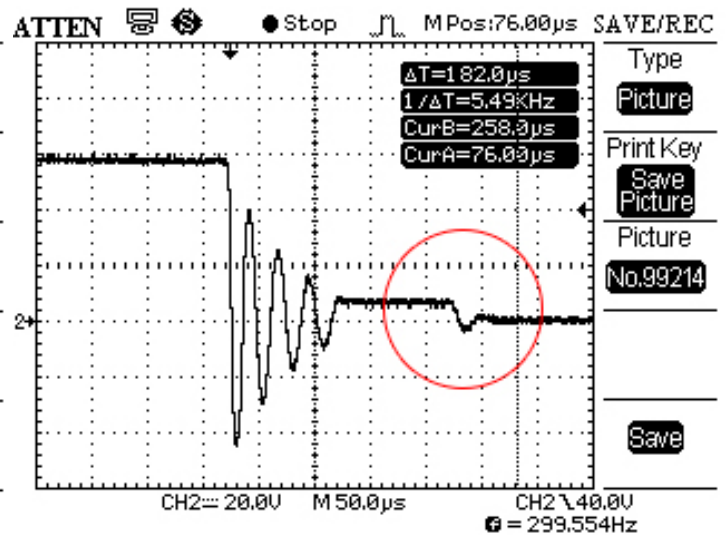
18. Ábra. A rácshvezérlő impulzusok előállítása

A porlasztóvezérlő előzetes tesztelése mesterséges terheléssel történt. Ebben az esetben a porlasztó piezokristályát egy 2.2μF-os kondenzátorral helyettesítettem.

A 19. ábra ábrázolja a feltöltő impulzus felmenő élének a részleteit a logikai kapcsoláshoz képest, míg a 20. ábra ábrázolja a kisütés pillanatának a részleteit.



19. Ábra. A feltöltő impulzus



20. Ábra. A kisütő impulzus sorozat

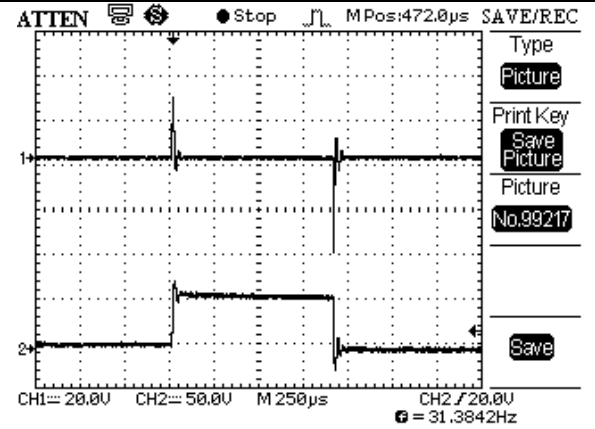
Kísérlet BOSCH piezoelektromos porlasztóval

Az áramerősség mérése céljából egy sönt ellenállás volt használva, melynek értéke $R = 0.1 \Omega$. Az oszcillogramok 1. csatornáján a sönt ellenálláson eső feszültség látható. Az oszcillogramok 2. csatornája a porlasztófeszültséget ábrázolja. A tápfeszültség értéke $U = 62.9V$. A kisütő ellenállás (R4) megegyezik a fenti előzetes kísérletben használt ellenállással.

A 21. ábrán látható egy teljes vezérlőimpulzusnak megfelelő áram és feszültség idődiagramok (megfigyelhetők a hasonlóságok a 15. ábrával).

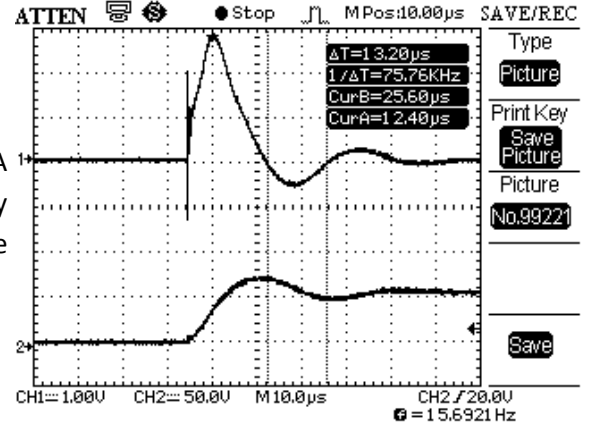
(az első kanálison a feszültségszorító értéke hibás, helyesen 2.0V/div)

21. Ábra. A porlasztó feszültségének és áramerősségének az idődiagramja



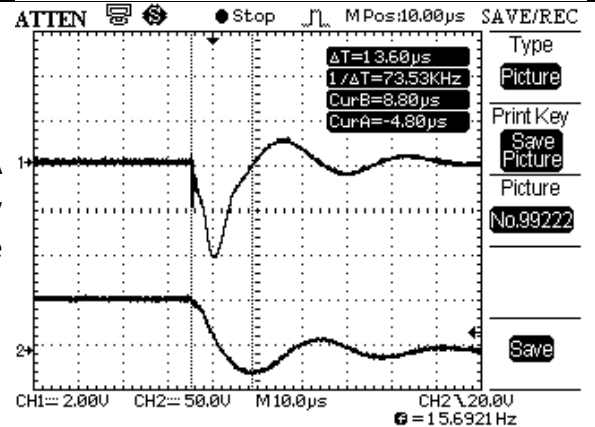
A 22. ábrán láthatóak a porlasztóvezérlő jel kezdetének a részletei. A mért lengési frekvencia 37.88 kHz. A sönt ellenálláson eső maximális feszültség értéke $U = 2.8V$. Az ennek megfelelő áramerősség $I = 28A \pm 5\%$.

22. Ábra. A piezokristály feltöltése



A 22. ábrán láthatóak a porlasztóvezérlő jel végének a részletei. A mért lengési frekvencia 37.88 kHz. A sönt ellenálláson eső maximális feszültség értéke $U = 4V$. Az ennek megfelelő áramerősség $I = -40A \pm 5\%$.

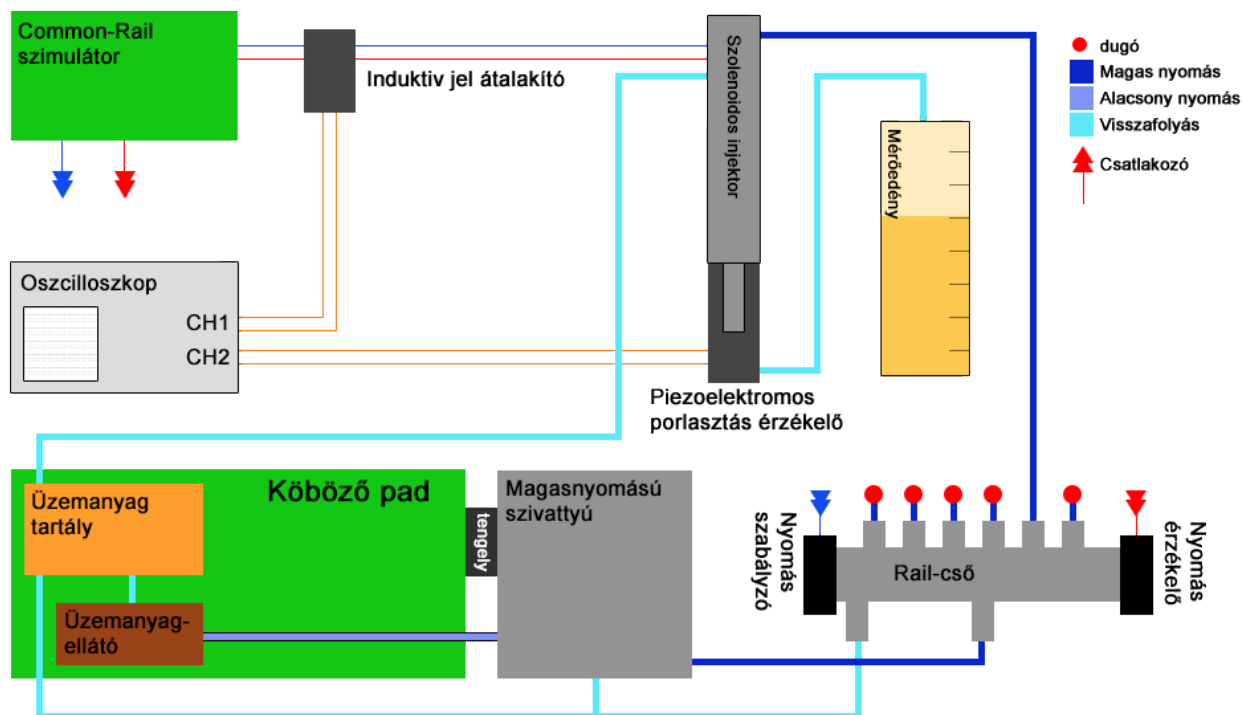
23. Ábra. A piezokristály kisütése

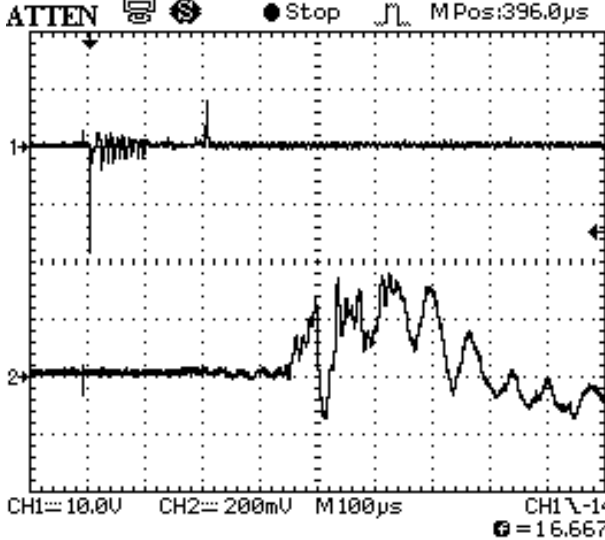
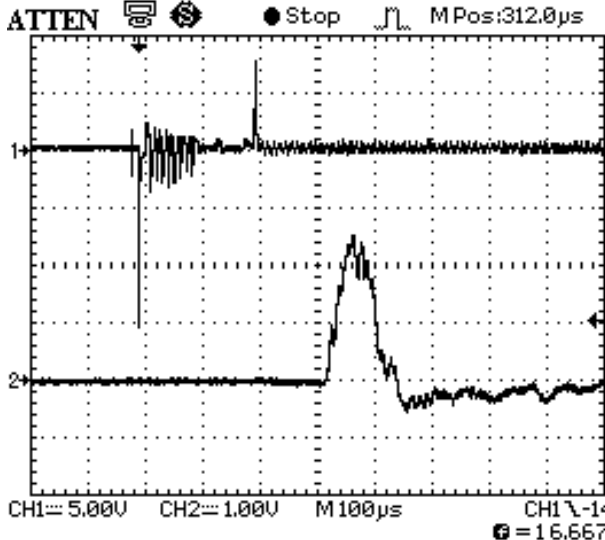


A két frekvenciamérés átlagértéke 37,31 kHz. Ki lehet számolni a porlasztó kapacitását ($\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$). Az eredmény $C = 1.516\mu F$. A 24. Ábrán látható e porlasztó kapacitás mérésének az eredménye digitális multiméterrel.



24. Ábra. A kapacitás értéke



Szimulátor Paraméterek	Mért késés	Oscillogramok
Impulzusszélesség = 200μs Nyomás = 520 bar Fordulatszám = 1000 fordulat/perc Porlasztásszenzor kimenetei feszültségének a maximuma = 0.38V	Kb. 350 μ s	 CH1=10.0V CH2=200mV M100μs CH1\14.8V G=16.667Hz
Impulzusszélesség = 200μs Nyomás = 930 bar Fordulatszám = 1000 fordulat/perc Porlasztásszenzor kimenetei feszültségének a maximuma = 2.6V	Kb. 310 μ s	 CH1=5.00V CH2=1.00V M100μs CH1\14.8V G=16.667Hz

A Rail-nyomás befolyásolja bizonyos mértékben a porlasztás késést, amint látható 410bar nyomásemelkedés 40 μ s-mal rövidítette meg a késést a két mérés között.

Következtetések

Tanulmányoztam és gyakorlatban megvalósítottam dízel befecskendező rendszerek bevizsgáláshoz szükséges mérőpad elemeit. Meghatároztam a Common-Rail típusú nyomásszabályozott elosztórendszer vezérlési karakterisztikáját. Elkészítettem egy olyan, a piezokristályos befecskendezők vezérlésére alkalmas áramkört, amely megvalósítja az energia visszatermelését a feszültség forrásba.

Elvégeztem az induktív befecskendezők porlasztási késésének a mérését. A mért 300 μ s-os nagyságrendű késéseknél lényegesen kisebb késések érhetők el piezokristályos porlasztókkal. Részben ez magyarázza a piezokristályos porlasztók elterjedését.

A továbbiakban ezek ipari bevizsgálására és hitelesítésére alkalmas mérőberendezés fejlesztését kívánom megvalósítani

Források

- [1] Felix Landhausser, Häuser Nel, Ulrich Projahn: „Common-Rail befecskendező rendszerek”, *Sárga Füzetek Sorozata*, Maróti Könyvkereskedés és könyvkiadó, Budapest, 2004.
- Dr. Kováts Miklós, Dr. Nagyszokolyai Iván, Szalai László „Diesel befecskendező rendszerek”, *Maróti Könyvkereskedés és könyvkiadó*, Budapest, 2002
- Milan Verle: „PIC Microcontrollers - Programming in C”, *mikroElektronika*, 2009
<http://www.mikroe.com/products/view/285/book-pic-microcontrollers-programming-in-c/>
- „Learning Capture”, Cadence Suite 9.2, 2000