



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Kétütemű benzinmotor gyújtásvezérlésének megvalósítása  
mikrokontroller alkalmazásával**

**TDK dolgozat**

Készítette: Hajas Péter (WIT8GV)

Konzulensek: Sábitz László, Csorba Kristóf, Hesz Mátyás

2011

# Tartalomjegyzék

1.	Tartalmi összefoglaló.....	3
2.	Bevezetés .....	4
3.	Irodalmi áttekintés .....	5
	3.1. A gyújtószikra hatása az égésre.....	5
	3.2. Az előgyújtás időpontja.....	6
	3.3. Főtengely jeladók .....	8
	3.3.1. Hall-szenzor .....	9
	3.3.2. Optikai jeladó.....	10
	3.4. Jelvezetés, zavarjelek.....	11
4.	Célkitűzés, a feladat specifikálása .....	12
5.	A hardver leírása.....	14
	5.1. Az első prototípus .....	14
	5.2. A főtengely-jeladó .....	15
	5.3. A transzformátorok meghajtása.....	22
	5.4. A mikrokontrolleres vezérlőegység.....	27
6.	Szoftver rendszerterv .....	31
	6.1. A vezérlőegység programjának felépítése .....	31
	6.1.1. A transzformátor kapcsolásának időzítése.....	32
	6.1.2. Hibakezelés .....	36
	6.1.3. PC-s adatforgalom .....	36
	6.2. A PC oldali mérésadatgyűjtő felépítése.....	39
7.	Az elkészített berendezés gyakorlati alkalmazásainak lehetőségei .....	44
8.	Konklúzió .....	47
9.	Irodalomjegyzék .....	48

# 1. Tartalmi összefoglaló

A dolgozatban bemutatásra kerül egy háromhengeres, kétütemű Wartburg motor gyújtását vezérlő készülék. Az elkészített eszköz könnyen továbbfejleszthető, rugalmasan bővíthető, a járművön diagnosztikai mérések elvégzését teszi lehetővé. A gyújtásvezérlő eszköz tervezése a rendelkezésre álló kétütemű benzinmotor műszaki és üzemeltetési paramétereinek figyelembe vételével történt.

A készülék fő része a kocsiszekrényben elhelyezett mikrokontrolleres vezérlőegység, mely több szenzor jelét fogadja, értékeit memóriában tárolja, szükség esetén feldolgozza. A processzor hardverkönyezete változatos perifériák kezelésére alkalmas, az könnyen bővíthető. A processzor programjának elkészítése során kiemelt cél volt az esetlegesen előforduló hibák minimalizálása. A vezérlőegység opcionálisan RS232-es soros porton keresztül PC-hez csatlakoztatható. A Matlab-ban írt, kezelőfelülettel rendelkező PC-s program parancs-válasz struktúrában együttműködik a vezérlőegységgel, belső változói, mért eredményei kiolvashatóak, bizonyos paramétereit pedig programból változtathatóak.

A főtengely végén kialakításra került egy optikai jeladó, mely információt szolgáltat a főtengely pillanatnyi szöghelyzetéről. A tervezés során fontos szempont volt a mechanikai kialakítás és jelvezetés robusztussága.

A hagyományos gyújtótranszformátorok kapcsolását, tehát a megfelelő minőségű szikrák biztosítását egy a motortérben elhelyezett meghajtóegység végzi.

A dolgozat végén ismertetésre kerülnek a kialakított rendszer felhasználási lehetőségei és a továbbfejlesztés lehetséges irányai.

## 2. Bevezetés

Az emberiség által felhasznált energia jelentős része a belsőégésű motorokból származik, alkalmazásuk a múlt század folyamán széles körben elterjedt. A tömeges felhasználás nagy környezeti terhelést jelent, mely ösztönzője a károsanyag-kibocsátásra és az energetikai hatások javítására irányuló fejlesztéseknek is. (1) A járművek hajtásában is döntő szerepet töltenek be a belsőégésű motorok, melyek üzemanyaguk szerint benzin- vagy dízelmotorok, működésük szerint két-, vagy négyütemű motorok. A kétütemű benzinmotorok felhasználása a XX. század közepén terjedt el a közlekedésben. Ilyet használtak az 1950-es, 1960-as években gyártott Suzuki-k, Saab-ok, Syrena-k motorjaiként. A KGST államokban, így hazánkban is nagy számban használták a volt Kelet-Németország tömegautóit, a Trabantot és a Wartburgot, melyeket minimális módosításokkal 1989-ig gyártottak. A kétütemű benzinmotorok alkalmazása mára beszűkült, elsősorban olyan helyeken alkalmazzák, ahol nagyon fontos tényező a motor tömegének, illetve az üzemeltetési és/vagy beszerzési költségének csökkentése. Gyakran alkalmazzák motorkerékpárokból (pl.: robogó, terep-motorkerékpár) és ipari munkagépekben (fűkasza, motorfűrész).

Nagy előnyük, hogy viszonylag kevés alkatrészt tartalmaznak, így olcsóbb az előállításuk. Mivel minden fordulatra jut munkavégzés teljesítményük 60–80%-kal nagyobb egy azonos fordulatszámú és azonos lökettérfogatú négyütemű motornál. Ez egyben nagyobb teljesítmény/tömeg-arányt jelent. Az egyszerű kialakítás hátránya a magasabb környezetterhelés, az égés során ugyanis olaj kerül a környezetbe, valamint – leginkább az elterjedtebb részvezérlésű motoroknál – az öblítés veszteséges.

A dolgozat tárgyát egy 1985-ös Wartburg 353 DeLuxe Spezial személygépkocsi háromhengeres, részvezérlésű, keverékkenésű motorja képezi. A dolgozat megírásához a fő motivációt annak keresése adta, hogy milyen, nagyobb beavatkozás nélkül megvalósítható lehetőség van az égés minőségének javítására az adott motorkonstrukcióban. Kézenfekvő lehetőségnek tűnt a gyújtásberendezés módosítása, hiszen a fix előgyújtásértékre beállított kalapácsos gyújtás a nyugati országok járműiparában már évtizedek óta lecserélésre került. A digitális elektronika térnyerésének köszönhetően egy hasonló vezérlési feladat napjainkban könnyebben, rugalmasabban megoldható.

### 3. Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben néhány olyan probléma irodalmával foglalkozom, melyek megoldására nagy hangsúlyt fektettem.

#### 3.1. A gyújtószikra hatása az égésre

A külső gyújtású motorok nagy többségében – mint amilyen a vizsgált motor is – az üzemanyag–levegő keverék begyújtásáért villamos ív felel. A szikra feladata, hogy lokálisan olyan hőmérsékletűre hevítse a tüzelőanyag–levegő keveréket, hogy az még kevésbé gyulladóképes, nagyobb légviszony ( $\alpha = 1,05 \dots 1,35$ ) esetén is begyulladjon. A hengerben lévő keverék inhomogén, a gyulladóképesebb, dúsabb keverék folyamatos örvénylésben van. Így nagyobb a gyulladás valószínűsége, ha a szikra időtartama hosszabb. (2)

A benzin–levegő keverék minőségére a légviszony ( $\alpha$ ) fogalma használatos, mely az üzemanyag–levegő keverék tényleges levegőarányának, és az elméleti – tehát ideális – levegőarányának hányadosa.

$$\alpha = \frac{K_{Le}}{K_{L0}}$$

A levegőarány a levegő tömegáramának ( $\dot{m}_L$ ) és a tüzelőanyag tömegáramának ( $\dot{m}_t$ ) arányszáma.

$$K_L = \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_t}$$

A motorüzem a szegényebb üzemanyag–levegő keverékarány tartományában ( $\alpha = 1,05 \dots 1,35$ ) a szikra áramerősségének növelésével biztosabbá tehető, mely így csökkenti a motor fajlagos fogyasztását. A motor ennek következtében ebben a tartományban is biztonságosan üzemeltethető. Szegényebb, a gyulladási határ közelében levő benzin–levegő keverék esetén a lángfront haladási sebessége kisebb, a motor járása egyenlőtlené válik, hatásfoka csökken (2).

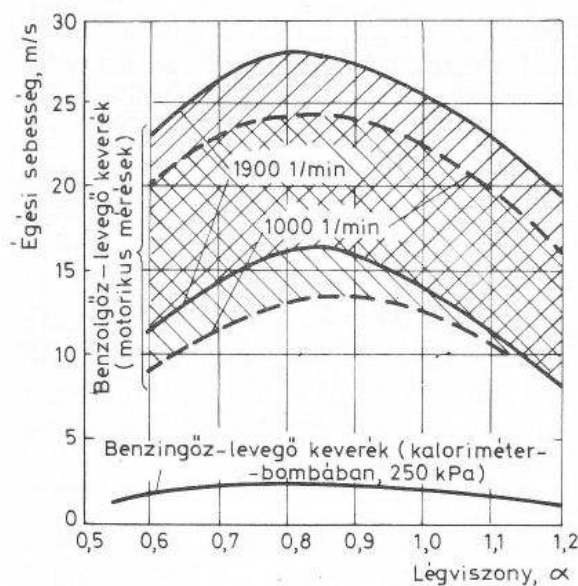
Több szikrával való gyújtásnak csak szegény keverék esetén van hatása a gyulladási folyamatra és az égési sebességre (2). A vizsgált motor eredeti gyújtása egyetlen szikrával gyújtotta be a keveréket, mely az eddigi üzemeltetési tapasztalatok szerint az adott porlasztó–

beállítás mellett stabil gyulladást eredményezett, a több szikra alkalmazásának vizsgálata ezért egyelőre nem látszott fontosnak. A későbbiekben vizsgálat tárgyát képezheti, hogy a porlasztóban képzett üzemanyag–levegő keverék mennyire szegényíthető akkor, ha a gyújtóberendezés egyetlen szikra helyett szikrasorozatot ad le.

### 3.2. Az előgyújtás időpontja

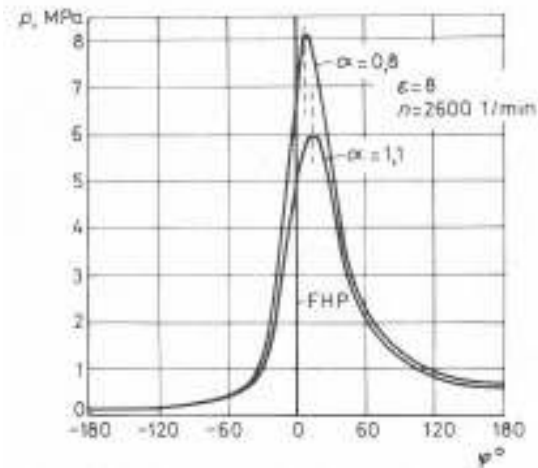
„A motor fogyasztása akkor kedvező, ha az égésfolyamat legnagyobb része a felső holtpont közelében játszódik le.” (2) Az égés időtartama véges, így a gyújtást a felső holtpont előtt  $20^{\circ}$ – $50^{\circ}$ -kal célszerű megválasztani úgy, hogy az égési folyamat  $15^{\circ}$ – $20^{\circ}$ -kal a felső holtpont után befejeződjék.

Az égési sebesség megközelítőleg egyenesen arányos a fordulatszámmal, illetve az örvénylés sebességével. Az égés befejezéséhez tartozó időpont – főtengely-szögelfordulásban mérve – megközelítőleg az előgyújtás nagyságától függ. (2)



1. ábra: Az égés sebessége motorikus feltételek között és a kaloriméter–bombában a légviszony függvényében. (Forrás (2))

Az égési sebesség függ a benzin–levegő keverék dúságától, a szegényebb keverék a nyomáscsúcs későbbre tolódását és csökkenését okozza, mely az előgyújtás növelésével korrigálható. (2) Az előbbi szempont azért fontos, mert a vizsgált motor porlasztós keverékképzésű. A porlasztó által képzett keverék dúsága a leadott nyomaték, a gázállás, a fordulatszám függvényében egy bizonyos tartományban ingadozik, melynek korrekciójára a gyújtás módosítása alkalmazható.



**2. ábra: A hengerben megjelenő (számított) nyomás függése a légviszonytól a dugattyú felső holtpontjának közelében. (Forrás (2))**

### 3.3. Főtengely jeladók

Munkám célja a motor előgyújtásának minél pontosabb időzítése volt. Tudjuk, hogy a főtengely szögsebessége egy fordulat alatt is jelentősen változik. A változás maximális értékét gyakran a felhasználás korlátozza (pl.: személygépkocsi, motorkerékpár, vagy láncfűrész), amit a lendkerék tervezésénél is figyelembe vesznek. Jellemzése az egyenlőtlenlégi fokkal történik, mely a szögsebesség-ingadozásnak a motor közepes szögsebességéhez való viszonyát jelenti.

$$\delta = \frac{\Delta\omega}{\omega_{\text{átl}}} = \frac{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}}{(\omega_{\text{max}} + \omega_{\text{min}})/2}$$

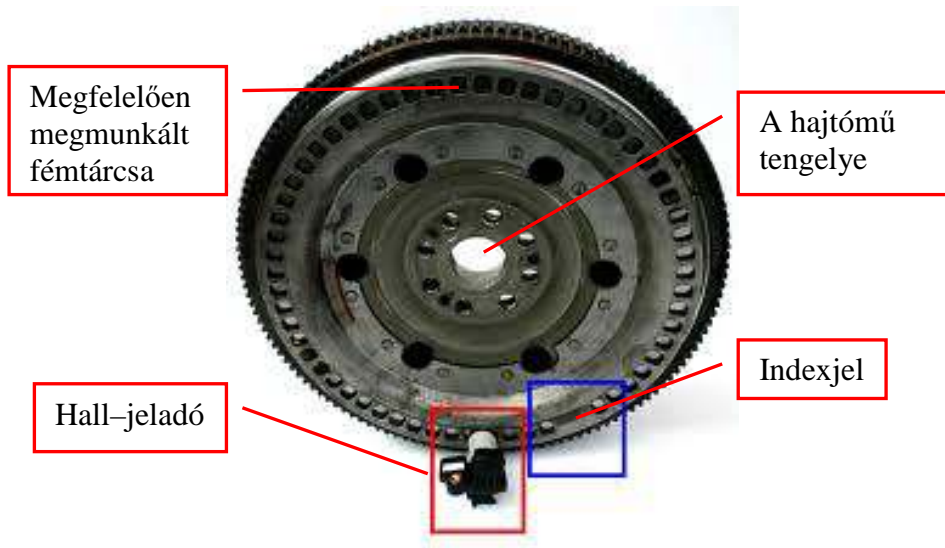
A főtengely egy munkaciklus alatti szögsebesség-görbéjének alakulását sok paraméter befolyásolja, tetszőleges szöghelyzethez tartozó értéke nehezen becsülhető. A gyújtás pontos időzítését tehát jelentősen megkönnyíti, ha a jeladó kimenetéből minél pontosabban ismerjük, hogy mi a főtengely aktuális pozíciója.

A hasonló mérésekre lényegileg két bevett módszer van: a Hall-jeladós és az optikai mérés, mindkettőnek van előnye és hátránya is. A kiválasztás az adott alkalmazásra vonatkozó szempontok szerint történt.



### 3.3.1. Hall-szenzor

A szenzor működése a Hall-effektuson alapul. Egy félvezető lapkát tartalmaz, melyen áramot átvezetve a mágneses indukció lapra merőleges komponense hatására feszültséget mérhetünk a lapka oldalai között. Ez a feszültség mágneses mező irányváltozásakor előjelet vált. A kereskedelmi forgalomban kapható szenzorok gyakran tartalmaznak egy erősítőfokozatot, illetve jelformáló egységet is.



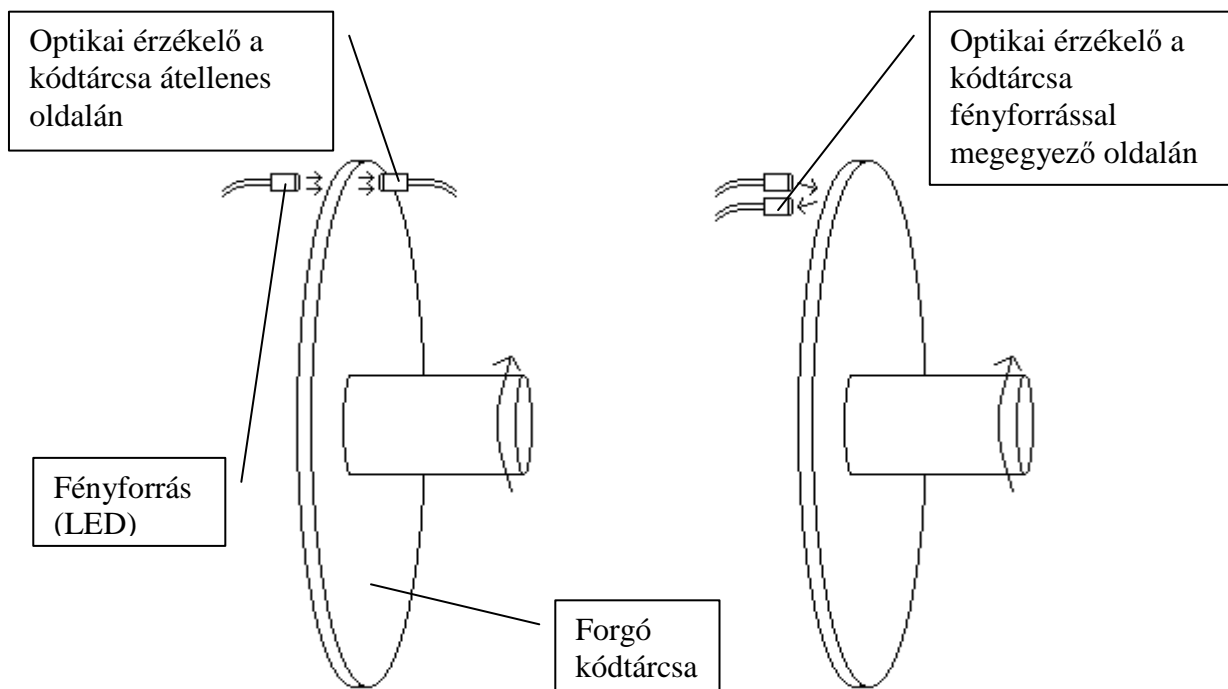
**3. ábra: Hall-jeladó elhelyezése a fémtárcsához**

Forrás: <http://www.gumomegane.eoldal.hu> (2011. 10. 20.)

Hasonló szenzorokat alkalmaznak a járművekben arra, hogy egy indexjel segítségével a forgattyús tengely aktuális pozícióját megkapjuk. Nagy előnye, hogy robusztus, hátránya, hogy mágnesezhető anyagból megfelelően kialakított tárcsa szükséges, melynek tehetetlenségével is számolni kell. Dízel motorokhoz való utólagos csatlakoztatáshoz látható példa Bártfai Zoltán dolgozatában (1), melyben a jeladó a fogaskoszorú mellé került rögzítésre, a mágneses tér változását a fogak elmozdulása adja. A jelen dolgozatban vizsgált motor esetében a fogaskoszorúhoz roncsolás nélkül egyáltalán nem lehet hozzáférni, valamint már a fogak is kopottak.

### 3.3.2. Optikai jeladó

Az optikai érzékelők általában két aktív részből állnak. Az egyik egy fénykibocsájtó eszköz, mely tipikusan infravörös LED, fénye a látható tartományon kívül esik. A LED fényét egy másik félvezető, leggyakrabban fototranzisztor érzékeli, melynek kollektorárama a ráeső fény hatására megnövekszik, az eszköz elektromosan vezetővé válik. Szerencsés, ha az érzékelő csak a LED hullámhosszára érzékeny (minél keskenyebb sávban). Az így kialakított páros arról ad információt, hogy a velük szemben elhelyezett anyagnak milyen a fényvisszaverő tulajdonsága, vagy a közük helyezett közegnek milyenek a fényáteresztő tulajdonságai.



4. ábra Az optikai érzékelés lehetséges változatai

Ebben az alkalmazásban a fényáteresztési tulajdonság változása kerül mérésre (bal oldali ábra). Pozíciót szeretnénk érzékelni, a két alkalmazott érték a „teljesen áteresztő” és a „teljesen átlátszatlan”, melyek a küszöbértékhez hasonlítva digitálissá alakíthatók.

A rendelkezésre álló hely és hozzáférhetőség mérlegelése után a választás az optikai érzékelőre esett. A pontos pozíció meghatározása két érzékelővel történik. Fordulatonként egy indexjel került elhelyezésre, a pontos pozíció érzékelését pedig egy sugárirányban áteresztő – nem áteresztő körcikket (szegmenseket) tartalmazó körlap biztosítja.

### **3.4. Jelvezetés, zavarjelek**

A készülék három fő részből épül fel, melyek között a jeleket el kell vezetni, a vezetékek hossza 1-2 méteres. A jármű több zajforrást tartalmaz, közülük a gyújtószikra jelenti a legnagyobb veszélyt. Ide sorolható még a kefék önindító motor, melyen indításkor 100A nagyságrendű áram folyik. Ezek rosszul tervezett jelút esetén könnyen zavart okozhatnak az optikai érzékelőtől jövő jelben, vagy a transzformátor meghajtó egységén keresztül hibás gyújtószikrát eredményezhetnek.

A zavarjeleket típusuk szerint a következő kategóriákba sorolhatjuk:

1. Konduktív zavarjel: „A zajforrás és a hasznos jelet szolgáltató áramkör ohmos ellenállással jelképezhető vezetési kapcsolatban vannak egymással. A vezetési kapcsolat közös vezeték vagy átvezetés útján jöhet létre. Ez elsősorban test- vagy földösszeköttetések esetén fordul elő.” (3)
2. Induktív csatolás: „A zajforrásból származó zavarjel a hasznos jelet elektromágneses indukció útján torzítja.” (3)
3. Kapacitív csatolás: „A zajforrás és a hasznos jelet szolgáltató áramkör elektrosztatikus kapcsolatban van egy-mással.” (3) Ilyen veszélyt jelentenek például a közeli fémfelületek.

A jelenlegi készülék elődje, mely az első prototípus volt ilyen megfontolásokat nem alkalmaztam. A szenzoroktól érkező aszimmetrikus, árnyékolatlan, feszültséggenerátoros meghajtású vonalon azonban – oszcilloszkóppal mérve – igen erős zavarjeleket lehetett látni, a jel vezetése nem felelt meg a minőségi követelményeknek.

A zavarjelek kiküszöbölésére az alábbi szabályokat alkalmaztam:

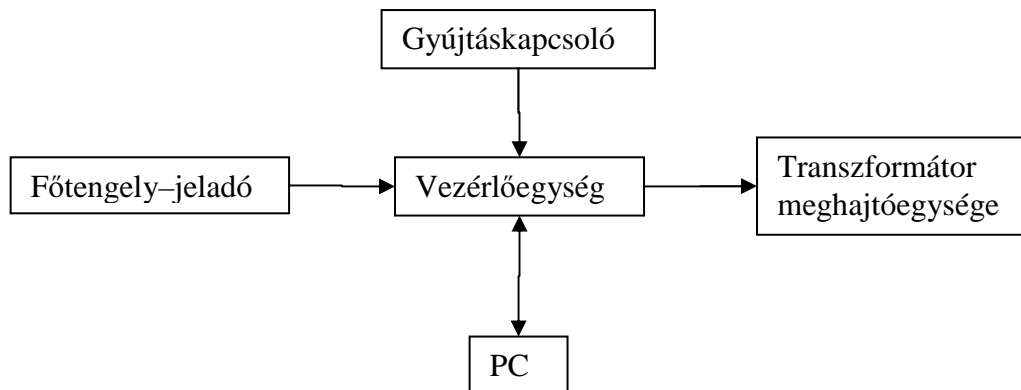
1. Egy pontban földeltem a galvanikusan összekapcsolt rendszereket.
2. A kritikus jel utakban szimmetrikus jelvezetést alkalmaztam.
3. Az árnyékolást egy pontban földeltem.

## 4. Célkitűzés, a feladat specifikálása

A kitűzött cél egy olyan rendszer létrehozása volt, mely a bevezetőben említett három hengeres, kétütemű, Wartburg motor gyújtását rugalmasan vezérli, könnyen továbbfejleszhető és bővíthető, a járművön diagnosztikai méréseket tesz lehetővé.

A rendszer három fő egységből áll:

1. a főtengely pozícióját érzékelő optikai jeladó,
2. a transzformátorok kapcsolását végző meghajtó egység,
3. a kocsiszekrényben elhelyezett vezérlőegység.



**5. ábra Az egyes hardverelemek kapcsolata**

A jármű jelenleg is forgalomban, használatban van. Olyan megoldásra volt szükség a megépítésre, tesztelésre, és a végleges használatra, mellyel a jármű folyamatosan üzemképes marad, az üzemelés biztonsága nem csökken. Alapvető követelményként merült fel, hogy az eredeti gyújtási rendszer érintetlenül maradjon, azon csak a feltétlenül szükséges minimális módosítások kerüljenek végrehajtásra. A megszakító–kalapácsos mechanika ezért továbbra is eredeti helyén maradt. Ennek kivezetései eredetileg a gyújtótranszformátor primer tekercsére csatlakoznak, ahogyan az elkészített meghajtóegység is. A két rendszer közötti átkapcsolást egyetlen relé végzi, mely elengedett állapotban a gyári összeköttetést valósítja meg a megszakító–kalapácsok és a gyújtótranszformátor primerei között. Behúzott állapotban a transzformátorok az új meghajtóra kapcsolódnak. Az elektromos meghajtóegység logikailag az eredeti rendszerrel azonos működésű.

A rendszer tápellátását a vezető – rendellenesség tapasztalása esetén – egy, a műszerfalban elhelyezett, könnyen elérhető nyomógommbal kikapcsolhatja. Ekkor a relé is elenged, a gyári gyújtással a motor tovább üzemel. A vezérlő hiba észlelése esetén maga is átkapcsol így minimalva azt az időt, amíg a jármű motorjának vezérlése nem kielégítő.

A főtengely-jeladó és a meghajtóegység elhelyezésénél és méreteinek meghatározásánál ügyelni kellett arra, hogy az a jármű szerelhetőségét ne rontsa, ne érjen más mozgó alkatrészhez, és minél kevesebb rombolással legyen beszerelhető.

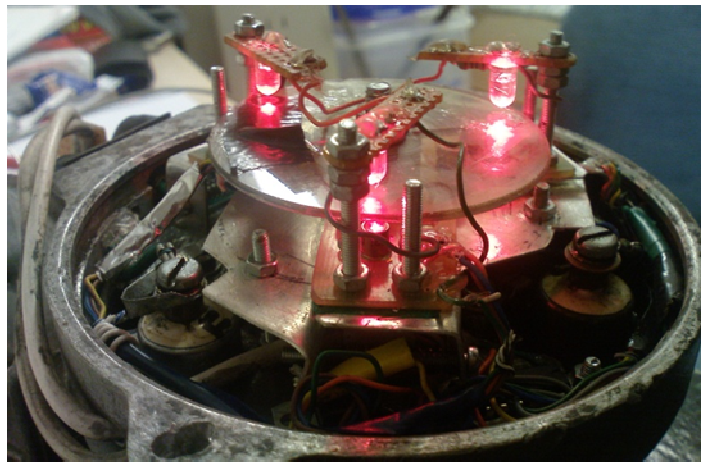
Olyan egység került megvalósításra, mely más analóg vagy digitális szenzorok és beavatkozók jeleit is képes kezelni, azok jelét regisztrálni, és soros porton PC felé továbbítani. A kódtárcsa segítségével – igaz, a rezgések miatt zajosan – de a főtengely szögsebesség-görbéje is mérhető, ez később felhasználható. Amennyiben később más, vagy további szenzorok használata válik szükségessé, azok könnyedén csatlakoztathatóak a vezérlőegységhez.

Fontos szempont, hogy a hardware méretezése az adott gépjárműre történt, kísérleti, egyedi darab, így nem volt cél az alkatrész költségek minden áron való minimalása, sokkal inkább a fejlesztés megkönnyítése. Több, a sorozatgyártás esetén egyébként elhagyható védelem került bele.

## 5. A hardver leírása

### 5.1. Az első prototípus

A bevezetőben leírt feladat megoldására több próbálkozás történt. Jelen készülék közvetlen előzménye egy PIC mikrokontrollerrel vezérelt eszköz. Az optikai érzékelő ugyanott volt, mint most 3, egymástól mechanikusan 120°-ra állított fototranzisztor-LED párossal.



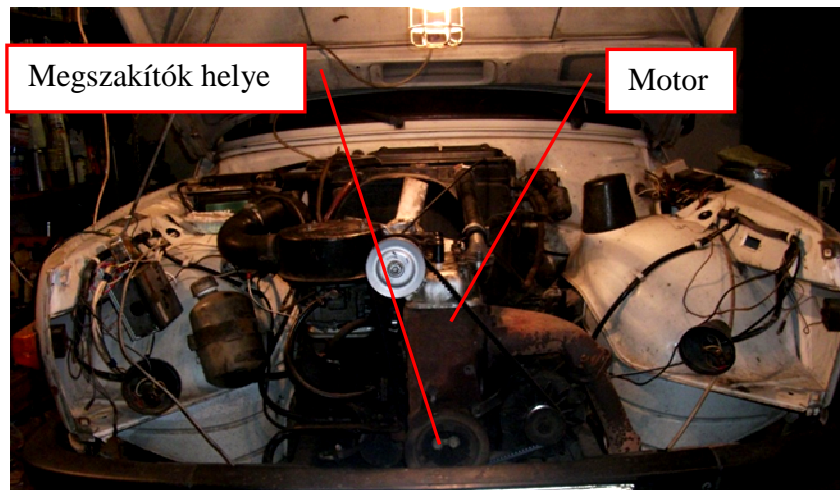
6. ábra Régi optikai érzékelő

A kialakított szerkezet stabilitása mechanikai szempontból nem volt kielégítő. Az egyes hengerek előgyújtása dugattyúelmozdulásban került beállításra, mely a holtjátékok, a motor kopottsága miatt pontatlan volt. A hibák megtalálása ugyanakkor jelentős tapasztalatot adott az optikai érzékelők és a jelvezetés témakörében.

A transzformátor mostani meghajtóegysége egy korábbi próbálkozás után szintén ekkor került kialakításra. A mikrokontroller sajnos nem volt alkalmas a vezérlés további komplexitásának növelésére, a rendszer bővítése nehézkessé vált a szűkös perifériakészlet miatt. Így új hardver tervezésére esett a döntés.

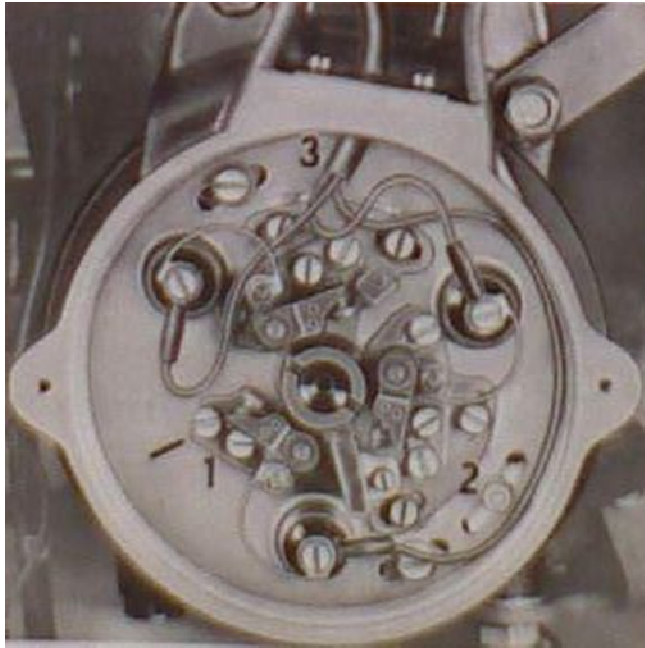
## 5.2. A főtengety-jeladó

A jármű motorja az autó hossztengetyében helyezkedik el. Az akkumulátoros gyújtás megszakítóháza a főtengety végén található viszonylag nehezen megközelíthető helyen. Hozzáférni csak az autó első része, a hűtőrács eltávolítása után lehet. Ez az egyetlen olyan hely, ahol a forgattyús tengety roncsolásmentesen hozzáférhető, így az optikai érzékelő is ide került elhelyezésre.



7. ábra: A megszakítóház helyzete a motortérben

A megszakítóház magában foglalja a három megszakítót, a hozzájuk tartozó kondenzátorokkal. A megszakítók az excentrikus tengety körül közös alaplapon helyezkednek el egymáshoz képest  $120^\circ$ -kal eltolva, melyet a 8. ábra 1,2 és 3 számokkal jelöl. Az alaplaphoz fixen rögzített megszakítóhoz hézagállító csavar, a másik kettőhöz hézag és előgyújtás-állító csavar tartozik. A hézagállító csavarral az érintkező zárási idejének hosszát, míg az előgyújtás-állító csavarral az adott henger gyújtásának időpontját állíthatjuk az 1. hengerhez képest.



**8. ábra: Gyári megszakítóház**

A megszakítókat mozgató excentrikus tengely miramid forgattyúkapcsoláson keresztül a forgattyús tengellyel kerül meghajtásra. A miramid nevű műanyagból készült tárcsa középpontjától 20mm-re található sugárirányú bemetszésbe a forgattyús tengely középpontjától ugyanilyen távolságra elhelyezett tengely illeszkedik. A tengelykapcsolás célja, hogy a forgattyús tengely és az elosztó tengelyének eltérését korrigálja, a forgattyús tengelytől érkező rezgéseket csökkentse. A gyári fix előgyújtás értéke  $22^{\circ} \pm 1'$  a dugattyú felső holtpontja előtt, ami dugattyúelmozdulásban  $3 \pm 0.31\text{mm}$ . (4)

Az optikai érzékelő úgy került kialakításra, hogy az ne korlátozza a megszakítókalapácsok működését. A felfogatási pontok olyan helyre kerültek, hogy azok ne akadályozzák az alaplappal, illetve a finomállítók mozgását, így azokat később is szabadon lehet (után)állítani.

További szempont volt, hogy az érzékelő elférjen a rendelkezésre álló minimális helyen, mely tengelyirányban, tehát előre 45mm, a tengelytől sugárirányban 50mm.

A rezgések csökkentése, és a felfogatás minősége érdekében kialakított miramid forgattyúkapcsolást a minimális tehetetlenségű excentrikus tengely meghajtására tervezték. Nagyobb inercia fokozott igénybevételt, fokozott kopást jelent, ezért igyekeztem a minimális méretű jeladó tárcsát alkalmazni.



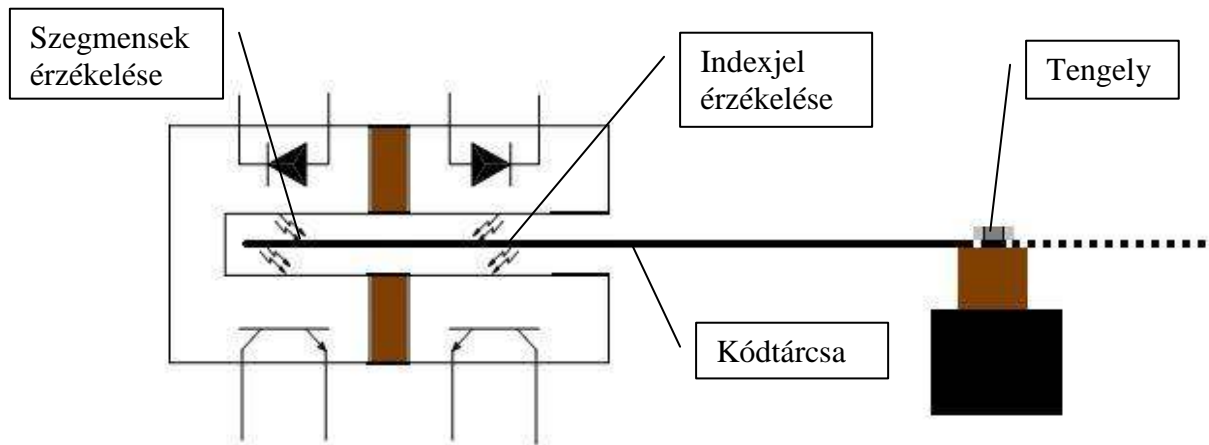
A fenti szempontok és a rendelkezésre álló erőforrások mérlegelésével az optikai érzékelő került kiválasztásra. A jeladó két csatornás: Az egyik indexként szolgál, fordulatonként egy impulzust ad. A másik a pontosabb szöghelyzet visszajelzésére szolgál: fordulatonként 90 osztásos kódtárcsa jelét továbbítja.



**9. ábra: Kódtárcsa, kívül a szegmensekkel, belül az indexszel**

Az index és a szegmensek is egy kódtárcsán kerültek kialakításra egy-egy koncentrikus körgyűrűn, a belső az indexjel. A tervezés során a rezgések méretére és a tengely esetleges excentrikusságára vonatkozó információk még nem álltak rendelkezésre, ezért mindkét érzékelőnek viszonylag széles sáv került kialakításra. A kódtárcsa alapja egy áttetsző, lézernyomtatóval nyomtatható írásvetítő fólia, melyre a 9. ábra alakzata került felvitelre. A korábbi próbálkozások bebizonyították, hogy a fólia kis merevsége a mérést nagyon zajossá teszi. Ennek kiküszöbölésére 1,5mm vastagságú plexilapból kivágott 48mm-es körlapra szilikon tömítőanyaggal került rögzítésre a fólia.

Az érzékelő-párost egy távolságtartó bakelit közbeiktatásával egymással szemben összeragasztottam, majd az indexjel érzékelésére szolgáló érzékelő hátsó összefogatását átvágtam. Így a két érzékelő a kívánt funkciót látja el.



**10. ábra: A kialakított optikai érzékelő páros**

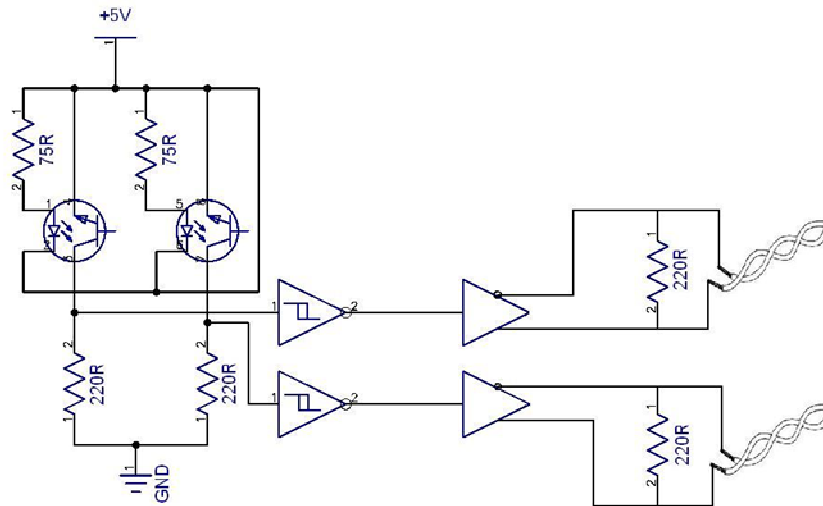
A 11. ábrán látható az egyszerűsített elvi rajz. A kapcsolás 5V-ról üzemel, két egyforma felépítésű áramkört tartalmaz. Az optikai érzékelő az ábrán látható kialakítású KTIR0611S LED-fototranzisztor páros, mely viszonylag olcsó, méretei pedig megfelelnek az alkalmazásnak.

A biztos kapcsolat érdekében a két infravörös fényű LED-en a maximális áram körülbelül  $\frac{3}{4}$ -e, 35mA folyik, melyet még 50°C külső hőmérséklet mellett is elvisel.

$$I = \frac{U_t - U_{nyitó}}{R} = \frac{5V - 1.2V}{110\Omega} = 35mA$$

Az adatlapból megtudhatjuk, hogy az adott LED áramhoz ( $I_{forward}$ ) milyen tranzisztor áram tartozik ( $I_{collector}$ ). Ezek alapján  $I_{collector} = 5mA$ .

A tranzisztor oldali ellenállás kiválasztásánál két ellentétes szempontot kell figyelembe venni. Értékét úgy kell kiválasztani, hogy a tranzisztor teljes megvilágítás esetén se menjen telítésbe. Ilyenkor ugyanis a bázis–kollektor kapacitáson felhalmozódó töltések lassítják a tranzisztor zárását. A másik szempont, hogy biztonsággal átkapcsolja a következő fokozatot, ami egy CMOS Schmitt–triggeres inverter. Az adatlap által javasolt feszültségre 0.5V-os ráhagyással a tranzisztoron eső feszültség, ha a tranzisztor és a LED között a tárcsa átérésztő része van, 1V.

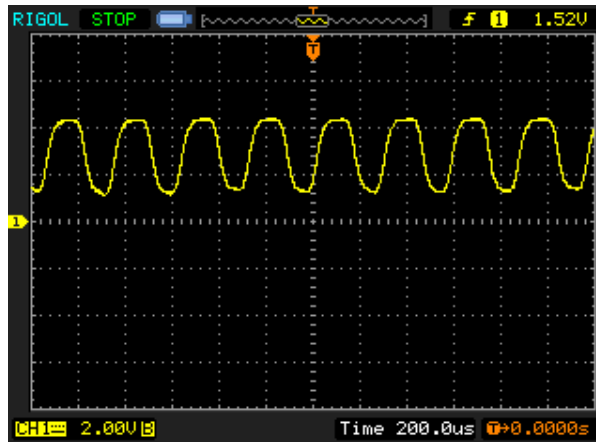


**11. ábra: Az optikai érzékelő egyszerűsített kapcsolási rajza**

Az extrém körülmények miatt nagy hangsúlyt kellett fektetni a jelvezetésre. A vezérlő–adatgyűjtő egység ugyanis a kocsiszekrénybe kerül, ami miatt a vezeték hossza több mint két méter. A rendszer robusztussága csak úgy biztosítható, ha a zavarásból eredő hibás éldetektálás kizárható. Az áramkör fém házba került, a vezetéken továbbított jel viszont sérülékeny.

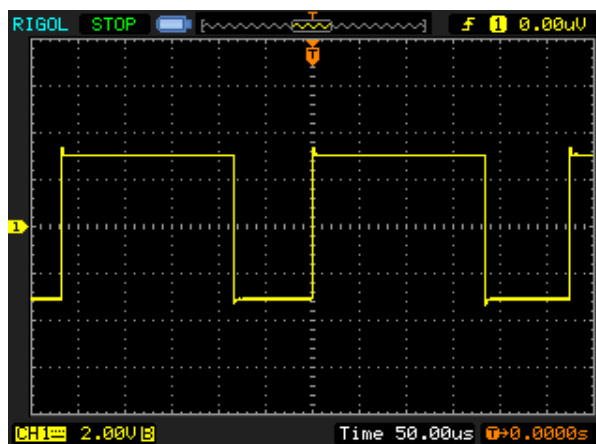
A konduktív zavarjel megjelenése ellen minden egymástól optikailag le nem választott rész csak egy pontban került leföldelésre, ezzel a földhurkok megszűnnek. A kocsiszekrényben elhelyezett vezérlőáramkör és a hozzá két méteres vezetéken keresztül csatlakozó optikai érzékelő azonos potenciálon vannak, nincsenek optikailag leválasztva. Földelésük ezért közös, az érzékelőnek semmilyen közvetlen galvanikus kapcsolat nincs a motorblokkal.

Az inductív zavarok kivédése érdekében főtengely-jeladó és a vezérlő között található hosszabb, így érzékenyebb jelút szimmetrikus jelvezetésű, csavart érpárral.



**12. ábra: A fototranzisztoron mérhető feszültség a motor járása közben**

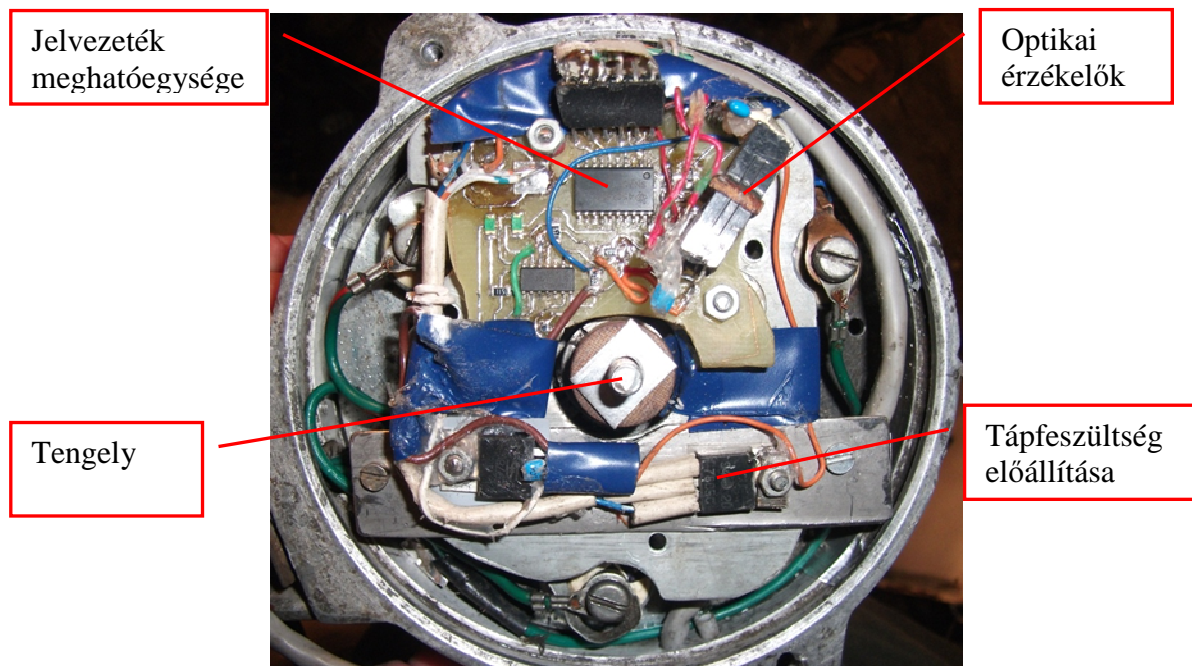
Erre a célra az SN75174-es differenciális jeladó került beépítésre, melyből két csatorna került felhasználásra. Az így előálló differenciális logikai jelet a csavart érpár két ere között lehet mérni, értéke  $\pm 3,3\text{V}$ . Az adatlap leírása szerint a vonalat az adó és a vevő közvetlen közelében le kell zárni a reflexió csökkentésére. A kábel mindkét végén egy-egy



**13. ábra: Az optikai jeladóból a vezérlőbe érkező differenciális jel**

darab  $680\Omega$ -os ellenállás került beépítésre. Az így keletkező DC áram jóval a chip névleges meghajtó árama alatt marad, és megegyezik a kábel 20MHz-en vett impedanciájával.

A kalapácsok ebben az elrendezésben az optikai érzékelő alá kerülnek. Az új érzékelőt védendő az áramkör alaplapja egy földpotenciálra kapcsolt fémlemez, mely egyben a mechanikai stabilitást is biztosítja.

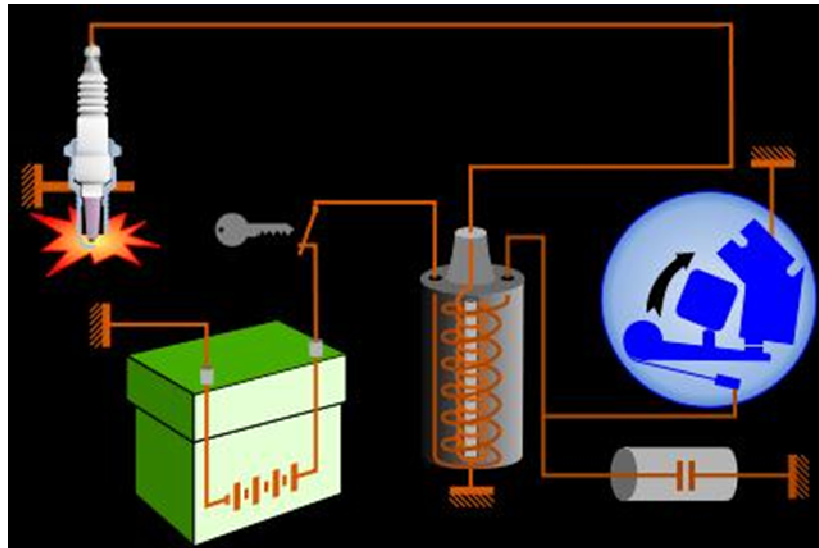


**14. ábra: A megszakítóház az optikai érzékelővel, kódtárcsa nélkül**

### 5.3. A transzformátorok meghajtása

A kétütemű benzinmotor a külső gyújtású motorok csoportjába sorolható. (2) A beszívott, majd összesűrített keverék begyújtását villamos szikra végzi el. A villamos ív létrehozásához 17–24kV feszültség szükséges. A szikraköz átütése után rövid áramimpulzus jön létre, mely hőhatása révén begyújtja az éghető tüzelőanyag–levegő keveréket. (5) A gyújtás minőségét leginkább a gyújtószikra energiája határozza meg, mely alapvetően az ívben kialakult áram nagyságától és időtartamától függ.

Az általam vizsgált motor hagyományos akkumulátoros gyújtással rendelkezik hengerenként külön transzformátorral, a gyújtáshoz szükséges energiát elektromágneses mezőben tárolja. Áramkörének főbb elemei egy hengerre az alábbi ábrán láthatóak.

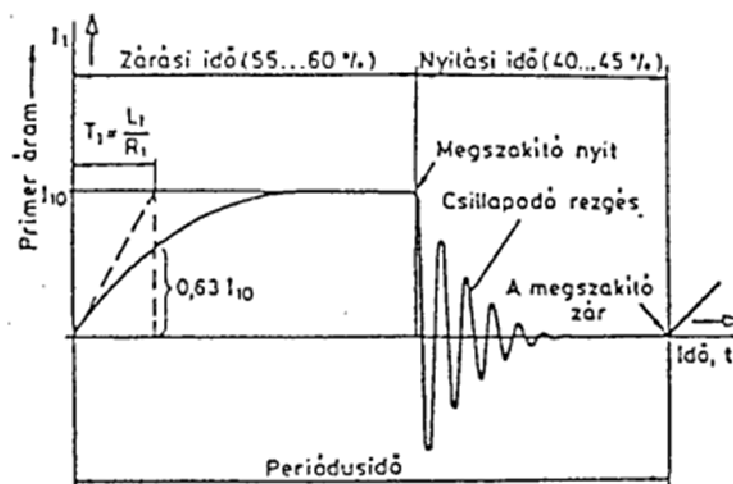


15. ábra: Az akkumulátoros gyújtás elvi kapcsolási rajza

Elemi a feszültségforrás, a gyújtótranszformátor, a kondenzátor, a megszakító kalapács és a gyújtógyertya. A gyújtás bekapcsolásakor a kulccsal jelzett érintkezőt zárjuk, így a gyújtótranszformátor primer tekercsének egyik pólusa az akkumulátor ez esetben 12V-os csatlakozójára kerül. Primer tekercsének másik pólusa egyrészt a megszakító kalapácsához csatlakozik, mely a főtengely szöghelyzetétől függően azt testpotenciálra köti, vagy megszakítja. A megszakítóval párhuzamosan csatlakozik még egy kondenzátor is. A szekunder tekercs kivezetései a gyújtógyertyára kerültek, mely a szikraköz és a szigetelés funkcióját látja el.

A gyújtótranszformátorok nyitott vasmagú autótranszformátorok (5), két tekercsel. Szekunder tekercsük a vasmaghoz közelebb található, vékony huzalból, szokásos menetszáma ~20000. Primer tekercsük vastagabb huzalozású, az a köpenyhez közel helyezkedik el, szokásos menetszáma ~200. Fontos különbség a nagyfeszültségű transzformátorokhoz képest, hogy míg azok általában zárt vasmagúak és így kis veszteségűek, addig az autótranszformátorok tervezésénél nem a jó hatásfokra, hanem a nagy feszültséglökésre törekedtek, melyet a primer áram gyors változtatásával hoznak létre. (5)

A megszakító érintkező zárásakor a transzformátor primer tekercsének kivezetései között – a hozzávezetések és az érintkezők ellenállását elhanyagolva – az akkumulátor feszültsége jelenik meg. A tekercs árama – a primer áramkörü önindukció miatt – csak lassan, exponenciális jelleggel növekedhet, áramának a tekercs rézellenállása szab határt. Az áram időállandója a tekercs induktivitásának (L) és ellenállásának (R) hányadosa. Így a mágneses tér is viszonylag lassan épül fel, nagy szekunder oldali feszültséget nem indukál, ami nem eredményez szikrát. (5)



**16. ábra: A gyújtótranszformátor primer tekercsének feszültsége (5)**

A 16. ábra látható, hogy a kapcsoló nyitásakor a kondenzátor a primer tekercssel párhuzamos rezgőkört alkot, csillapodó harmonikus rezgés alakul ki. Körfrekvenciája az ellenállások elhanyagolásával:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L * C}}$$

A rezgőkör kezdeti energiája megegyezik az induktivitásban tárolt energiával, így a kondenzátor csúcshőfeszültsége:

$$E = \frac{1}{2}LI^2; \quad E = \frac{1}{2}CU^2$$

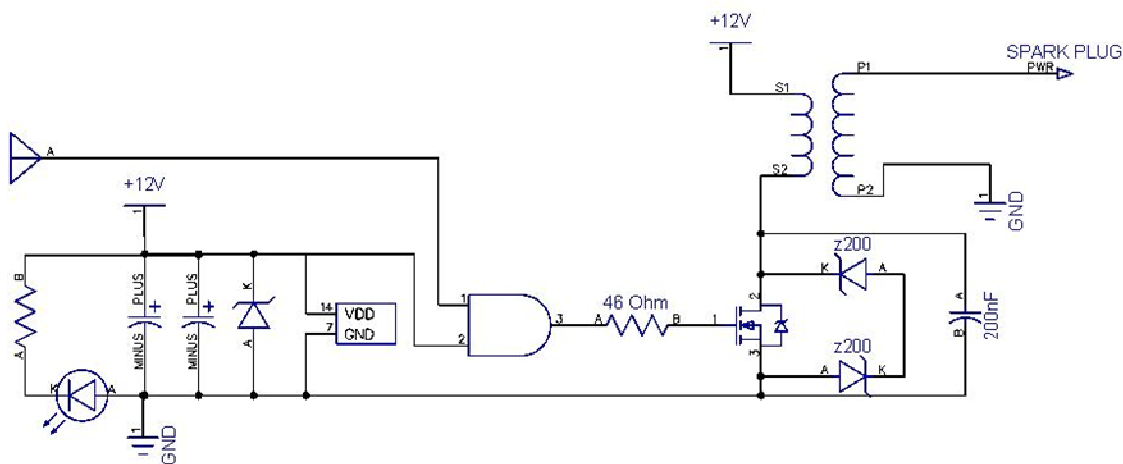
$$U = I \sqrt{\frac{L}{C}}$$

A kondenzátor kapacitása befolyásolja az áramváltozás sebességét, és a kialakuló maximális áram- és feszültségértékeket. Szokásos értéke 200–300nF.

Helyesen méretezett rendszer esetén tehát a primer tekercsben fellépő csillapódó oszcilláció a szekunder tekercsben elegendően nagy feszültséget hoz létre ahhoz, hogy a gyertya szikraköze áthúzzon, és így begyűjtsa a benzin–levegő keveréket.

A fent részletezett ciklus fordulatonként ismétlődik. Hagyományos megszakító esetén az állandósult áram kialakulásához adott szög tartozik, a rendelkezésre álló idő így a fordulatszám függvénye, melynek növelésével csökken a tekercsen a megszakítás pillanatában átfolyó áram, és így a szikra energiája is.

Fontos szempont volt az új meghajtó áramkör tervezése során is a gyári rendszer minél kisebb mértékben történő módosítása, így a vezérlő hibája esetén az eredeti berendezésre vissza lehessen kapcsolni. Az eredeti, akkumulátoros gyújtás a három gyújtótranszformátorral teljes egészében a helyén maradt. A megszakító kalapács funkcióját térvezérlésű tranzisztorok végzik, melyeket közvetve a mikrokontroller vezérel. A 17. ábra látható egy hengerhez tartozó meghajtóegység.

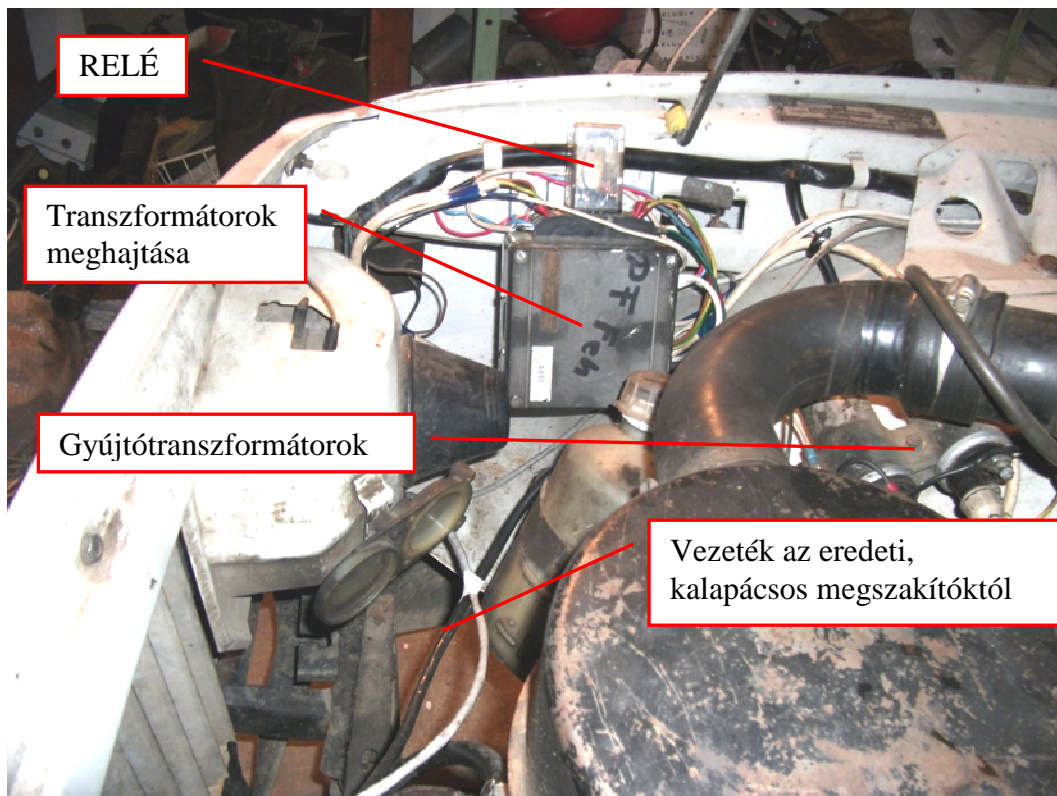


17. ábra: A transzformátor meghajtóegysége





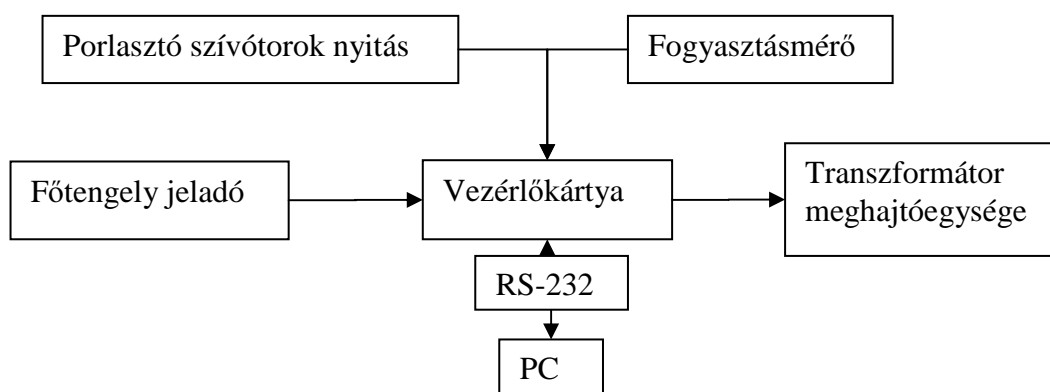
A fizikai felépítésénél figyelembe vettem a rendelkezésre álló helyet. Az ezt tartalmazó műszerdoboz a motortérben, a gyújtótranszformátorokhoz lehetőség szerint legközelebb került beszerelésre. A 17. ábra látható egységből három került kialakításra egy NYÁK-on. Az ezt tartalmazó műszerdobozhoz tartozik még egy relé is. A relé funkciója a korábban hangsúlyozott biztonsági szempont. A relé 3 váltóérintkezős, a közös érintkezőkre kerülnek a gyújtótranszformátor primer tekercseinek egyik pólusai, melyet a relé alap helyzetben az eredeti gyújtáelosztóból érkező három kábellel köt össze. A kábelek a megszakító kalapácsoktól érkeznek. A primer tekercsek másik kivezetését továbbra is a gyújtáskapcsoló köti a tápfeszültségre. A relé meghúzott állapotában a transzformátorok primerei a FET-ek drain-jére kerül, a gyújtást a vezérlőegység kapcsolja.



**19. ábra: A meghajtóegység elhelyezkedése a motortérben**

## 5.4. A mikrokontrolleres vezérlőegység

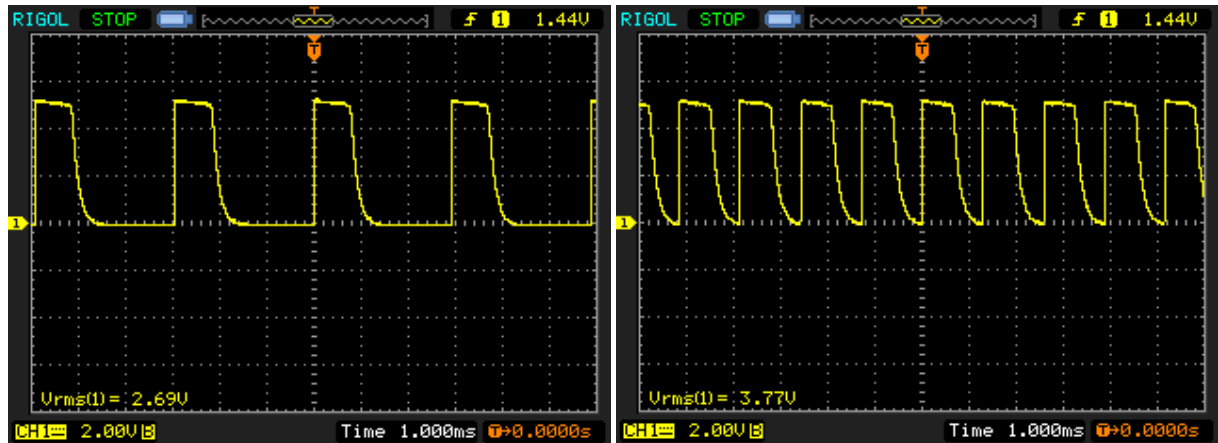
A vezérlőegység a kocsiszekrényben helyezkedik el, vezérlését az Atmel cég ATXMEGA mikrokontrollere végzi. (6) Kiválasztásában szerepet játszott, hogy perifériákban gazdag, felépítése átlátható, ára elfogadható. C nyelven hatékonyan lehet programozni, ez megkönnyíti a fejlesztést, mely ingyenes AVRStudio fejlesztőkörnyezetben készült. Ez ingyenesen hozzáférhető C fordítót is tartalmaz. A programozás és a debuggolás az AVRDragon eszköz JTAG interfészén keresztül történt.



20. ábra: A vezérlőpanel kapcsolódása a perifériákhoz

A NYÁK központi egysége a mikrokontroller, mely 3.3V-os tápegységgel üzemel. Az optikai jeladó szimmetrikus kimenete egy megfelelő szimmetrikus vevőn keresztül jut a kontrollerbe. Analóg csatornái közül egyik a közeli potenciométerek feszültségét méri, mely manuális módban az előgyújtás szögének kézi beállítására alkalmas, a vezérlőegység dobozán, könnyen hozzáférhető helyen található. Lehetőség van a porlasztó toroknyitásának mérésére, mely a gázpedál állásával egyezik meg, ennek értékét a másik analóg csatorna digitalizálja.

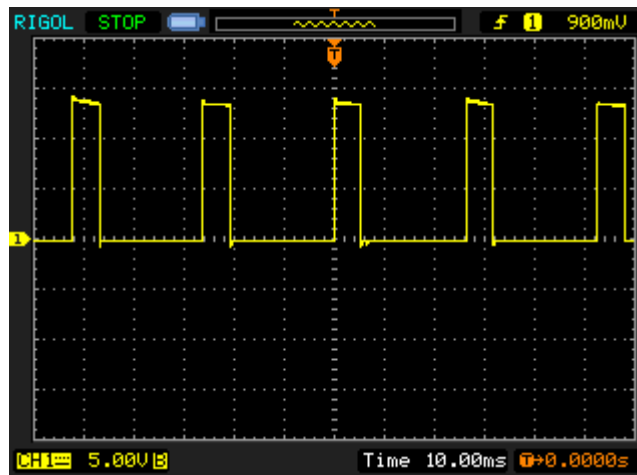
A kontroller fogadja a gyári fogyasztásmérő kimenetét. A fogyasztásmérő (benzínátfolyás-mérő) az üzemanyag-szivattyú után a porlasztóba vezető üzemanyagcsőbe kerül bekötésre. Az átfolyó üzemanyag egy lapátokkal ellátott, finoman kiképzett tárcsát forgat meg, mely a rajta keresztülbocsájtott fénysugarakat megszakítja. Ezt a benne található elektronika úgy alakítja át, hogy a négyszögjel lefutó éle állandó meredekségű, a fordulatszámmal így a kijövő négyszögjel átlagértéke változik, melyet a műszerfali LED-sor kijelez, ez a 21. ábra látható.



**21. ábra: A fogyasztásmérő kimenete alacsonyabb ( $27 \frac{\text{fordulat}}{\text{sec}}$ ) és magasabb ( $83 \frac{\text{fordulat}}{\text{sec}}$ ) fordulatszámokon**

A fogyasztásmérő kimenete egy műveleti erősítő követő fokozatos impedanciaillesztés után egy időmérő modulba csatlakozik, mely a tárcsa forgásának periódusidejét méri. A műszer térfogatáramot mér, kimenete tehát függ a hőmérséklettől. Érdelesebb a mért eredményre kvalitatív jellemzőként tekinteni. Kalibrálásának nehézsége, hogy a benzinpumpa miatt erős dinamikus igénybevételnek van kitéve. Kimenetét a műszerfali visszajelző feszültségértékeihez hasonlítottam, melyen a minimális 5l/h után 0,5l/h–nként kerültek skálázásra a fogyasztásértékek.

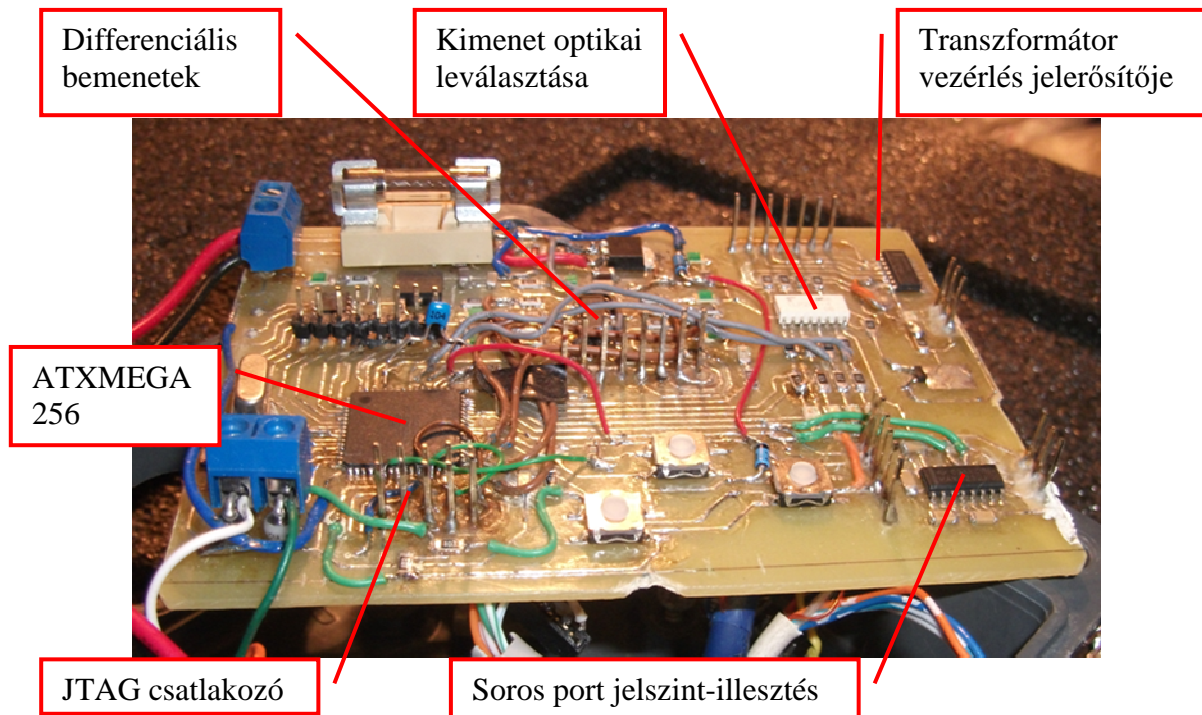
A vezérlőkártya kimenete transzformátorok felé optikailag leválasztott. A fokozat egyben megoldja a 3.3V-os és 12V-os rendszer közötti átmenetet. Tápfeszültségét a gyújtótranszformátorok tápellátásából kapja, hiszen ezekkel van összeföldelve. A vezérlőkártyát a meghajtóegységgel összekötő kábel árnyékolt, árnyékolása a meghajtóegységnél került leföldelésre. Benne három ér halad az egyes hengerekhez. A vezetékek meghajtása mindkét irányban aktív, erről az optikai leválasztás fototranzisztorai után kapcsolt nagy kimeneti áramú CMOS inverter gondoskodik. A meghajtóegységben a 5.3 fejezetben ismertetett módon a szintén egy CMOS logikai kapu végzi a FET-ek meghajtását. A FET-ek gate-jén mérhető vezérlőjel a 22. ábra látható.



**22. ábra: A FET kapuján mérhető vezérlőfeszültség**

A vezérlőpanelon kialakításra került még két műveleti erősítő kimenet, melyek egyszerűen alakíthatóak tranzistoros áramgenerátoros, vagy követőerősítő kapcsolásban. Ezekkel lehet analóg műszereket lehet meghajtani. Másik funkciójuk lehet egy szervó motor vezérlése. Az esőáramú Jikov32 SEDR típusú karburátor ugyanis két fokozatot tartalmaz: egy az üzem nagy részében használt szegényebb elegyet biztosító 1. fokozatot, és egy a gázpedál állásával mechanikusan szabályozott dúsabb keveréket biztosító 2. fokozatot. Ez a gázpedál útjának utolsó harmadában kezd nyitni. Ennek későbbi, jobban szabályozott állítását megoldhatja egy szervómotor.

A kártyán került kialakításra a PC felé a kommunikációs csatornát biztosító szintáttevő max232 IC. Segítségével a vezérlő RS-232 protokollal kapcsolatba tud lépni a PC-vel.



**23. ábra: A vezérlőkártya**

## 6. Szoftver rendszerterv

### 6.1. A vezérlőegység programjának felépítése

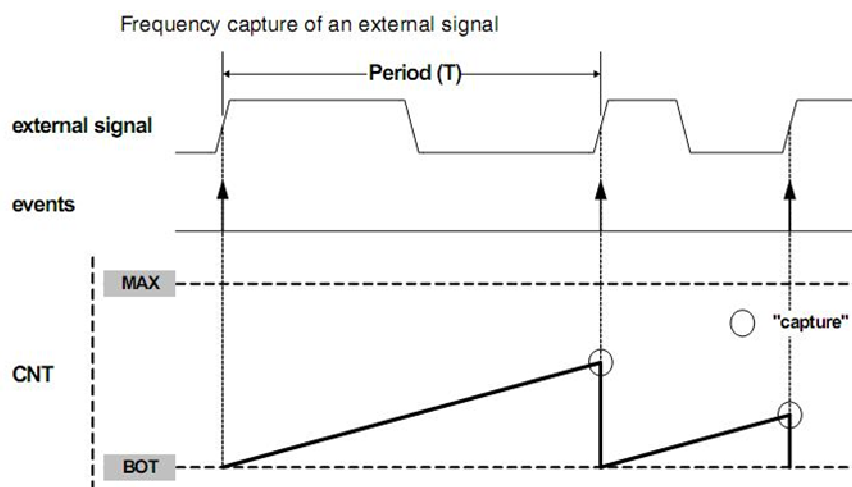
A választott kontroller alkalmas a hatékony C nyelvű fejlesztésre, mely növeli a program átláthatóságát, a hibák kiszűrésének lehetőségét. A fő funkciók a következők:

1. Az optikai jeladó kimeneteinek érzékelése:
  - a. index,
  - b. szegmensek.
2. A főtengely szöghelyzetéhez képest a megfelelő gyújtótranszformátor időzítése:
  - a. feszültség a transzformátor primerére: szögsebességtől függő késleltetés,
  - b. áram megszakítása a transzformátor primerén (szikra): az előgyújtás nagyságától és a szögsebességtől függő késleltetés.
3. Késleltetések számítása az előgyújtás és a szögsebesség függvényében.
4. PC által kezdeményezett adatforgalom kezelése.

### 6.1.1. A transzformátor kapcsolásának időzítése

A mikrokontroller megszakításrendszere rugalmas, minden periféria prioritása három fő kategóriába sorolható: kicsi, alacsony és közepes prioritású.

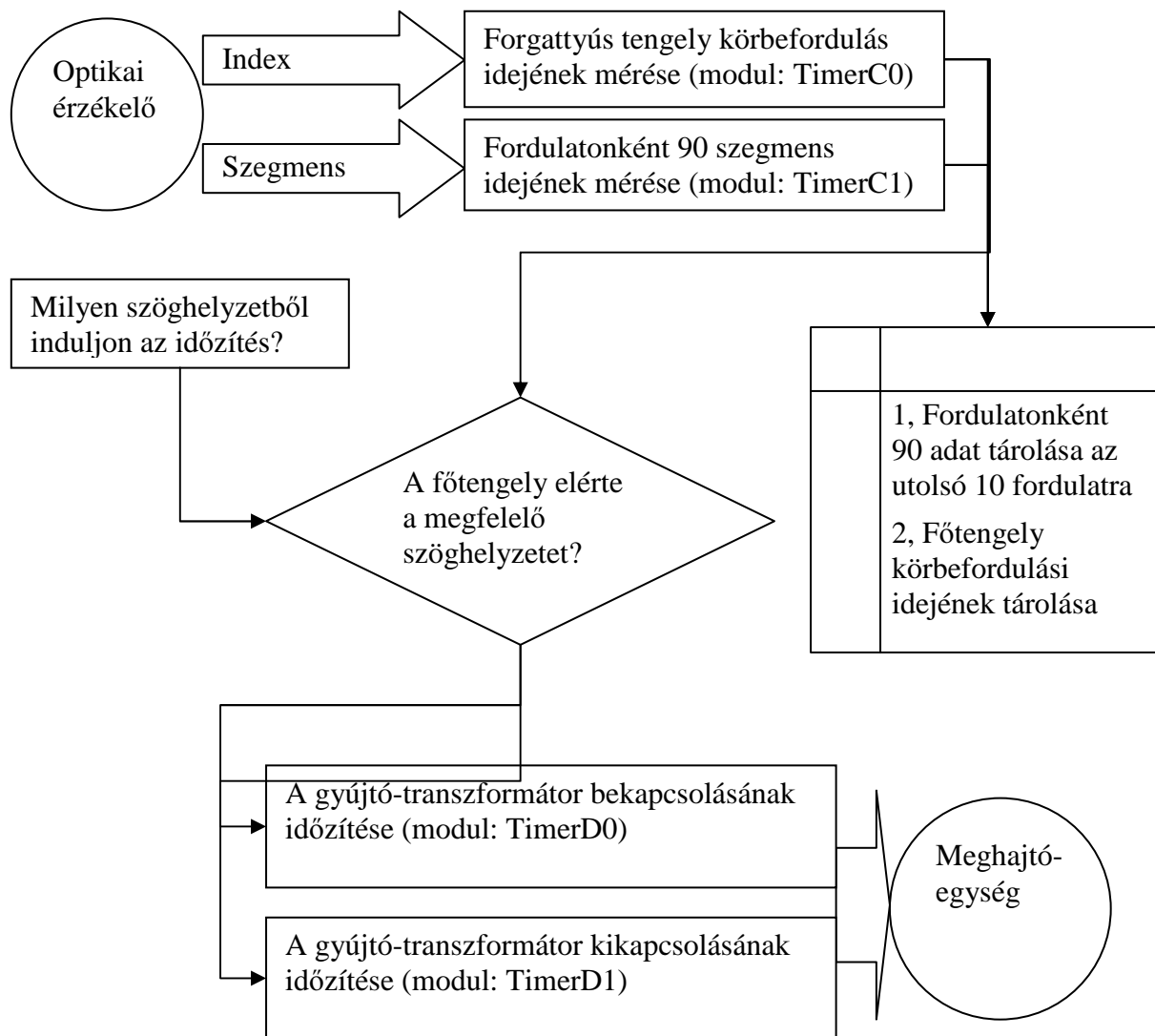
A főtengely jeladójának kimenetét a legmagasabb prioritással kezeli. A fordulatonként 90 szegmens idejét az utolsó 10 fordulatra további felhasználásra a kontroller memóriájába kerül rögzítésre egy TIMER modullal, mely a 24. ábra **Hiba! A hivatkozási forrás nem alálható.** látható frekvenciamérő funkciót valósít meg.



24. ábra: A főtengely-jeladó időadatainak mérése

Így 90 osztásos tárcsa esetén fordulatonként 90 időadat kerül rögzítésre. A processzor általános lábára csatlakozó bemenetet egy „Event Channel” (6) köti az időzítő/számláló bemenetre. Az „Event Channel” segítségével az egyes perifériák „összedrótózhatók”. A fentieknek megfelelően konfigurált számláló minden szegmens idejének lemérése után (az optikai érzékelő felfutó élénél) magas prioritással megszakítást kér. Ebben a memória adott területére másolja a mért időt. Emellett számolja, hogy hányadik szegmensnél jár a motor, tehát milyen szöghelyzetben áll a főtengely. Amennyiben a forgattyús tengely elérte a (későbbiekben részletezett) megfelelő szöghelyzetet, a megszakításrutin elindítja a megfelelően feltöltött időzítőt, ami az adott transzformátor be- vagy kikapcsolásának idejét időzíti.





**25. ábra: A vezérlőprogram főbb részeinek felépítése**

A főtengely körbefordulásának idejét is egy hasonló módon felkonfigurált számláló végzi el. Megszakítási rutinjában Sor kerül az érték elmentésére, és az indexjel beállítására. Amennyiben az optikai jeladótól nem 90 megszakítás érkezett két indexjel között, hibát jelez.

Az irodalmi áttekintésben részletezettek miatt az előgyújtás értékét a felső holtpont előtti szöghelyzetben célszerű megadni. Ehhez hengerenként és fordulatonként két eseményt kell időzíteni:

1. A transzformátor bekapcsolása: A transzformátor eddig lebegő primerkivezetése földpotenciálra kerül, aminek hatására a primer áram növekedésnek indul.
2. A transzformátor kikapcsolása: A transzformátor eddig földre kötött primerkivezetése megszakításra kerül, a gyújtógyertya elektródái között villamos ív alakul ki.

A szikra időzítése minden hengernél a felső holtpont előtt  $35^\circ$ -kal található szöghelyezethez képest történik. A megfelelő változóban (a) megadott szöghelyezetből egész osztással meghatározzuk, hogy hányszor (q) fér bele a 4 fokos (b) szegmenstávolságba. A maradékrész (r) pedig megadja, hogy még hány fok késleltetést kell időzítéssel előállítani.

$$a = b * q + r, \text{ ahol } 0 \leq r < b$$

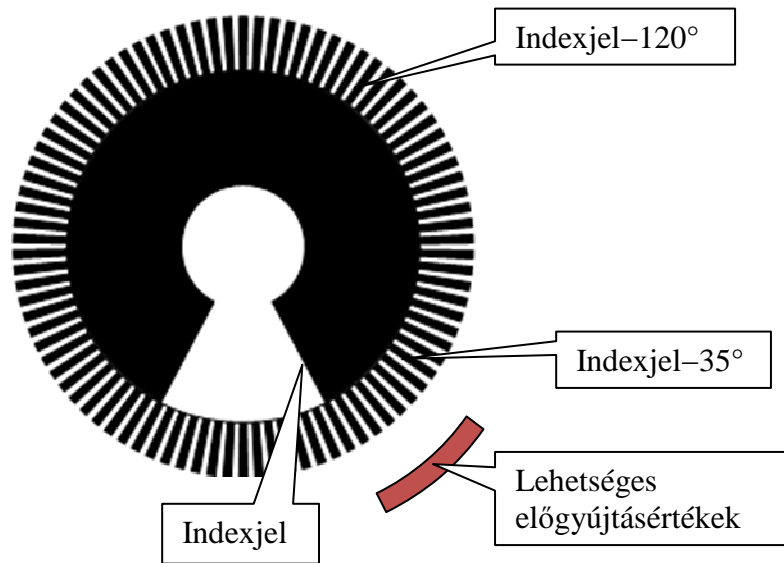
Az időzítő a megszakításrutinban indul, a lejártakor pedig meghívódik annak megszakításvektora, melyben az adott hengerhez tartozó kimenetet 0-ba állítja, előállítva ezzel a szikrát.

A megfelelő primer áram kialakulásához idő szükséges. Minél kisebb az átfolyó áram a megszakítás pillanatában, annál kisebb a gyújtószikra energiája, és így a gyújtás minősége is. A maximális áram kialakulásához szükséges idő után viszont az átfolyó áram már nem növeli a gyújtószikra energiáját, az csak a transzformátor tekercseit fűti, és fölösleges fogyasztást jelent.

A maximális áram kialakulásához szükséges idő meghatározásához az üzemeltetési kézikönyvet (4) vettem alapul. E szerint a motor maximális fordulatszáma  $5000 \frac{1}{min}$ , az érintkezők zárási szöge pedig  $60^\circ$ . Hogy az utángyártott transzformátorok gyártási szórását is kielégítsem, az áram kialakulásához ezzel a zárási szöggel számolt szükséges idő  $4000 \frac{1}{min}$ -es fordulatra:

$$\frac{1}{\frac{4000 \frac{1}{60sec}}{60sec}} \bigg/ \frac{360^\circ}{60^\circ} = 0.0025 \text{ s} = 2.5 \text{ ms}$$

A bekapcsolási időt a kikapcsolási idő (szikra) korábban részletezett referenciapozíciója előtt  $120^\circ$ -kal található referenciához időzíti.



**26. ábra: Az indexjel és a referenciapontok az 1. hengerre**

A program három üzemmódot különböztet meg:

1. *A motor áll:* Gyújtás ráadása után, míg nem lép át más állapotba. Visszakerül ebbe az állapotba, amennyiben 130ms alatt nem érkezett egyetlen megszakítás sem az optikai érzékelőtől. Ez 11 másodperces átlagos periódusidőt jelent. Ez esetben a transzformátorokat lekapcsolja a program, így elkerülhető leégésük.
2. *Az indítómotor forgatja a motort:* Ha 130ms alatt legalább egy megszakítás érkezik, és a gyújtáskulcs elfordítása óta volt legalább egy indexjel (tehát tudjuk a főtengely szöghelyzetét). Ez esetben a program a felső holtpont előtt 5°-os előgyújtást ad.
3. *A motor jár:* fordulatszám  $> 475 \frac{1}{min}$ . (A névleges alapjárat fordulat szám  $750 \frac{1}{min}$ .) Ebben az esetben a fejezet elején leírt változó szöghelyzetű gyújtás van érvényben.

### **6.1.2. Hibakezelés**

Minden hiba esetére vonatkozik az a feltételezés, hogy az eredeti gyújtásrendszer – ha nem is tökéletes – de megbízható gyújtást szolgáltat. Így hiba észlelése esetén a készülék az eredeti rendszerre kapcsol vissza. Az optikai jeladó előforduló hibái között lehet az indexjel, vagy a szegmensek hibás érzékelése. Így az indexjel hiánya, egy indexjelen belül kevés vagy sok szegmensjel megszámlálása is hibát jelez.

Az egyes hengerekben végbemenő égésről információt szolgáltatnak a készülék által mért forgattyús tengely szögsebesség-változások, melyekből fordulatonként 90-et rögzít a készülék. A későbbiekben ennek felhasználásával megvalósításra kerül az egyes hengerek égési hibáinak detektálása. Hengerkimaradás esetén szintén hibajelzéssel a készülék automatikusan átkapcsolhat az eredeti, megszakító gyújtásra.

### **6.1.3. PC-s adatforgalom**

A készülék elkészítésének többek között az is célja volt, hogy az használható legyen különböző diagnosztikai mérésekre, azzal a motorparaméterek dinamikus hangolását lehetővé tegye. Mivel a mikrokontrollerhez nehézkes a kezelői felület illesztése, és célunk a könnyű adatgyűjtés és feldolgozás is, erre a célra kézenfekvő egy laptop használata. Az IBM T23-as gép rendelkezik soros porttal, 16,6V-os tápfeszültséget igényel maximum 2A-es fogyasztással. Szerencsére nem ellenőrzi a gyári tápegység meglétét, megelégszik a tápfeszültséggel. Megépítésre került egy 12V → 16,6V-os boost konverter, mely a laptop mért fogyasztási tulajdonságainak megfelel. A laptop rendelkezik Matlabbal, melyben minden regisztrálási és feldolgozási feladat rugalmasan megoldható, támogatja a kezelőfelület létrehozását. Előnye, hogy az algoritmusok is jól tesztelhetőek.

A vezérlőegységet a PC-vel az RS232 szabványnak megfelelő soros port köti össze. A kommunikációban a PC látja el a mester feladatát, mely parancs-válasz jellegű.

Parancs	Vezérlő válasza	Érvényesség, hatás
1. Szegmensértékek lekérdezése.	Parancskód; 90db szegmensérték.	Azonnal.
2. AD átalakítók lekérdezése.	1 bájtos érték.	Azonnal.
3. Előgyújtás szögét a PC határozza meg.	Parancskód visszaküldése.	10 másodpercig.
4. Előgyújtás szögét a vezérlőegységen található potméter állása adja.	Parancskód visszaküldése.	Előbbi parancs érvényességének megszüntetése.
5. Hibakódok lekérdezése.	1 bájtos érték visszaküldése.	Azonnal, a hibajelzések törlése.

**27. ábra: A kommunikáció parancsai, jelentésük**

A leggyakrabban használt, egyben legnagyobb adatforgalmat generáló utasítás az első. A főtengely mikroszögsebesség-változásának diagnosztikai jelentősége lehet. A mikrokontroller négy fok szögelfordulás idejét méri. Az erős rezgések miatt a mérés zajos, célszerűnek tűnt több fordulat időadatainak átlagolása. A keresztmetszet szűkössége miatt az átlagolás a mikrokontrollerben történik, 10 fordulat megtétele után. A PC parancsa csak ennek megtörténte után juthat érvényre

Az A/D átalakítók változatos funkciót látnak el. A/D átalakítóba csatlakozik a vezérlőegység műszerdobozán található potenciométer, mellyel PC hiányában az előgyújtás értéke megadható. Egy másik potenciométer a porlasztótorok nyitásának mértékét méri, mely lényegileg a gázpedál állásával egyezik meg. Szintén A/D átalakítóba fut az autóba gyárilag beépített, analóg kimenettel rendelkező fogyasztásmérő.

A 3-as és 4-es parancsok a PC vezérlésének kapcsolására szolgálnak. Amennyiben PC csatlakozott a készülékhez és azon fut a megfelelő program, az előgyújtás szögét (természetesen a normál működés tartományára korlátozottan) a számítógép küldi. Ez az adat csak 10 másodpercig érvényes, érvénytelensége esetén a vezérlő az utastérben, akár a vezető által állítható, jól hozzáférhető potenciométerrel állíthatja a szöveget.

A hibakódokat tartalmazó bájt minden bitje külön hibát jelöl. Ezek a következők:

1. *Forgattyús tengely periódusidejét mérő számláló túlcsordult.* Ez esetben a motor extrém kis fordulaton jár (például indítás során), felső holtpontra gyújtást kap.
2. *Szegmensek periódusidejét mérő számláló túlcsordult.* Szintén a kis fordulat következménye.
3. *Indexjel nem mérhető.* 90-nél több osztást számolt két indexjel érkezése között. Oka lehet kontaktushiba, a kódtárcsa sérülése.
4. *Szegmensek hibásak.* Két indexjel között 90-től eltérő számú szegmensérték érkezett. Okai megegyeznek az előbbivel.

Az utolsó kettő – bár lényegileg ugyanazt jelenti – azért szerepel külön tételként, mert a program más pontján kerülnek beállításra. Így a program hibás módosítása esetén megkönnyíthetik a hibajavítást.

## **6.2. A PC oldali mérésadatgyűjtő felépítése**

A számítógép feladatát a rendszerben egy IBM T23 laptop látja el, működésének biztosítására egy boost-konverter került tervezésre és megépítése. A konverter az akkumulátor 12V-os feszültségét 16,6V-ra emeli, névleges áram 2A. A konverter a kocsiszekrényben helyezkedik el a műszerfal alatt. A laptop a kesztyűtartón kapott helyet a vezérlőegység mellett.

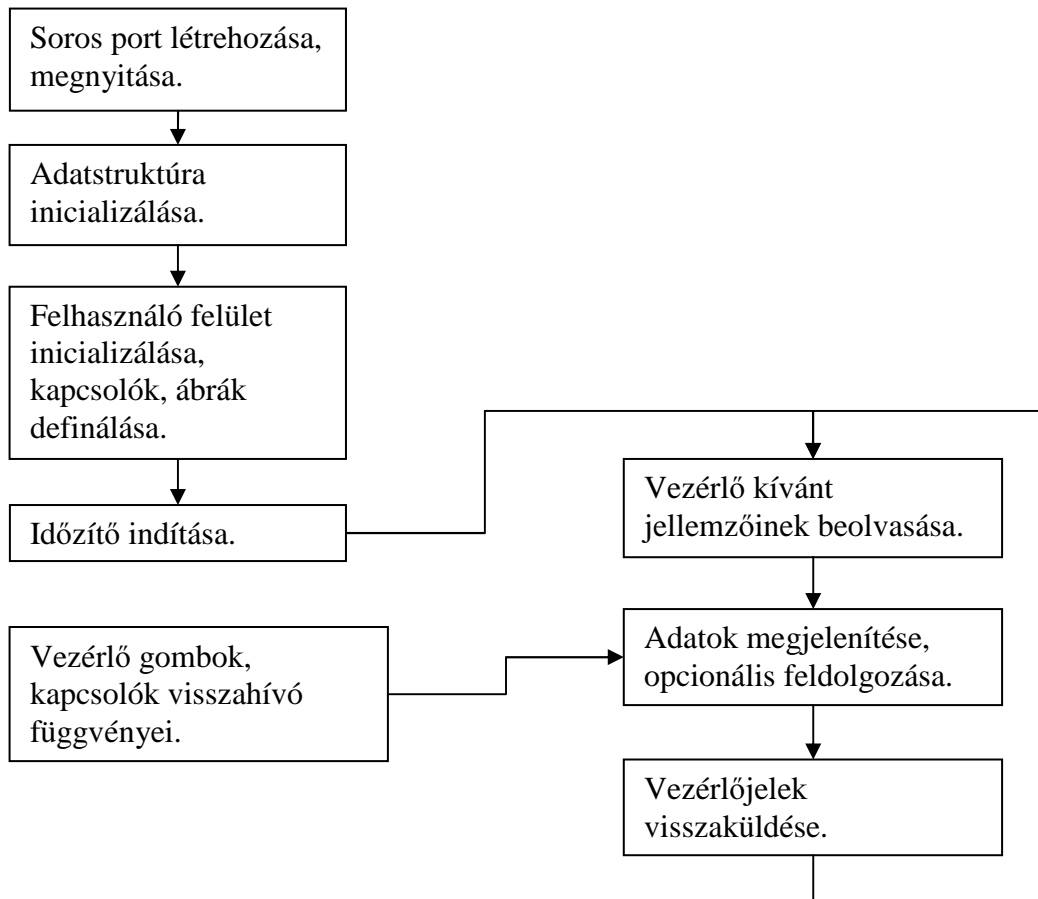
A 6.1.3 fejezetben leírt függvénystruktúra képezi a kapcsolatot a PC és a vezérlő között, mely fizikailag RS-232 szabvány szerint valósul meg. Fontos megjegyezni, hogy a vezérlőegység PC nélkül is működik.

A PC rendszerrel történő csatlakoztatásának célja a motor működési paramétereinek rugalmas, folyamatos megjelenítése. Előnye egy mikrokontrollerhez csatlakoztatott LCD-hez képest, hogy az adatok grafikusan könnyen megjeleníthetőek, menthetőek, feldolgozhatóak. Hátránya, hogy helyigényes.

A program Matlab R2010b-ben készült. A nyelv és a fejlesztőkörnyezet kiválasztásában elsődleges szempont volt, hogy a fejlesztés minél egyszerűbb, gyorsabb legyen. Ebből a szempontból ideális a környezet:

1. támogatja a felhasználói felületek létrehozását,
2. könnyen kezelhető és paraméterezhető a soros port,
3. nagyon sok adatfeldolgozó függvény előre meg van írva, használatuk könnyű,
4. az adatstruktúrák kezelése átlátható.

Sajnálatos nagy hátránya, hogy a ciklusok lassan futnak le. Ez kihat a soros port kezelésére is. Nagy figyelmet igényelt a kód egyszerűsítése, az optimális bemeneti buffer és baud rate érték meghatározása úgy, hogy minél kevesebb időt igényeljen az adatok bekérése.



**28. ábra A PC oldali vezérlőprogram főbb moduljai**

A program a soros port létrehozásával és megnyitásával kezdődik. Menete a következő:

1. Létező soros port objektumok keresése.
  - 1.1. Amennyiben nincs ilyen:
    - 1.1.1. Objektum létrehozása
  - 1.2. Amennyiben van:
    - 1.2.1. Megnyitott soros portok listázása
      - 1.2.1.1. Ha van megfelelő, átvesszük a hozzá tartozó kulcsot („handle”)
      - 1.2.1.2. Ha nincs, létrehozzuk
2. Tulajdonságok beállítása
  - 2.1. Timeout: 2 másodperc
  - 2.2. BaudRate: 57600
  - 2.3. Buffer: 1000 bájt
3. Ha zárva van a port, annak megnyitása.

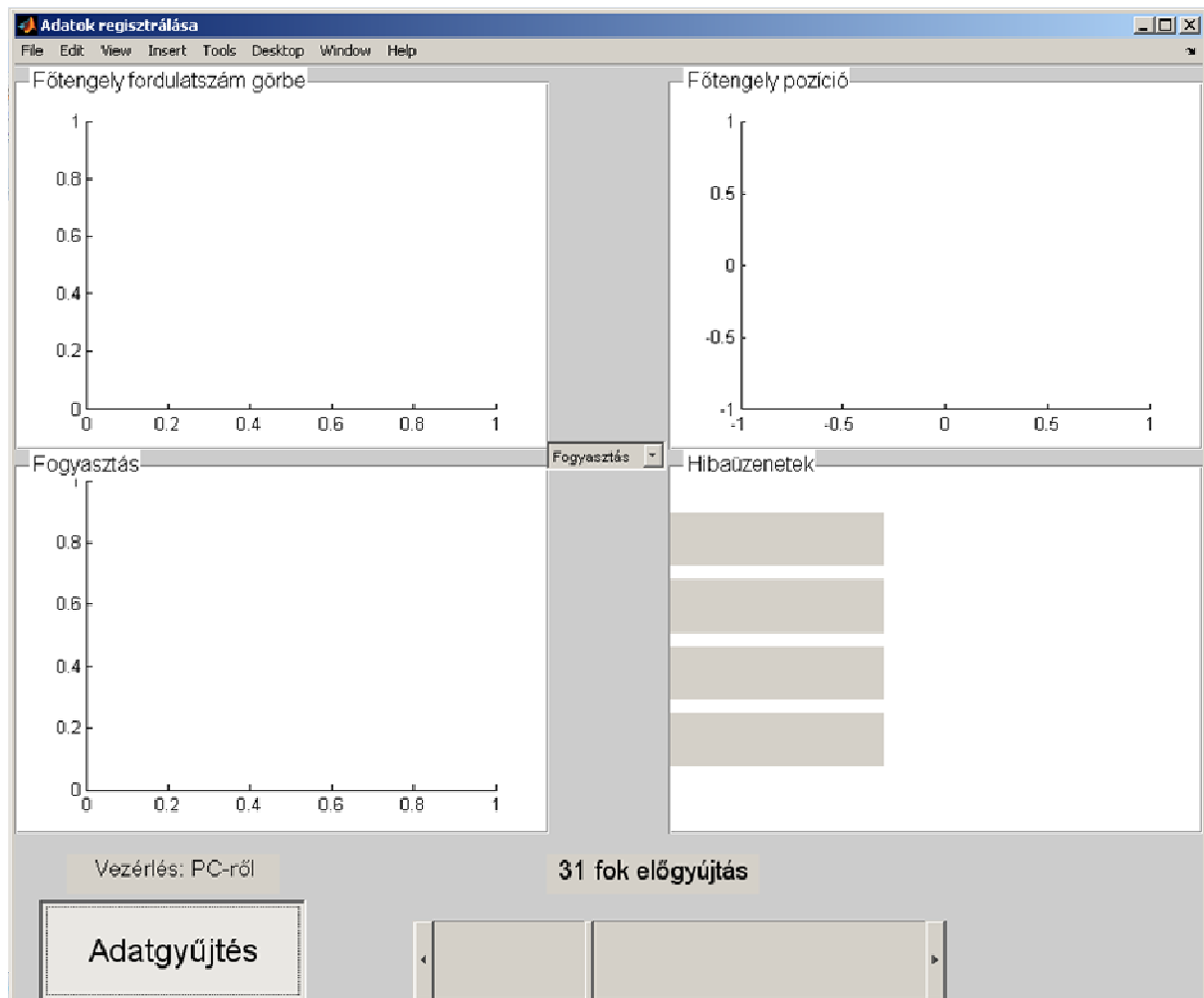


A rutin sikeressége esetén a program felépíti az adatstruktúrát és az ablak elemeit. Az adatok egy struktúrában vannak, neve ControlValues. Fontosabb elemeit a következő táblázat tartalmazza.

Változó	Tartalma
Control	Ha a számítógép vezérli az előgyújtást, értéke igaz.
Angle	Előgyújtás szöge
Data	90 szegmenssebesség adata
TotalTime	Egy teljes körbefordulás ideje
kmva	Fogyasztásmérő értéke
ad1	Vezérlőegységen található potméter állása (előgyújtás állítás)
ad2	Gázpedál állása

**29. ábra: A program főbb változói, jelentésük**

A ciklikus végrehajtásról egy időzítő gondoskodik, periódusideje fél másodperc. Minden másodpercben kétszer meghívja a 28. ábra jobb oldalán látható rutint. Ha annak kiértékelése fél másodpercnél hosszabb, nem épít várakozási sort. A periódusidő beállítása úgy történt, hogy a ciklus időráhagyással végrehajtható legyen az adott periódusidővel.



**30. ábra: A kezelőfelület (ide majd működés közbeni ábra jön)**

A program elindításakor a kezelőfelület válik láthatóvá. Négy ablakra van osztva, ezek:

1. *Főtengely fordulatszám görbe.* A 10 fordulatból átlagolással előállított 90 időadatból származik. A főtengely egy fordulatra eső szögsebességeit látjuk 4 fokos felbontással.
2. *A főtengely aktuális pozíciója.* A kódtárcsa pozíciójának beállítását segíti, lehetővé teszi elcsúszásának ellenőrzését a motortér megbontása nélkül.
3. *Választható megjelenítés.* A középső legördülő menüvel választható.
  - 3.1. A motor fordulatszámának görbéje
  - 3.2. Fogyasztás alakulása
  - 3.3. Gázpedál állása
4. *Hibaüzenetek.*
  - 4.1. Indexjel hibás
  - 4.2. Szegmensek mérése hibás

4.3. Főtengely periódusidő nem mérhető, számláló túlcsordulás

4.4. Szegmensek időadata nem mérhető, számláló túlcsordulás

Az alsó sarokban elhelyezett bal oldali kapcsoló az adatgyűjtést, a kommunikációt indítja. Kikapcsolásakor az adatok automatikusan mentésre kerülnek. A jobb oldali csúszka segítségével egy fix előgyűjtésértéket lehet beállítani, mely a mérés során módosítható.

## 7. Az elkészített berendezés gyakorlati alkalmazásainak lehetőségei

Az elkészült hardver és programja lehetőséget biztosít az adott járművön a motor valós idejű paramétereinek mérésére, azok tárolására, illetve a motor gyújtásának dinamikus szabályozására, ezt megvalósító algoritmusok tesztelésére.

A készülék használata során több tapasztalatot gyűjtöttem az adott motorról. A teljesség igénye nélkül, saját észlelések alapján ezek a következők.

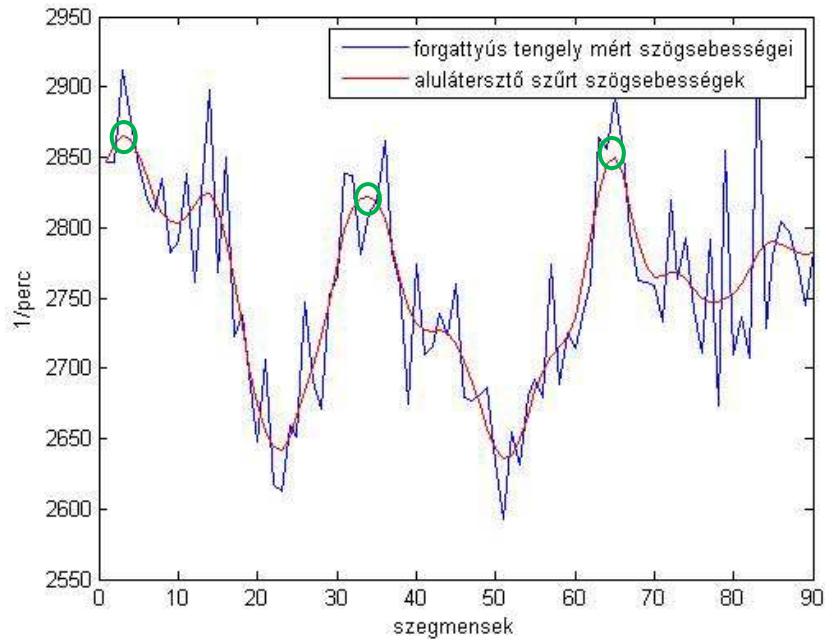
1. A gyári,  $22^\circ$ -os előgyújtás széles működési tartományban ( $1500 \frac{1}{min}$ -től  $5000 \frac{1}{min}$ -ig) megfelelő, de csak szűk tartományban nevezhető optimálisnak. A működési tartomány az alacsony és a magas fordulatszámok irányába jelentősen kibővíthető az előgyújtás szögének változtatásával.
2. Alacsonyabb sebességi fokozatokban (1-es, 2-es) kisebb fordulatszámok esetén ( $1300 \frac{1}{min}$ -nél kisebb) kedvező a nagy előgyújtás. Az előgyújtás  $30^\circ$ -os értékre való növelése esetén a motorból egyébként jellegzetes, sípoló hangot hallható, minimális teljesítménnyel járó égési tökéletlenség megszűnik, a leadott nyomaték érezhetően nagyobb.
3. Nagy nyomaték (jellegzetesen 4-es sebességfokozatban gyorsításkor vagy emelkedőn) közepes fordulatszámon ( $2500 \frac{1}{min}$ , és  $4000 \frac{1}{min}$  között) az egyébként elméletileg kedvezőbb nagyobb előgyújtás  $20^\circ$  fölött csörgést eredményez. Ez a teljesítmény hirtelen visszaesésével, az égés minőségének romlásával, tartós használat esetén a motor károsodásával jár. A jelenség az előgyújtás  $4-6^\circ$ -os csökkentésével, vagy a benzin-levegő keverék dúsításával megszüntethető.

A készülék elkészítésének és a mérések végső célja az égés minőségének javítása volt az adott motorban. Ennek a megvalósításához több úton indulhatunk el, lehet az a teljesítmény maximalizálása, a fogyasztás, vagy a károsanyag-kibocsátás minimalizálása. A végső cél ezek közös optimumának meghatározása. A mérések történhetnek fékpadon állandó külső és belső paraméterek között, a motor állandósult állapotában, ennek hiányában közúti közlekedésben. Utóbbi esetben ügyelni kell az útvonal és a mérési időpont megválasztására

úgy, hogy a mérést befolyásoló paraméterek lehetőleg állandók maradjanak a mérések között. A következő méréseket végezhetjük el.

1. *A teljesítmény maximalizálása.* Különböző előgyújtási szöghelyzet esetén felvesszük az egyes leadott nyomatékokhoz tartozó optimális előgyújtás értékét.
2. *A fogyasztás minimalizálása.* A készülék által mért pillanatnyi fogyasztás segítségével a cél egy globális fogyasztás–optimum megkeresése, melyben a hosszabb távú járműmozgásokhoz tartozó minimális fogyasztást eredményező beállítást kell megtalálni.
3. *A károsanyag–kibocsátás minimalizálása.* Speciális mérőműszert igényel, kivitelezése fékpadon lehetséges. Városi közlekedés során azonban e nélkül is csökkenthető a károsanyag–kibocsátás. Az alapjáratra vonatkozó egybehangzó mérési eredmények alapján ugyanis az előgyújtás csökkentésével a szén–monoxid és a nitrogén–oxidok kipufogógázban megjelenő részaránya jelentősen csökken.

A készülék méri a forgattyús tengely egy munkaciklus, kétütemű motor esetében tehát egy fordulat alatti szögsebesség–változását  $4^\circ$ -os felbontással (31. ábra). A már idézett munkában (**Bártfai, Zoltán.** *Belsőégésű motorok mikrofolyamatainak analízise a gépiüzemeltetés céljából.* (1)) a szerző kétütemű dízelmotorok vizsgálata során a leadott nyomaték és a motor (a készülék által is mért) mikroszögsebesség–változása között egyértelmű összefüggésre mutatott rá. Ennek alkalmazhatósága a későbbiekben vizsgálat tárgyát képezi. Fontos megjegyezni, hogy az említett paraméter minden motor esetében egyedi, általánosításra nem alkalmas. Mivel a készülék az adott motorra készült, egyedi darab, alkalmazhatóságának tanulmányozása indokolt.



**31. ábra: A forgattyús tengely szögsebessége egy fordulat alatt, 4°-os felbontásban**

A 31. ábra látható kék görbe a forgattyús tengely szögsebességének változása. A piros görbe a Fourier-transzformált alapján megállapított harmadik felharmonikushoz illesztett töréspontú Butterworth aluláteresztő szűrővel került szűrésre. Jól látszik, hogy a sebességmaximumok (zöld kör) az 5., 35. és 65. szegmensnél találhatóak, a három hengernek megfelelően szimmetrikusak. Ezek megfelelnek a felső holtpont utáni sebességmaximumoknak. A görbe lehetőséget biztosít az egyes hengerek hibájának detektálására is.

## 8. Konklúzió

Elkészített munkám eredményei a következő pontokban foglalhatóak össze.

- Elkészült egy, az adott háromhengeres, kétütemű benzinmotor főtengelyéhez illeszkedő optikai érzékelő. Az érzékelő segítségével a főtengely szögelfordulása négy fokos pontossággal ismert.
- A hagyományos, gyári gyújtás működőképes megtartásával, annak felhasználásával elkészült a gyújtótranszformátorok vezérlését végző egység.
- Az elkészült vezérlőegység az előgyújtás szögét pontosan időzíti a transzformátor fogyasztásának minimalizálása mellett. Méri a főtengely egy munkaciklus alatti mikroszögsebesség-változását, a porlasztó szívótorok nyitását, és a benzinfogyasztást, a mért értékeket PC felé továbbítja.
- A PC-n futó program megjeleníti a mért eredményeket, a vezérlő által észlelt hibákat, a mért eredményeket menti. Mérés során a kívánt előgyújtási szög állítható így könnyítve az egyes működési tartományok optimális előgyújtásának a mérését.
- Tesztelés céljából a PC-s szoftverbe könnyen beépíthetőek algoritmusok, melyek a mért eredmények felhasználásával állítják az előgyújtás értékét.
- Dolgozatom végén ismertetem eddigi tapasztalataimat, javaslatot teszek a készülék alkalmazásaira, az optimális előgyújtás megkeresésének módjaira.

## 9. Irodalomjegyzék

1. **Bártfai, Zoltán.** *Belsőégésű motorok mikrofolyamatainak analízise a gépiüzemeltetés céljából.* 2001.
2. **Dr. Dezsényi, György, Dr. Emőd, István és Dr. Finichiu, Liviu.** *Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata.* Budapest : Nemzeti Tankönyvkiadó, 1999.
3. **Dr. Csubák, Tibor.** *Programozható irányítóberendezések és szenzorrendszerek.* Budapest : oktatási segédlet, 2008.
4. *Javítási kézikönyv a Wartburg 353W típusú személygépkocsihoz.* Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 1979.
5. **Dr. Rajki, Imre.** *Autóvillamosság. Oktatási segédlet.*
6. **Atmel, Co.** *XMEGA A Manual.* San Jose : Atmel, Co., 2009.
7. **MathWorks, Inc.** *Matlab 2010 Documentation.* Natick, MA, USA : MathWorks Inc., 2010.