

## Hajtásvezérlő áramkörök

### (Fő hajtás vezérlője)

Követelmények:

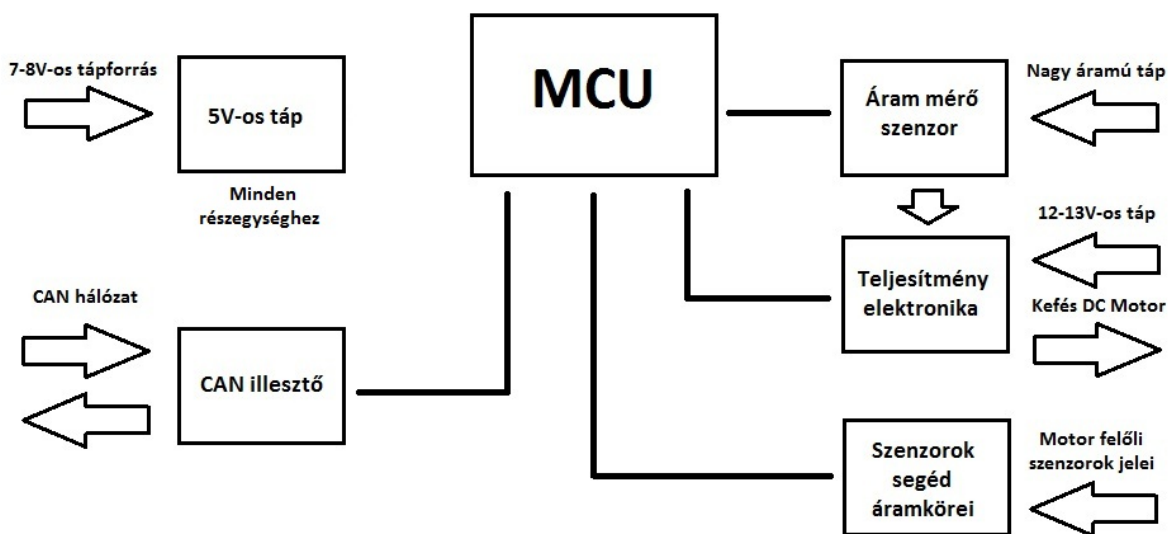
- Motoronként max. tartós 25A-es terhelhetőség, max. 18V-os kapocsfeszültség.
- A motorok tápja galvanikusan elválasztott legyen a beágyazott rendszerek tápjától.
- 90% feletti hatásfok, a mobilitás megtartása végett.
- Védve legyen a tranziensek és az elektromágneses zajok ellen.
- Beépített tápegység a beágyazott rendszer számára
- Tudja mérni a motorok teljesítményét, fordulatszámát, hőmérsékletét.
- CAN kommunikáció, min. fél duplex üzemmódban.
- Önálló szabályozási rendszert alkosson.

Energiaellátás:

- 7-8V (max. 3A) a beágyazott rendszereknek
- 12-13V (max. 5A) a beágyazott rendszereknek
- 12-17V a meghajtó motoroknak (max. 100A)

Megvalósítás:

Ezen követelmények betartásához igen komplex perifériát kell alkotni, amely tartalmaz kis teljesítményű feszültség szabályozót, CAN szintillesztőt, mikrokontrollert, H-hidakat. A visszamérési feladatok ellátásához tartalmaznia kell hőmérséklet szenzorokat, optocsatolókat, HALL-elemes áram szenzorokat.



Hajtásvezérlő áramkör általános blokkvázlata (0.ábra)

## Tápegység

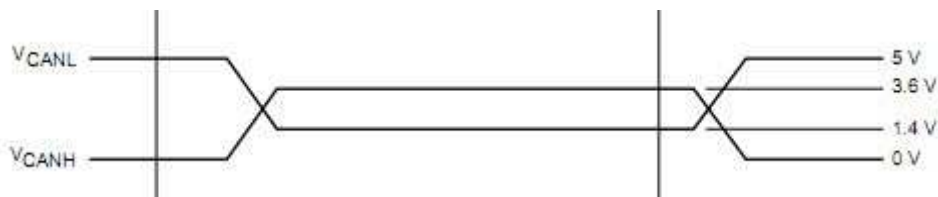
A kis teljesítményű tápegység megtervezésénél figyelembe kell venni a periférián belül alkalmazott alkatrészek áramfelvételét és tápfeszültség igényét. Először is nézzük meg hogy melyik az a feszültség, amelyen a legtöbb alkatrész működőképes. Mivel 5V-os tápfeszültséggel az összes általam használt alkatrész működőképes, így már csak a felvett áram kiszámítása van hátra. Adjuk össze az alkatrészek maximális áramfelvételét. Az adatokat az adatlapokban megadott max. értékekből és az ohm törvényből adódóan írom:

CAN illesztő (1db):	max.: 27mA	typ.: 17mA
FET meghajtó optók (2db):	max.: 20mA	typ.: 10mA
Áram szenzor (2db):	max.: 70mA	typ.: 60mA
Mikrokontroller (1db):	max.: 50mA	typ: 20mA
Hőszenzor (4db):	max.: 20mA	typ: 20mA
Optocsatolók (2db):	max.: 10mA	typ: 9mA

A maximális áram, amit a tápnek tudnia kell:  $\sim 197\text{mA}$ , és a nagy valószínűséggel stacionárius áram:  $136\text{mA}$ . Ezekből az adatokból jól látszik, hogy min.  $200\text{mA}$ -es csúcsáramra kell tervezni  $5\text{V}$ -os tápfeszültség mellett. A nyers tápforrás min.  $7\text{V}$  feszültségű, amely a terhelések függvényében kis mértékben változhat és zajokat is tartalmazhat. Emiatt erre a célra megfelel egy áteresztő tranzistoros lineáris feszültség szabályzó, amely kevesebb, mint  $2\text{V}$ -os Low-dropout feszültséggel rendelkezik és képes tartósan  $0,3\text{W}$ -ot eldisszipálni. Ezen követelményeknek eleget tesz a 7805-ös típusjelű IC, amelyből a TO-220-as tokozás ideális erre a célra. (Ez tartósan  $1\text{A}$ -es meghajtó áramot képes leadni.) Mivel ezen IC dropout-ja kb.  $\sim 2\text{V}$ , emiatt ha nagyobb árammal terhelnénk, ( $I > 0,5\text{A}$ ) abban az esetben érdemes lenne vagy  $7\text{V}$ -nál nagyobb nyers feszültséget előállítani, vagy más regulátort választani. Mivel itt most kevesebb, mint  $200\text{mA}$ -rel lesz tartósan terhelve így kellőképp jól működik még ez a feszültség szabályzó IC. És max.  $0,4\text{W}$ -ot kell eldisszipálnia, vagyis nem szükséges hűtőborda sem a számára, mivel ezt a hővé alakuló teljesítményt a tokozás és a NYÁK levegővel érintkező része tartósan képes elvezetni. Azonban szűréseket kell alkalmazni, mind a bemeneti, mind a kimeneti oldalán. A bemeneti oldalon a kisméretű szűrésért  $1\text{db } 16\text{V}/100\mu\text{F}$ -os ELKÓ felel, amellyel párhuzamosan az áramkörben még található  $1\text{db } 10\mu\text{F}$ -os ELKÓ is a CAN illesztő megfelelő kivezetéseinek is. Ennek a feladata ugyancsak a kisméretű feszültség lengések szűrése. A regulátort védeni kell a nyers tápból érkező nagyfrekvenciás zajok ellen, ezt a célt szolgálja a bemeneten található  $100\text{nF}$ -os kapacitású tantál vagy kerámia kondenzátor. (Az első próbamérés után mérlegelni kell, hogy kell-e komolyabb tápszűrés a nyers táp felőli oldalról.) III. a nagyfrekvenciás gerjedés megakadályozására a kimenet és GND közé egy  $10\text{-}100\text{nF}$ -os értékű tantál vagy kerámia kondenzátort kell helyezni. A kimeneten elhelyezett  $6,3\text{V}/10\mu\text{F}$ -os kapacitású kondenzátor puffer feladatot tölt be, ezzel is csökkentve a stabil  $5\text{V}$ -os tápon fellépő AC komponens értékét.

## Kommunikáció (CAN )

Folytassuk a TJA1054A típusjelű CAN illesztő IC-vel, amelynek annyi a feladata, hogy a mikrokontroller soros adatvonalait illeszti a CAN vezetőpárra, amely egy differenciális érpár (1. ábra), emiatt elektromos zavarok elleni védeltsége igen magas. Az IC mindemellett védelmet is nyújt az adatvonalakon fellépő zavarok és nem kívánatos impulzusok ellen. (ESD védett, rövidzár védett.) Maga a CAN kommunikációt a mikrokontroller látja el, amelynek van beépített hardverszintű CAN perifériája. A szintillesztő képes jelezni a mikrokontrollernek, ha a CAN vezetőpáron hibás (nem kiértékelhető) jelek jönnek. A CAN illesztő beépített áramgenerátorokkal képes folyamatosan meghajtani a CAN vonalakat, amennyiben az szükséges. (Ez a funkció vezérelhető.)



**1. ábra Differenciális CAN vonalszintek**

A CAN kommunikáció a későbbiekben még bővebben ki lesz fejtve. Így ebben a részben nem is tárgyaljuk részletesebben.

## Mikrokontroller

A mikrokontroller kiválasztási szempontokat figyelembe véve a hardveres CAN támogatás miatt eléggé leszűkül a kör. Én a Microchip által forgalmazott PIC-ekből választottam ki a 18F25K80-as kontrollert, mivel ez rendelkezik megfelelő perifériákkal. (CAN, A/D, elegendő I/O kivezetés.)

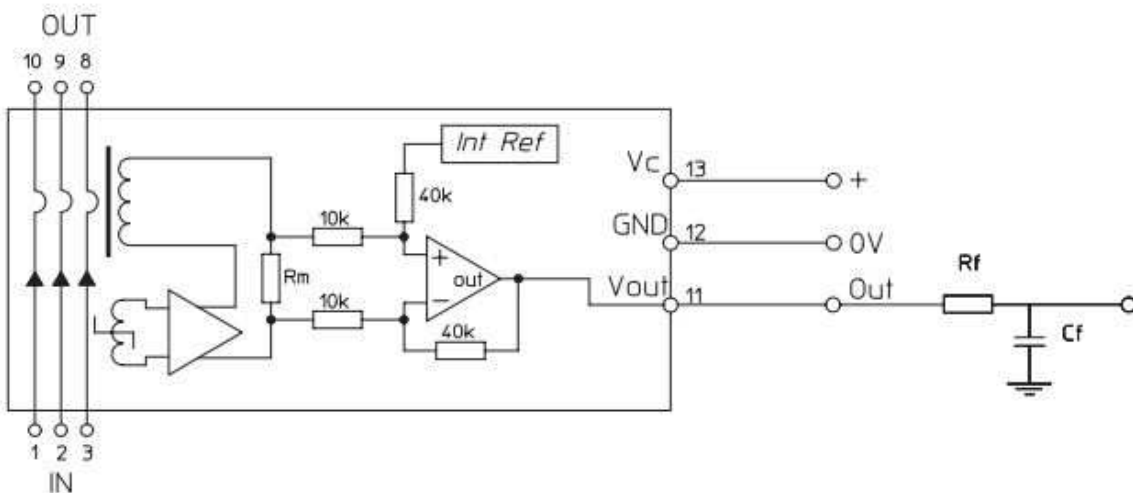
A mikrokontroller feldolgozza a CAN adatvonalon érkező utasításokat, majd nyugtázza és végrehajtja azokat. 2 üzemmódban működhet, mint végrehajtó, és mint adat küldő. Az első üzemmódban a fő irányító felől vett adatok alapján vezérli a motorokat. (PID algoritmus alapján PWM modulációval.)

Amennyiben adatküldő üzemmódban működik, abban az esetben pedig elküldi a kért adatokat. (Hőmérsékletet, megtett út, pill./max. teljesítmény, aktuális fordulatszám...stb.)

A forráskódot assemblyben készül, amelynek a részletezésére a terjedelmi korlátok miatt most nem térünk ki.

## Motor áram mérés

Az áram szenzor rövid bemutatása következik. A motorok pillanatnyi teljesítményméréséhez szükséges ismernünk a motorok által felvett áramokat is. Ehhez a LEM cég CAS25-NP szériájú NYÁK-ra szerelhető HALL szenzoros árammérő egységeit alkalmazzuk. Ezen szenzorok nagyon jó eszközök, mivel rengeteg hasznos tulajdonságot ötvöznek egy kicsi és kompakt eszközben. Galvanikusan el van választva a mért és a mérő hálózat. Tartalmaznak 3db 0,72mohm impedanciájú tekercset, amelyeket 3 különböző módon lehet bekötni, ezzel variálva a beépített mérőfokozat érzékenységét. Jelen esetben párhuzamosan vannak bekötve, vagyis 0,24mohm-os impedanciával jelentkeznek a nagy áramú körökben. Vagyis ha 25A-es csúcsárammal számolunk (1 motornál), akkor is csupán 6mV feszültség esik rajta, amelyből következik, hogy az eldisszipált teljesítménye is igen csekély. (0,15W, ebbe még nincs benne a mérőfokozat által eldisszipált teljesítmény.) Maga a beépített mérőfokozat tartalmaz egy áramváltót és egy HALL szenzort. A HALL szenzor egy erősítőfokozat után egy  $R_m$  jelölésű ellenálláson keresztül kompenzálja az áramváltó áramát. Majd egy különbségképző áramkör felerősíti az  $R_m$  ellenálláson eső feszültséget, amely természetesen arányos a nagy áramú körben folyó árammal. Ennek a különbségképző fokozatnak a kimeneti jele ki van vezetve a tokból és 2,5V+-2,5V feszültséget szolgáltat a GND-hez képest, a nagy áramú körben folyó +-25A-es árammal arányosan. Vagyis 0A-nél a kimeneti feszültség 2,5V. Az adatlapi ajánlás alapján a kimeneti analóg jel szűrve van egy soros RC taggal, amelyek stabilabbá teszik a mikrokontroller által feldolgozandó analóg jelet.



2. ábra LEM CAS XX-NP blokkdiagram és analóg RC szűrő tag bekötés

## Teljesítmény elektronika

Akkor most nézzük meg a motorvezérlő H-hidakat. Ha tartani akarjuk az összesített 90% feletti hatásfokot, akkor alacsony maradékfeszültségű alkatrészekkel felépített H-hidakat kell választani erre a célra. Mivel a hasonló teljesítményű hajtásokhoz képes, itt alacsonyabb a kapocsfeszültség és ezzel arányosan nagyobb az áram, ebből következik, hogy minél ideálisabb kapcsolóeszközt találunk a célra, annál jobb hatásfokot érünk el. Szóba jöhetnek ekkora áramoknál az IGBT-k, relék, MOSFET-ek. Az IGBT-k kollektor-emitter szaturációs feszültsége meglehetősen magas, emiatt nagy teljesítményt kellene hő formájában eldisszipálniuk. A relék mechanikai kontaktusokkal rendelkeznek, amelyeknek korlátozott a kapcsolási számuk és önmagukban egyébként sem alkalmazhatóak az alacsony kapcsolási sebességük miatt, mert akkor nem lehetne a fordulatszámot kellőképpen szabályozni. Hibrid megoldás lehetséges lenne erre a célra, amely egy H-hidas relét és 1db IGBT-t vagy 1db MOSFET-et tartalmazna. Egy elég pontatlan adatokat tartalmazó összehasonlítás következik, amelyből azért látszik, hogy melyik hidat érdemes erre a célra választani.

Típus	IGBT H-híd	MOSFET H-híd	Relé H-híd + MOSFET
Megnevezés	Vincotech P624-F24	2db IRFR 3711Z és 2db IRLR2705	Tyco_EC_V23_078 + IRFR 3711Z
Usat. /IGBT	1,1V		
Rds(on)/MOS-FET		5,7mohm; 40mohm	
Usat. /relé kontaktus			37.5mV
$\Sigma U \text{ sat.}$	2,2V	1,1425 V	0,2175V
$\Sigma P$	55W	28,5625 W	5,4375W
P motor	345W	371.4W	394,6W
Hatásfok (híd)	86,25%	92,85%	98,60%

T: 25°C
Vgs = Vce: 15V
I: 25A
U: 16V

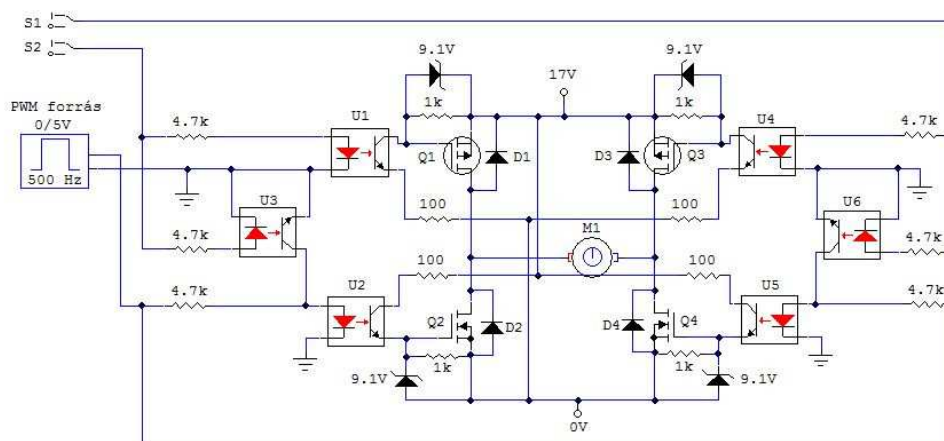
Megjegyzés: A hatásfoknál a meghajtó fokozatok figyelmen kívül vannak hagyva

### 3. ábra H-híd kiválasztási szempontok

A fő kiválasztási szempontot ennél az eszközknél a hatásfok határozza meg. Minél magasabb ez a tényező, annál kisebb teljesítményt kell feleslegesen eldisszipálni. Ebből következik, hogy annál egyszerűbb jó konstrukciót, magasabb üzemidőt elérni (nem kell aktív hűtés és nagy hűtőfelület)(4.ábra). Még egy lehetséges megoldás lenne, ha a hidakban csak N csatornás MOSFET-eket használnánk, akkor a relés és a MOSFET-es híd hatásfoka már nagyjából megegyezne, viszont ez a megoldás a motorok tápjaitól magasabb feszültséget is igényelne (a híd felső MOSFET-jeinek teljes kinyitásához). Ez a plusz tápigény rengeteg hátrányt hoz magával, emiatt ezt a megoldást itt most elvetettük. (5. ábra)

TÁPZÁRLAT ELLEN VÉDETT N és P CSAT. MOSFET-EKBŐL FELÉPÍTETT H-HÍD  
BY BANKIMAJKI

U1-U6 mind egyforma típus, minél gyorsabb, annál jobb.  
Q1-Q3; Q2-Q4 egyforma típusú, minél kisebb az RDSon-juk,  
annál kisebb a rajtuk eső fesz. --> jobb a hatásfok.  
D1-D4 a motor induktív feszültséglöketeitől véd.  
Általában 1N4007-es típusú diódák megfelelnek erre a célra.

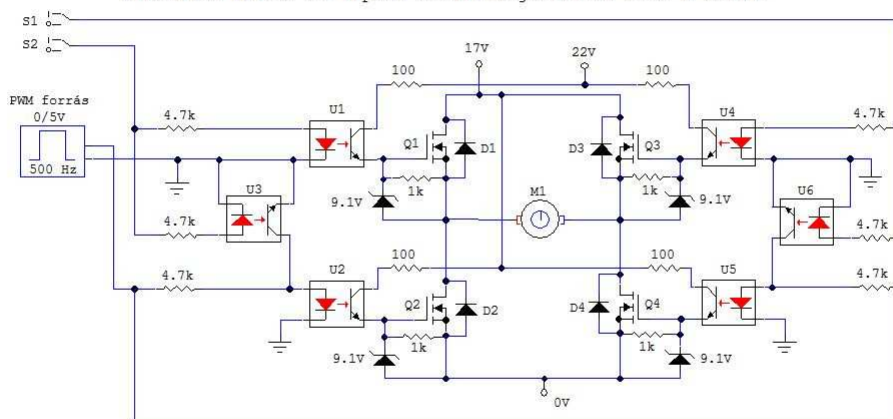


Vezérlés(motor)	S1	S2	PWM
egyik irány	0	1	0-100%
másik irány	1	0	0-100%
fék	1	1	nem számít
szab. fék	0	0	0-100%

4. ábra N és P csatornás MOSFET-ekkel felépített H-híd

TÁPZÁRLAT ELLEN VÉDETT N-CSAT. MOSFET-EKBŐL FELÉPÍTETT H-HÍD  
BY BANKIMAJKI

A híd felső FET-jeinek kellő meghajtásához min. 5V-tal magasabb feszültség kell, mint a táp.  
U1-U6 mind egyforma típus, minél gyorsabb, annál jobb.  
Q1-Q4 mind egyforma, minél kisebb az RDSon-juk, annál jobb a hatásfok.  
D1-D4 a motor induktív feszültséglöketeitől véd.  
Általában 1N4007-es típusú diódák megfelelnek erre a célra.

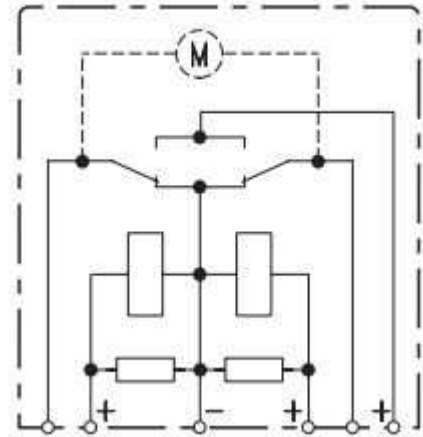


Vezérlés (motor)	S1	S2	PWM
egyik irány	0	1	0-100%
másik irány	1	0	0-100%
fék	1	1	nem számít
szab. fék	0	0	0-100%

5. ábra N csatornás MOSFET-ekkel felépített H-híd

Akkor térjünk is rá a hibrid megoldás (relé+MOSFET) bemutatására.

A felhasznált relé (6.ábra) 2 tekercssel rendelkezik, és úgy van kialakítva, hogy helyes bekötés esetén mechanikailag kizárja a tápzárlat lehetőségét, ami nagyban megnöveli az üzembiztonságot. Ez a relé a Tyco cégcsoport által forgalmazott nagyon magas minőségű alkatrész, amelyet kifejezetten gépkocsik ablakemelő motorjaihoz fejlesztettek ki. Ebből következik, hogy a meghúzó tekercsek 12V kapocsfeszültségűek. Az adatlapban közölt paraméterek alapján a meghúzó tekercsek 1,3W/tekercs teljesítményt disszipálnak el. Ami miatt az összesített hatásfok igen jó marad.



**6.ábra Relé belső felépítése**

Sorosan a negatív ágba kiegészítve egy N-csatornás MOSFET-tel megvalósul egy szabályozható teljes híd, vagyis a motorok mindkét irányba fokozatmentesen szabályozhatóak lesznek. A relé kontaktusainak élettartam növelése és a motorok, ill. a mechanika élettartamának növelése valamint a fő táp csúcsáramainak csökkentése érdekében szoftveresen meg kell oldani, hogy a FET nyitó irányú vezérlése csakis a relé helyes vezérlése után valósulhasson meg.

### **Összesítés erről a perifériáról**

Mivel a periféria még csak tervezési fázisban van, így nem lehet konkrét paramétereket írni. De elég jól megbecsülhető hogy mennyire fog megfelelni az elvárásoknak. A számítások alapján az összesített hatásfok 90% felett marad, vagyis az előzetes követelményeknek megfelel. Az üzembiztonság is kellően magas szinten marad, hiszen a kritikus pontok (H-híd, kommunikáció ) kompakt és az iparban is már jól bevált eszközök. Mivel elég szűkös a hely és az eldisszipálható teljesítmény, emiatt felületszerelt alkatrészekkel és kellően kompakt méretben kell megtervezni a NYÁK-ot. Mivel a kereskedelemben kapható 35 mikronos rézvastagsággal rendelkező NYÁK-ok ~1A/mm-es áramsűrűséggel terhelhetőek, emiatt rendkívül vastag vezetősávokat kellene alkalmazni a teljesítményelektronikai részekenél. Ezt elkerülve galvanikus rézvastagítással megnöveljük a rézréteg vastagságát min. 100mikronra. Ekkor már lényegesen vékonyabb vezetősávot kell alkalmazni és a MOSFET-ek hőelvezetése is hatékonyabbá válik a NYÁK-on. A periféria deszkamodellje vasalásos technikával lesz elkészítve, majd az első tesztek után, ha minden jól működik, akkor lehet jobb minőségben külső céggel legyártatni.

A deszkamodell költségvetése megközelítőleg 25000Ft/2 motor.

**Megjegyzés:** A csatolt fájlban megtalálható az IGBT modullal megtervezett periféria kapcsolási rajza.

Az itt közölt dokumentum elkészülésekor viszont a jobb hatásfok miatt a relé+MOSFET verzió lett bemutatva. (Az összes többi részegység megegyezik.)