Általános információk

A diplomaterv szerkezete:

1. Diplomaterv feladatkiírás
2. Címoldal
3. Tartalomjegyzék
4. A diplomatervező nyilatkozata az önálló munkáról és az elektronikus adatok kezeléséről
5. Tartalmi összefoglaló magyarul és angolul
6. Bevezetés: a feladat értelmezése, a tervezés célja, a feladat indokoltsága, a diplomaterv felépítésének rövid összefoglalása
7. A feladatkiírás pontosítása és részletes elemzése
8. Előzmények (irodalomkutatás, hasonló alkotások), az ezekből levonható következtetések
9. A tervezés részletes leírása, a döntési lehetőségek értékelése és a választott megoldások indoklása
10. A megtervezett műszaki alkotás értékelése, kritikai elemzése, továbbfejlesztési lehetőségek
11. Esetleges köszönetnyilvánítások
12. Részletesés pontos irodalomjegyzék
13. Függelék(ek)

Felhasználható a következő oldaltól kezdődő Diplomaterv sablon dokumentum tartalma. Ügyeljen a konzulens nevét és a beadás évét jelölő szövegdobozokra, mert azokra külön ki kell adni a frissítést. A mezők tartalma a sablonban a dokumentum adatlapja alapján automatikusan kerül kitöltésre.

A diplomaterv szabványos méretű A4-es lapokra kerüljön. Az oldalak tükörmargóval készüljenek (mindenhol 2,5 cm, baloldalon 1 cm-es kötéssel). Az alapértelmezett betűkészlet a 12 pontos Times New Roman, másfeles sorközzel.

Minden oldalon – az első négy szerkezeti elem kivételével – szerepelnie kell az oldalszámnak.

A fejezeteket decimális beosztással kell ellátni. Az ábrákat a megfelelő helyre be kell illeszteni, fejezetenként decimális számmal és kifejező címmel kell ellátni. A fejezeteket decimális aláosztással számozzuk, maximálisan 3 aláosztás mélységben (pl. 2.3.4.1.). Az ábrákat, táblázatokat és képleteket célszerű fejezetenként külön számozni (pl. 2.4. ábra, 4.2 táblázat vagy képletnél (3.2)). A fejezetcímeket igazítsuk balra, a normál szövegnél viszont használjunk sorkiegyenlítést. Az ábrákat, táblázatokat és a hozzájuk tartozó címet igazítsuk középre. A cím a jelölt rész alatt helyezkedjen el.

A képeket lehetőleg rajzoló programmal készítsék el, az egyenleteket egyenlet-szerkesztő segítségével írják le.

Az irodalomjegyzék szövegközi hivatkozása történhet a Harvard-rendszerben (a szerző és az évszám megadásával) vagy sorszámozva. A teljes lista névsor szerinti sorrendben a szöveg végén szerepeljen (sorszámozott irodalmi hivatkozások esetén hivatkozási sorrendben). A szakirodalmi források címeit azonban mindig az eredeti nyelven kell megadni, esetleg zárójelben a fordítással. A listában szereplő valamennyi publikációra hivatkozni kell a szövegben. Minden publikáció a szerzők után a következő adatok szerepelnek: folyóirat cikkeknél a pontos cím, a folyóirat címe, évfolyam, szám, oldalszám tól-ig. A folyóirat címeket csak akkor rövidítsük, ha azok nagyon közismertek vagy nagyon hosszúak. Internet hivatkozások megadásakor fontos, hogy az elérési út előtt megadjuk az oldal tulajdonosát és tartalmát (mivel a link egy idő után akár elérhetetlenné is válhat), valamint az elérés időpontját.

Fontos:

* a szakdolgozat készítő/diplomatervező nyilatkozata (a jelen sablonban szereplő szövegtartalommal) kötelező előírás Karunkon, ennek hiányában a szakdolgozat/diplomaterv nem bírálható és nem védhető!
* mind a dolgozat, mind a melléklet maximálisan 15 MB méretű lehet!

Jó munkát, sikeres szakdolgozat készítést, ill. diplomatervezést kívánunk!

FeladatkiÍrás

A feladatkiírást a tanszék saját előírása szerint vagy a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a tanszéki pecséttel ellátott, a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni a leadott munkába, vagy a tanszékvezető által elektronikusan jóváhagyott feladatkiírást kell a Diplomaterv Portálról letölteni és a leadott munkába belefűzni (ezen oldal HELYETT, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell megismételni a feladatkiírást.

C:\Users\szarnyasg\Downloads\bme_logo_nagy.eps

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

IEEE1588 óraszinkronizáció FPGA-val

Készítette

Slezsák TamásKonzulens

Lazányi János

2014

Tartalomjegyzék

[Összefoglaló 7](#_Toc402985704)

[Abstract 8](#_Toc402985705)

[1. Bevezető 9](#_Toc402985706)

[1.1. A Precesion Time Protocol üzeneti 10](#_Toc402985707)

[2. Hardveres környezet 12](#_Toc402985708)

[4. Bevezetés 16](#_Toc402985709)

[4.1. Formázási tudnivalók 16](#_Toc402985710)

[4.1.1. Címsorok 16](#_Toc402985711)

[4.1.2. Képek 16](#_Toc402985712)

[4.1.3. Táblázatok 16](#_Toc402985713)

[4.1.4. Kódrészletek 16](#_Toc402985714)

[4.1.5. Irodalomjegyzék 17](#_Toc402985715)

[4.1.6. Margók 17](#_Toc402985716)

[5. Utolsó simítások 18](#_Toc402985717)

[6. Összefoglalás 19](#_Toc402985718)

[Köszönetnyilvánítás 20](#_Toc402985719)

[Ábrák jegyzéke 21](#_Toc402985720)

[Táblázatok jegyzéke 22](#_Toc402985721)

[Irodalomjegyzék 23](#_Toc402985722)

[Függelék 24](#_Toc402985723)

Hallgatói nyilatkozat

Alulírott , szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2014. 11. 15.

Slezsák Tamás

# Összefoglaló

A szakdolgozat magyar nyelvű kivonata. Ez egy ½–1 oldalas magyar nyelvű összefoglaló, melynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

# Abstract

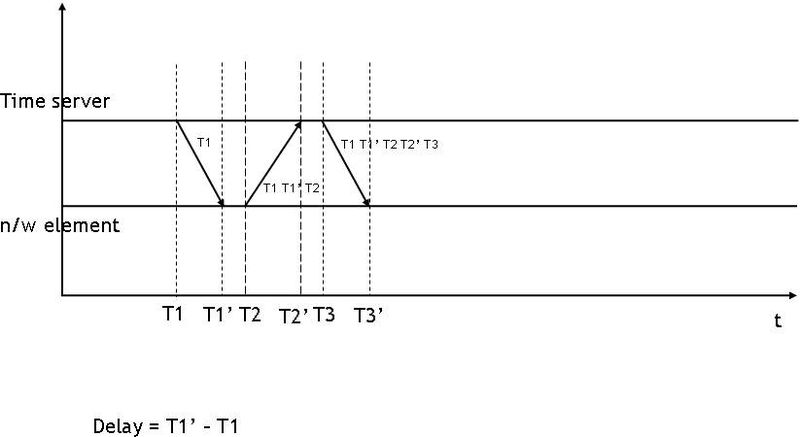
English abstract of the thesis work. This summarises the content of the thesis in 0.5–1 pages and is uploaded to the Thesis Work Portal as well.

# Bevezető

Bármilyen számítógépes környezetben az órák szinkronizációja egy fontos megoldandó probléma. Számos alkalmazás működése csak akkor teljesíti az elvárt feltételeket, ha az alkalmazásban szereplő számítógépek órája a megfelelő pontossággal együtt jár, ez a követelmény pedig igen széles skálán mozoghat. Sokszor a szinkronnak csak emberileg érzékelhető pontossággal, például 1 mp-en belül kell meglennie, ipari vagy más beágyazott környezetekben viszont sokszor elvárt ennél jóval nagyobb pontosság is. A változatos követelményeknek köszönhetően az óraszinkronizációra számos megoldás született, ezek közül az egyik nagy pontosságú megoldás az IEEE 1588 szabvány által definiált.

Az IEEE 1588 szabvány első verziója 2002-ben, második verziója 2008-ban jelent meg. A szabvány számítógépes hálózatokon definiálja a PTP-t (Precision Time Protocol), mellyel a hálózatba között eszközök órái szinkronizálhatóak. A v2 szabvány nem kompatibilis a v1-gyel, ezért fontos, hogy minden eszköz ugyanazt a verziót támogassa.

A protokoll egy master-slave rendszert valósít meg. A referencia órával rendelkező eszköz a grandmaster, minden más eszköz ehhez az órához szinkronizál. Legegyszerűbb esetben a hálózatban csak egy grandmaster van és a hozzá szinkronizáló eszközök. A v2 protokoll része a transparent clock, amelyben az eszköz módosítja a rajta áthaladó PTP üzenetet, annak időbélyegét átírva, hogy javítja a hálózat késleltetéséből adódó hibákat. A protokoll képes az IP (internet protocol) használatára, mind IPv4 és IPv6 esetén. Mivel a PTP üzenetek általában broadcast üzenetek, az IP-n belül az UDP protokoll használható erre a célra.



. ábra Az óraszinkronizáció működése

A PTP protokoll szerint az eszközök az 1. ábrán látható módon számolják ki a késleltetést a hálózaton és ez alapján szinkronizálják az óráikat. A master két üzenetet küld a slave-nek, az első üzenet elküldésének pontos idejét a második, úgynevezett follow-up üzenetben küldi el.

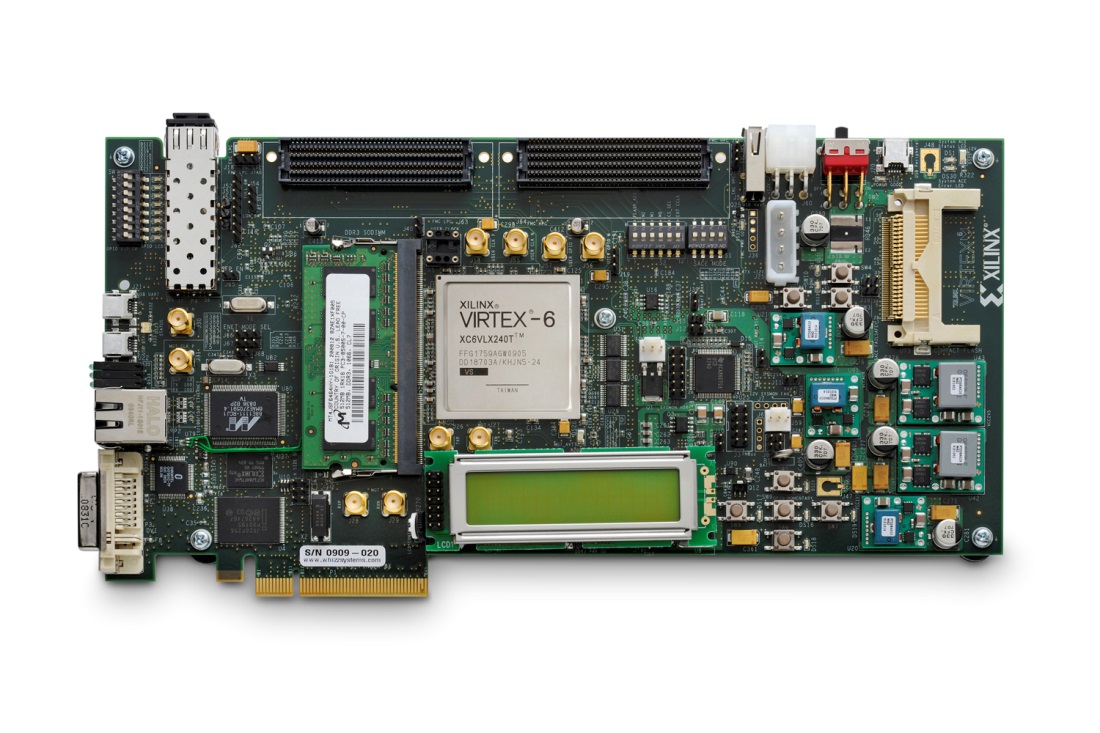
Szoftveres megvalósítással a protokoll mikroszekundum nagyságrendű pontosságot képes elérni, hardveres megvalósítással a pontosság nanoszekundum nagyságrendű (a gigabites Ethernet esetén az eszköz órajele 125 MHz, így az időfelbontás 8 ns, ez a pontosság elméleti maximuma).

## A Precesion Time Protocol üzenetei

A PTP protokoll a következő üzeneteket használja a működés során:

* **Announce:** A protokollban részt venni képes eszközök ezzel az üzenettel kezdik a kommunikációt. Ilyen üzeneteken keresztül kommunikálnak, amikor a „best master clock algorithm” nevű algoritmus segítségével kiválasztják a lehetséges master órák körül a legpontosabb grandmastert.
* **Management:** A hálózatot menedzselő eszköz által küldött üzenetek, melyek segítségével konfigurálja a PTP protokollban részt vevő eszközöket.
* **Sync:** A szinkronizációs algoritmus során használt üzenet, az egyik működési módban tartalmazza a pontos időbélyeget, ami az üzenet elküldésének az időpontja. Másik működési módban a pontos küldési időpont külön kerül továbbításra.
* **Follow\_Up:** Amennyiben a Sync valamilyen okból nem tartalmazta a küldés pontos időpontját (például szoftveres PTP, ahol a szoftver nem tudja mikor kerül majd ténylegesen elküldésre az üzenet), a Follow\_Up üzenetben kerül továbbításra a küldés pontos időpontja.
* **DelayReq, DelayResp:** A hálózati késleltetés mérésére szolgáló üzenetek.

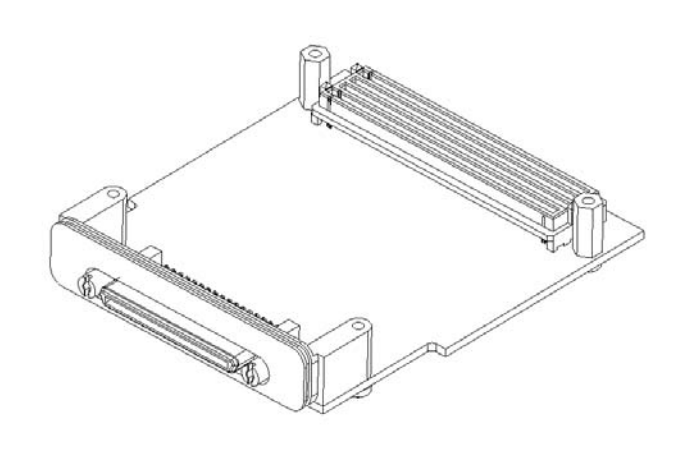
# Hardveres környezet



. ábra Xilinx ML605 kártya

A Xilinx által gyártott ML605 fejlesztőkártya egy Virtex®-6 XC6VLX240T-1FFG1156 FPGA-t tartalmaz, kiegészítve a beágyazott fejlesztéshez gyakran használt perifériákkal és funkciókkal. Ilyen a DDR3 memória, PCI Express interfész, Ethernet PHY (fizikai rétegvezérlő), GPIO és az UART. A funkciók FMC csatlakozón keresztül bővíthetőek erre a célra tervezett bővítőkártyákkal. Az FMC csatlakozók a kártyán található nagysebességű VITA-57 FMC HPC (high pin count) és LPC (low pin count) vezérlőkhöz csatlakoznak.

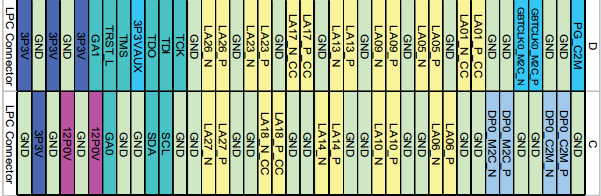
Az FMC csatlakozó egy külön szabványban definiált nagysebességű bővítőcsatlakozó. Fő tulajdonságai, hogy a funkcionalitástól függően használható a LPC (low pin count) vagy HPC (high pin count) csatlakozó, melyeken számos I/O láb található meg, melyek egyenként 2 Gbps sebességre képesek, ami tovább növelhető 10 Gbps-ra, a megfelelő feltételek betartásával. Az I/O funkciók rendszerszinten konfigurálhatóak, így mindig az adott alkalmazáshoz lehet igazítani a beállításokat. Az FMC szabvány számos követelményt is tartalmaz, amiket a bővítőkártyának teljesítenie kell, ha FMC kompatibilis minősítést akar elérni. Ilyen feltételek például a bővítőkártya mechanikai méretei.



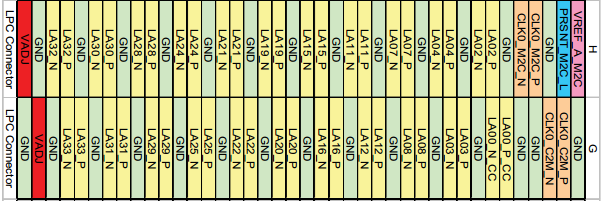
3. ábra FMC bővítőkártya példa

Az FMC szabvány ismer egyszeres és dupla méretű bővítőkártyát. Az egyszeres szélességű kártya méretei úgy vannak meghatározva, hogy a két egymás melletti FMC csatlakozó egyszerre használható legyen, a dupla szélességű kártya pedig alkalmazástól függően használhat egy FMC csatlakozót, vagy akár mindkettőt.

A HPC csatlakozó 400 lábbal rendelkezik, melyek egy 10x40-es rácsban helyezkednek el. Az LPC csatlakozó 160 lába két 2x40-es rácsban helyezkedik el. A sorok megjelölése rendben A,B,C,D,E,F,G,H,J,K, melyekből az LPC csatlakozó a C,D és G,H sorokat használja.

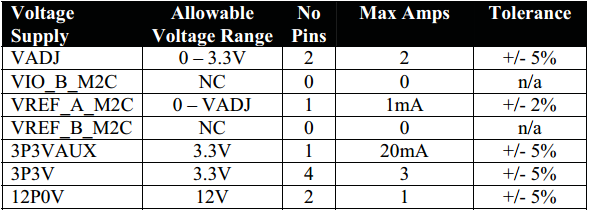


4. ábra D és C oszlopok kiosztása



5. ábra H és G oszlopok kiosztása

Az LPC csatlakozó kiosztása a 4. és 5. ábrán látható. Az LA jelölésű lábak nagysebességű differenciális jelvezetékek, amelyek mellett megtalálhatóak dedikált órajel lábak is, valamint JTAG interfész, I2C interfész és táp valamint föld lábak. Az FMC csatlakozón 3.3 V valamint 12 V-os tápellátásra van lehetőség.



6. ábra az LPC kártya tápellátási lehetőségei

#### 

#### A 6. ábrán láthatóak a tápellátás lehetőségei. A 3.3 V-biztosító láb 3 A-ig terhelhető, ami bőven elegendő az alkalmazások többségéhez, amennyiben szükség van további tápellátásra a Vadj láb képes további 2 A-t biztosítani. Ez összesen 5 A, 16.5 W energiaellátást képes biztosítani, szükség esetén azonban a 12 V-os, 1 A-t szolgáltatni képes láb is használható, további 12 W teljesítmény biztosítására.

## Fizikai rétegvezérlő

Az FMC csatlakozó a Xilinx FPGA-t egy Zodiac Datasystems által gyártott modullal köti össze. Ezen a modulon található meg a fizikai rétegvezérlő chip, ami egy Marvell gyártmányú 88E1512 integrált áramkör. A Marvell Alaska 88E1512 egy 10/100/1000 BASE-T gigabites Ethernet vezérlő, ami megvalósítja az óraszinkronizázióhoz szükséges IEEE 1588 funkcionalitást.

### A Marvell 88E1512 jellemzői:

- Négy RGMII időzítési mód

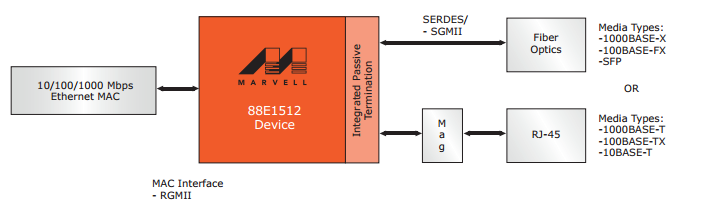
- Energy Efficient Ethernet (EEE) támogatás

- IEEE 1588 v2 időbélyegzés és Syncronous Ethernet (SyncE) órejelvisszanyerés

- Advanced Virtual Cable Tester (VCT)

- integrált feszültségregulátor, ami 3.3 V-ból előállítja a szükséges 1.8 és 2.5 V-ot

- 56 lábú QFN 8x8 mm-es tokozás



7. ábra A Marvell 88E1512 alkalmazásának blokkvázlata

A fizikai rétegvezérlő egy porton valósítja meg a funkcionalitást, a Zodiac kártyán négy ilyen chip helyezkedik el. A fizikai rétegvezérlők Samtec BKS-121-01-L-V-A-P csatlakozón keresztül érhetőek el, egy csatornához két csatlakozó tartozik. Így összesen 8 Samtec csatlakozón lehet a Zodiac kártyán lévő Phytereket elérni.



8. ábra: Zodiac Datasystems kártya

# Hardvertervezés

A feladatom része egy összekötő áramkör megtervezése volt, ami kapcsolatot létesít a Virtex FPGA-t tartalmazó Xilinx kártya és a fizikai rétegvezérlőket tartalmazó Zodiac kártya között. Első feladatként meg kellett vizsgálnom, hogy a négy Ethernet csatorna megvalósításához elegendő erőforrást biztosít-e az LPC csatlakozó, vagy szükség van-e a HPC csatlakozóra?

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Láb megnevezése | | Száma |
| DP |  | 4 |
| CLK |  | 6 |
| LA |  | 66 |
| Összeg |  | 76 |

1. táblázat

Az 1. táblázatban összesítettem az LPC csatlakozón rendelkezésre álló jelvezetékek számát. Korábban említettem, hogy a csatlakozón rendelkezésre áll 3.3 V-os tápfeszültség, valamint föld lábak, ezek megfelelnek az alkalmazás követelményeinek. A 6 órajel láb és a DP jelölésű gigabites sebességű lábak a legakalmasabbak az órajelek átvitelére, az LA jelölésű differenciális jelvezetékek pedig az adat és vezérlés jelek átvitelére használhatóak.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Láb megnevezése | | Száma |
| TxClk |  | 4 |
| RxClk |  | 4 |
| TxD |  | 16 |
| RxD |  | 16 |
| RxCTL |  | 4 |
| TxCTL |  | 4 |
| RecCLK |  | 4 |
| Config |  | 4 |
| IO\_Reset |  | 1 |
| PTPIO |  | 4 |
| MDINT |  | 4 |
| MDC |  | 2 |
| MDIO |  | 2 |
| Összeg |  | 69 |

A 2. táblázat összesíti a 4 csatorna megvalósításához szükséges jeleket. Leolvasható, hogy 12 órajel átvitelére van szükség. 10 jelvezeték áll rendelkezésre, ami órajel átvitelére különösen alkalmas, így teljesen ki lehet használni a rendelkezésre álló órajel lábakat, ez által a megmaradó LA jelzésű jelvezetékekből a lehető legtöbb használható más célra. A későbbi bővítés érdekében a fennmaradó lábakat egy tüskesorra vezettem ki, mivel az FPGA-n a lábak tetszőlegesen programozhatóak, ezek később bármilyen funckió megvalósítására felhasználhatók. A hardver blokkvázlatát a 8. ábra tartalmazza.



9. ábra A hardver blokkvázlata

A négy csatorna nyolc csatlakozón keresztül csatlakozik az összekötő kártyához, ami egyetlen LPC típusú FMC csatlakozóra egyesíti a négy csatorna jeleit. Az LPC csatlakozó az FPGA kártyán a Virtex FPGA-hoz csatlakozik.



10. ábra Az FPGA kártya blokkvázlata

A négy csatorna megvalósításához a Microblaze soft-core processzorban négy MAC-et (Media Access Controller) kell megvalósítani, melyeknek önálló PTP stack-re van szükségük a szoftverben. A Microblaze soft-core processzor egy Xilinx által fejlesztett, 2002 óta forgalmazott termék, teljes egészében a Xilinx FPGA-k általános celláiból épül fel. A soft-core processzorok nagy előnye, hogy az alkalmazáshoz igazíthatóak a perifériák. Ebben az esetben ez a négy MAC-et jelenti, azonban a rendszer rugalmas, egy újrakonfigurálással újabb perifériák adhatóak hozzá.

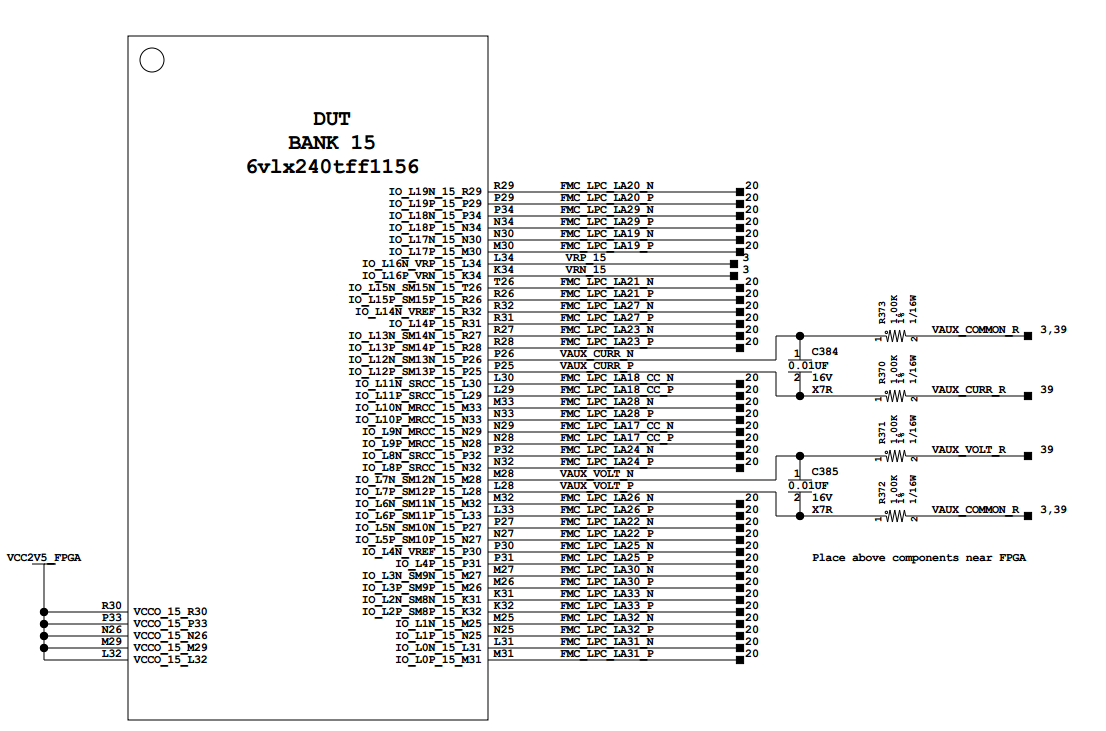
## Csatlakozás az FPGA-hoz

Mivel a Virtex 6 FPGA-ban korlátozott számban és helyen állnak rendelkezésre erőforrások, a csatlakozó kiosztásának igazodnia kell a lehetőségekhez, különben előfordulhat, hogy az FPGA terv nem huzalozható. Az ML605 kártya dokumentációját megvizsgálva lehet megbizonyosodni róla, hogy az LPC csatlakozóra kötött lábak ténylegesen konfigurálhatóak úgy, ahogyan az a rendszer működéséhez szükséges.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Virtex 6 | ML605 név | LPC név | LPC |
| M6 | MGTREFCLK1P\_115 | FMC\_LPC\_GBTCLK0\_M2C\_N | D4 |
| M5 | MGTREFCLK1N\_115 | FMC\_LPC\_GBTCLK0\_M2C\_P | D5 |
| D1 | MGTTXP0\_116 | FMC\_LPC\_DP0\_C2M\_P | C2 |
| D2 | MGTTXN0\_116 | FMC\_LPC\_DP0\_C2M\_N | C3 |
| G4 | MGTRXN0\_116 | FMC\_LPC\_DP0\_M2C\_N | C7 |
| G3 | MGTRXP0\_116 | FMC\_LPC\_DP0\_M2C\_P | C6 |

11. Ábra: MGT lábak a Virtex 6 FPGA-n

A kártya lábkiosztásból kiolvasható, hogy bizonyos LPC csatlakozóra kötött lábak egy MGT (multigigabit transciever) interfész lábai, így ezek a lábak a PTP elkalmazásban nem használhatóak. A csatlakozó többi lába két bank között van elosztva, ezért érdemes a bekötést úgy elvégezni, hogy a csatornák párosával egy-egy bankon belül legyenek. A megvalósításomban az A és D csatornák a 15-ös, a B és C csatornák a 16-os bankot használják.



11. Ábra: A 15. bank az FPGA-n

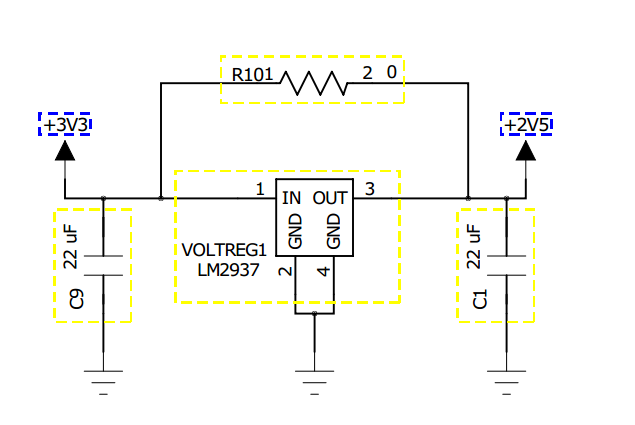
Az FMC csatlakozót a 12. ábrán látható módon kötöttem be. Elsőbbséget élveztek a korábban említett dedikált órajel lábak, melyek a CLK0\_C2M\_P, CLK0\_C2M\_N, GTBCLK0\_M2C\_P, GTBCLK0\_M2C\_N, CLK0\_M2C\_P, CLK0\_M2C\_N, valamint a kiemelt nagysebességű lábak, a DP0\_C2M\_P, DP0\_C2M\_N, DP0\_M2C\_P, DP0\_M2C\_N. Ezeknek a kiosztása nem változtatható meg huzalozás alatt, azonban az LAxx\_P/N jelölésű általános célú lábak kiosztása az alkalmazás szempontjából nem lényeges, mivel az FPGA-n tetszőlegesen változtatható a kiosztás, a huzalozás egyszerűsítése céljából a lábak megcserélhetőek.

A csatlakozó rendelkezik JTAG interfész lehetőségével, a specifikáció szerint amennyiben a JTAG interfész nem használt, a TDI lábat egyszerűen össze kell kötni a TDO lábbal. Ennek az oka, hogy a JTAG egy shift regisztert használt a működésében, így a modul a JTAG szempontjából nem látszik, de nem is zavarja a működést. Ennek az összekötésnek a hiánya azonban más modulok JTAG működését is megakadályozná. Hasonlóan az aktív alacsony TRST\_L jel felhúzása akadályozza meg, hogy a modul véletlenül resetelje a JTAG lánc többi elemét.

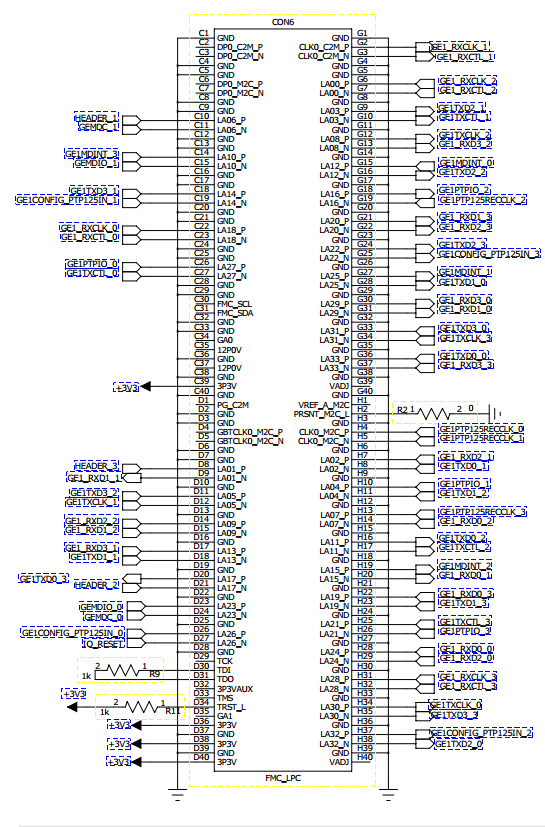
A PRSNT\_M2C\_L láb egy present jel, aminek a földre húzása jelzi a hordozónak, hogy a modul jelen van.

Az FMC csatlakozó fennmaradó LAxx\_P/N lábai és az I2C interfész FMC\_SDL, FMC\_SDA lábai a tüskesorra vannak kötve.

A 12. ábrán látható az összekötő kártyán található két feszültségszabályozó egyike. A lineáris regulátor a bementi 3.3 V-ból a Marvell PHY számára szükséges 2.5 voltot állítja elő. Mindkét regulátor 2-2 csatorna tápellátásáért felel.

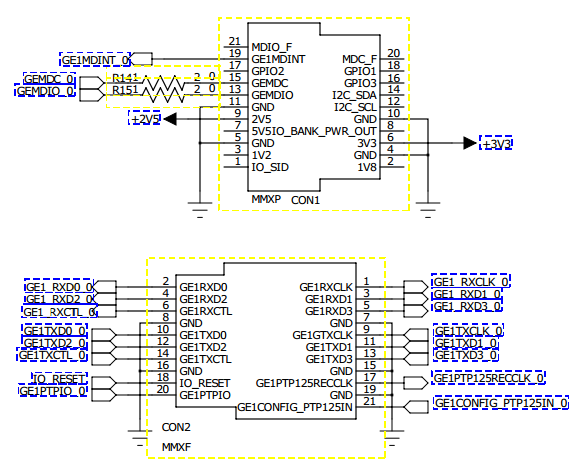


13. ábra: feszültségszabályozó bekötése



12. ábra Az FMC kapcsoló bekötése

A négy csatornához négy különböző cím kellene a menedzsment interfészen, azonban a Zodiac kártyán, amelyen a Marvell PHY-k elhelyezkednek, csak két cím közül lehet választani. Emiatt a menedzsment interfészeket csak páronként lehet közösíteni, a négy csatornához két különálló interfész kell. A 12. ábra egy csatorna két csatlakozójának a bekötését szemlélteti.



14. ábra Az MMXP és MMXF jelzésű csatlakozók bekötése

# Tervezési szabályok

## Az áramkör rétegeinek száma

Az áramkör megtervezésének fontos szempontja, hogy milyen gyártási technológiát használva lehet legyártani a nyomtatott huzalozású lemezt. Egyszerűbb áramköröknél megfelelő a két oldalú NYHL, míg bonyolultabb huzalozás esetén 4, 6 vagy akár 8 rétegre is szükség lehet. Ilyen esetben általában legalább két réteg a táp és a föld rézkitöltés, melyhez a másik rétegen elhelyezhető huzalozás viákkal kapcsolódik.

Figyelembe véve az FMC csatlakozó lábszámát, a Samtec csatlakozók egymáshoz való közeli elhelyezkedését és az FMC szabvány által meghatározott méretbeli korlátozásokat, 4 rétegű áramkört választottam a feladat megvalósítására.

## Legkisebb csíkszélesség

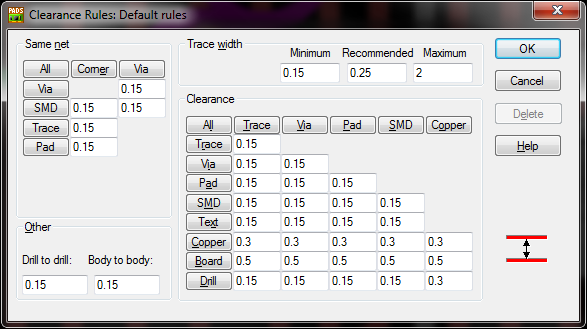
A rétegek száma után az egyik legfontosabb befolyásoló tényező, hogy az áramkörön mekkora lehet a legkisebb csíkszélesség, valamint mekkora távolságnak kell lennie a különböző elemek között. A legkisebb csíkszélesség alapvetően meghatározza a gyártás költségeit, így fontos, hogy a megfelelőt válasszuk. Az önálló laboratórium során használt 0.2 mm-es csíkszélesség esetén már kompromisszumokat kellett volna kötni az áramkör tervezésénél, valamint az áramkör bonyolultsága miatt az alacsonyabb csíkszélesség nem okoz jelentős többletköltséget, így a legkisebb csíkszélesség értékének a 0.15 mm-t választottam.

Ebben az esetben az elemek közötti távolság minimális értéke is 0.15 mm, ami például a két párhuzamos vezetékhez szükséges távolságot 1 mm-ről 0.75 mm-re csökkenti. Ezen szabályok beállítását a 15. ábra szemlélteti.

Annak érdekében, hogy a tápfeszültség és a föld ne ingadozzon, érdemes ezt a két vezetéket (amennyiben szükség van rá a kitöltésen és a kitöltést az alkatrészoldallal összekötő vián kívül) kiemelten kezelni. Ezt a két vezetéket külön osztályhoz rendeltem hozzá, ajánlott csíkszélességnek pedig 0.4 mm-t adtam meg. Az ilyen széles vezeték már elegendő, hogy a hirtelen változó áramfelvétel miatt ne ingadozzon a feszültség.

## Ajánlott csíkszélesség

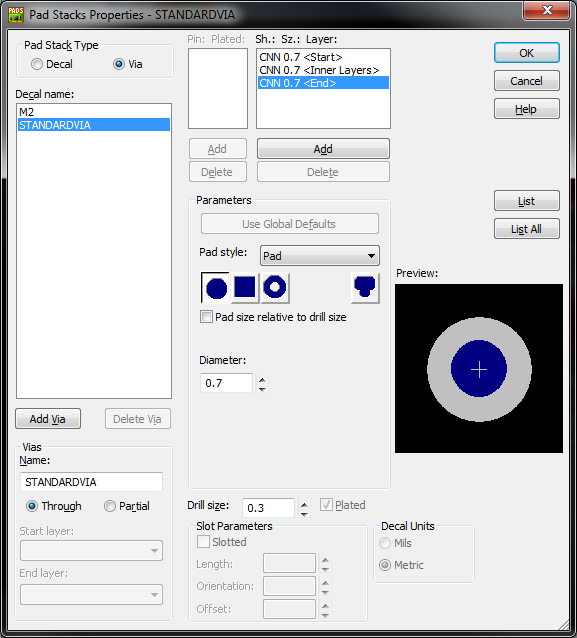
A nagysebességű jelek miatt fontos, hogy a vezetékek hullámimpedanciája minél pontosabban be legyen állítva a kívánt értékre, ami jelen esetben 60 Ohm. Erre a tervezési feladatra általában a gyártók biztosítanak támogató szoftvereket, ilyen péládául a Mentor Graphics esetében a HyperLynx, melyben beállíthatóak a nyomtatott áramkör adatai, a szoftver pedig kiszámolja a keresett értékeket, a változtatásokkal pedig azonnal látható, hogy hogyan változnak az áramkör paraméterei. Esetemben a áramkör gyártására az Eurocircuits PCB Proto szolgáltatása volt alkalmas, melynek különböző változatai léteznek, ezek közül kellett kiválasztani a legalkalmasabbat és annak a paramétereivel kiszámolni a megfelelő értékeket. A programban kiszámolva az értékeket a kiválaszott PCB-re és különböző vezetékszélességekre azt az eredményt kaptam, hogy a huzalozást a belső rétegeken érdemes megoldani, mivel ebben az esetben jelentősen kisebb szélességgel is megfelelő impedancia érhető el. Esetemben a megadott értékek mellett a 250 µm széles vezetékeknél kötelítette meg a legjobban a 60 Ohm-os kívánt értéket a hullámimpedancia, így azt állítottam be ajánlott csíkszélességként, így minden esetben, amikor lehetséges volt ezt az értéket használtam.



15. ábra: a tervezési szabályok megadása

## Viák mérete

A csíkszélesség melett a másik meghatározó tényező az áramkör tervezésénél a viák mérete. Az FMC csatlakozó lábszámából és az FMC szabvány által előírt kártyaméretből adódik, hogy nem alkalmazható a huzalozásra az egy oldalon megoldható gyakorlat, ahol az alul lévő sorok oldalra vezethetők ki az elöl lévő lábakból induló vezetékek mellé. Lehetséges megoldás, hogy a huzalozást a hátoldalon végezzük el, azonban ehhez minden láb mellé egy viát kell lehelyezni, ami 160 láb esetén ugyanennyi viát jelent, ami a nem megfelelő méretválasztás esetén nem helyezhető el a nyomtatott huzalozású lemezen. Ezeket a szempontokat figyelembe véve 0.3 mm átmérőjű furattal, 0.7 mm átmérőjű fémezéssel rendelkező viát választottam. A 14. ábrán a via adatait megadó felület látható.



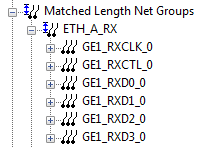
16. ábra: Via beállításai

A huzalozásnál használt viák beállítása után még létre kellett hozni a Zodiac Datasystems kártya által megkövetelt M2 típusú rögzítőcsavarok furatait. A furatok pontos mérete és helye alapvető fontosságú, kiemelt figyelmet igényel.

A megfelelő feltételek beállítása és a huzalozás meggondolása után elvégeztem a huzalozást.

# A nyomtatott áramkör huzalozása

Mivel az áramkör nagysebességű jelekt használ, nem elég ha a vezetékek összekötik a megfelelő pontokat, a logikailag egy csoportba tartozó vezetékek hossza is bizonyos tűréshatáron belül meg kell, hogy egyezzen, ezzel kiküszöbölve, hogy a késleltetések olyan hibákakat okozzanak, hogy az olvasás akkor történik meg, amikor az egyik vezeték állapota még nem változott meg. A Mentor Graphics szoftvercsomagjában ezt a huzalozási problémát a PADS Router szoftver segít megoldani.

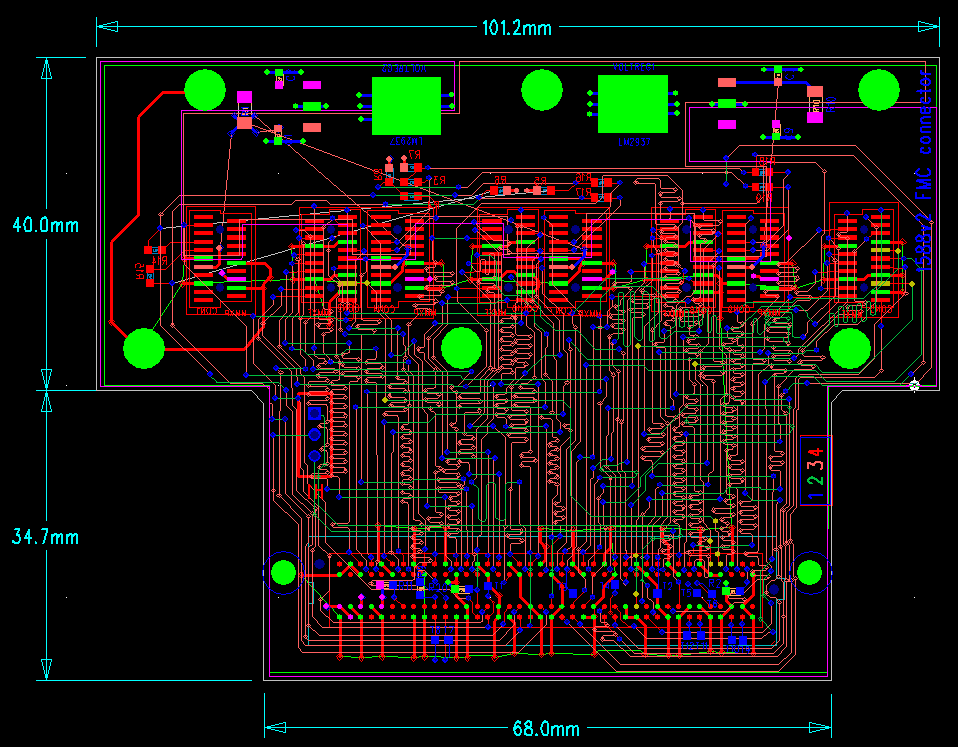


17. Ábra: Példa egy vezetékcsoportra

A PADS Matched Lenght Net Group (Illesztett hosszúságú vezetékcsoport) nével képes definiálni csoportokat, melyzet vezetékek adhatóak, valamint meghatározható, hogy milyen toleranciával kell a hosszúságuknak azonosnak lennie. A szoftverben 8 ilyen csoportot határoztam meg, a 4 csatorna RX és TX vezetékeinek. Miután a csoportokat meghatároztuk a szoftver a csoportban lévő leghosszabb vezetéket jelöli ki mint célt és megadja, hogy a többi vezeték mennyivel rövidebb. Lehetőség van automatikus huzalozásra is, mely esetben automatikus az hozzá hosszabbítást a vezetékekhez, azonban egy nem mindig működik megfelelően és kézi beavatkozásra is szükség lehet. Bizonyos esetekben, amikor a leghosszabb vezeték nem a legrövidebb úton lett bekötve megkönnyítheti a feladatot annak a vezetéknek az újrahuzalozása kézzel.



18. Ábra: Példa az automatikus hosszkiegyenlítésre



19. ábra: kész áramkörterv

# Bevezetés

A következő fejezet pár példán keresztül bemutatja a diplomatervekben és szakdolgozatokban szokásosan előkerülő formázások megvalósítását.

## Formázási tudnivalók

A dokumentum folyószövegéhez használjuk a **Normál** (angol Word esetén Normal) stílust.

### Címsorok

A fejezetcímek esetén a **Címsor 1–4** (Heading 1–4) stílusokat használjuk.

### Képek

A képhez használjuk a **Kép** stílust. Képaláírást a képen jobb gombbal kattintva a **Képaláírás beszúrása…** opcióval adhatunk hozzá, így az automatikusan **Képaláírás** (Caption) stílusú lesz.



8.. ábra. Példa képaláírásra

Képek hivatkozásához jelöljük ki a képaláírásban a sorszámot (pl. „1.1.”), majd kattintsunk a **Könyvjelző** gombra, majd hozzunk létre egy könyvjelzőt (pl. „bmelogo” névvel). Ezután a **Kereszthivatkozás** gombra kattintva a **Hivatkozástípus**t állítsuk **Könyvjelző**re és válasszuk ki a **bmelogo** könyvjelzőt. Így ehhez hasonló hivatkozásokat készíthetünk: lásd az XXX. ábrán.

### Táblázatok

A dolgozatban szereplő táblázatokat az 1.1. táblázat mintájára érdemes elkészíteni.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ****Fejléc**** | ****Opció A**** | ****Opció B**** |
| 1. sor |  |  |
| 2. sor |  |  |

1.. táblázat. Példa táblázat feliratára

### Kódrészletek

Kódrészletek beillesztése esetén használjuk a **Kód** stílust.

using System;

namespace MyApp

{

class Program

{

static void Main(string[] args)

{

Console.WriteLine("Szia Világ!");

}

}

}

### Irodalomjegyzék

Az Irodalomjegyzékben szereplő hivatkozásokat **Irodalomjegyzék bejegyzés** stílussal formázzuk, a címüket pedig a **Kiemelés** stílussal emeljük ki.

A szövegbe a hivatkozásokat a **Kereszthivatkozás beszúrása** (Insert cross-reference) funkcióval helyezzük el (példa egy így beszúrt hivatkozásra: [1]), így azok automatikusan frissülnek a hivatkozások átrendezésekor.

### Margók

Az **Oldalbeállítás** menüben ellenőrizzük a **Kötésmargó** beállítását. Amennyiben a dolgozat kétoldalas nyomtatással készül, a **Több oldal** beállításnál válasszuk a **Margók tükrözése** opciót.

# Utolsó simítások

Miután elkészültünk a dokumentációval, ne felejtsük el a következő lépéseket:

* Kereszthivatkozások frissítése: miután kijelöltük a teljes szöveget (Ctrl + A), nyomjuk meg az F9 billentyűt, és a Word frissíti az összes kereszthivatkozást. Ilyenkor ellenőrizzük, hogy nem jelent-e meg valahol a „Hiba! A könyvjelző nem létezik.” szöveg.
* Dokumentum tulajdonságok megadása: a dokumentumhoz tartozó metaadatok kitöltése (szerző, cím, kulcsszavak stb.). Ez Word 2013 alatt a **Fájl** | **Információ** | **Tulajdonságok** | **Dokumentumpanel megjelenítése** gombra kattintva érhető el.
* Kinézet ellenőrzése PDF-ben: a dokumentum elkészítése után feltétlenül ellenőrizzük a kapott PDF dokumentumot is.

# Összefoglalás

A diplomaterv összefoglalása.

# Köszönetnyilvánítás

A köszönetnyilvánítás nem kötelező, akár törölhető is. Ha a szerző szükségét érzi, itt lehet köszönetet nyilvánítani azoknak, akik hozzájárultak munkájukkal ahhoz, hogy a hallgató a szakdolgozatban vagy diplomamunkában leírt feladatokat sikeresen elvégezze. A konzulensnek való köszönetnyilvánítás sem kötelező, a konzulensnek hivatalosan is dolga, hogy a hallgatót konzultálja.

# Ábrák jegyzéke

[1.1. ábra. Példa képaláírásra 9](#_Toc396824939)

# Táblázatok jegyzéke

[1.1. táblázat. Példa táblázat feliratára 9](#_Toc396824940)

# Irodalomjegyzék

1. Jeney Gábor, Hogyan néz ki egy igényes dokumentum? Néhány szóban az alapvető tipográﬁai szabályokról, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék, Budapest, 2007. május 9., online: <http://mcl.hu/~jeneyg/foliak.pdf>
2. William Strunk Jr., E. B. White, The Elements of Style, Fourth Edition, Longman, 4th edition, 1999.
3. Levendovszky, J., Jereb, L., Elek, Zs., Vesztergombi, Gy., Adaptive statistical algorithms in network reliability analysis, Performance Evaluation – Elsevier, Vol. 48, 2002, pp. 225-236
4. National Istruments, LabVIEW grafikus fejlesztői környezet leírása, <http://www.ni.com/> (2014. aug.)
5. Fowler, M., UML Distilled, 3rd edition, ISBN 0-321-19368-7, Addison-Wesley, 2004

# Függelék

A függelék szövege.