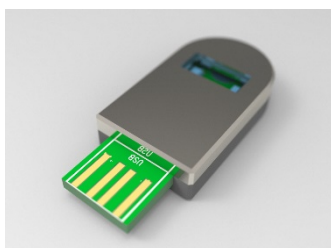


# Elektronikai Technológia Laboratórium: CAD 1.

## Nyomtatott huzalozású lemez tervezés elektronikai szerelési technológiák segédlet a méréshez

**A mérés célja:** Olyan nyomtatott huzalozású lemez (NYHL, NYÁK) megtervezése, amely bevezet minket a CAD funkciók világába, és „hello világ” jellegű alkalmazásként segít megérteni egy egyszerű felületszerelt áramkör születésének a menetét.

A mérés során a hallgató megismerkedik az európai iparban jelentős SIEMENS Mentor Graphics PADS CAD szoftvercsaláddal és később a további mérések során 3D tervezésig, valamint alapvető szimulációkig jut a feladat. Az egyszerű kapcsolási rajzból kiindulva a hallgatóknak tehát a félév végéig egy egyszerű termék tervezésének a lépésein kell végigjutni, hogy az első ábrán látható eszköz tervéig eljussanak.



1. ábra: USB villogó áramkör 3D terve (Kép: SIEMENS Solid Edge).

**A mérési feladat:** A mérésvezető irányításával a hallgatók számítógépes áramkörtervező rendszerrel megtervezik az adott mintázattal rendelkező lemezt. A rajzolatot és a hozzá tartozó stencil apertúrákat úgy alakítják ki, hogy a lemez a legyártása után alkalmas legyen az adott stencil és NYHL technológia, valamint a szerelési-forrasztási folyamat határainak, tulajdonságainak megállapítására.

**A mérés elvégzésével megszerezhető képességek:** A hallgató megismerkedik a tipikus szereléstechológiai kérdésekkel, a CAD szoftverek UX felületével, és általános felépítésével, munkafolyamatával (WorkFlow). A hallgató elsajátítja a mérés során használt áramkör tervező rendszer legfontosabb eszközeit. A hallgató nem lesz képes még önállóan ipari áramkörtervezői munkára, de a következő szintek elérését segíti a mostani gyakorlat, az általános „onboarding” a későbbi CAD munkák során könnyebbé válik, valamint a témába való bevezetés utáni fogalomrendszer-áttekintésre képes lesz.

### Bevezetés

Az elektronikai gyártásban igen fontos szerepe van a költséghatékonyságnak. Kisebb alkatrészekkel, finomabb NYHL rajzollal, precízebb technológiával és így kisebb szerelőlemez mérettel olcsóbban lehet megoldani ugyanazt a feladatot. Ezzel együtt nő az alkatrész- és funkciósűrűség is. A felületszerelési technológiával (Surface Mount Technology - SMT) megvalósított áramkörök manapság dominálják az iparágat. Érdekes lehet tehát egy egyszerű áramköri terv megvalósításával a hallgatóknak is megismerkedni egy kezdő projekten keresztül a technológiával.

### 1. Általános bevezetés, a Design Flow fogalma

A számítógépek hatékony munkát tesznek lehetővé a mérnökök számára. Az első számítógéppel támogatott megoldások a második világháború után jelentek meg, amikor az akkori alapszámítógépek egyre hatékonyabb számításokat tudtak alkalmazni a kezdeti feladatokra. A modern CAD-megoldások alapjai a hatvanas évekre datálhatók (Bézier, Renault, később IBM), ahol a háromdimenziós grafika is kezdetlegesen megjelent. Azt is mondhatjuk, hogy a 60-70-es években megalapozták az elektronikai tervezőszoftvereket is.

Összességében a CAD-tervezés további ágait határozhatjuk meg:

- Mechanika
- Járműtervezés
- Lakás-, lakás- és építőmérnöki tervezés
- Kémia és molekuláris tervezés.

Az áramkörtervezés a mérnöki gondolkodásmód különböző aspektusait igényli. Ahhoz, hogy az elektronikai tervezésben teljes tudással dolgozhassunk, a mérnöknek rendelkeznie kell villamos- és gépészeti alapismeretekkel, valamint némi esztétikai érzékkel. Az áramköri tervezés (pontosabban a nyomtatott áramkörök tervezése) a villamosmérnök számára alapvető feladat, amely egyaránt magában foglalja az elméleti megközelítést és a fizikai ábrázolás szükségességét. Az elektronika és a mikroelektronika világában értelmezett áramköri tervezés végső célja, hogy az áramköri szubsztrát (tehát a hordozó), a passzív és aktív elemek segítségével, mérnöki megközelítéssel működő áramkört hozzon létre. Egy olyan áramkört, amely önállóan vagy egy rendszer részeként működhet.

A megfelelő működéshez megfelelő körülményekre van szükség. Az alkatrészek értékeinek és tűréseinek megválasztásával, valamint a felhasznált anyagok paramétereinek és tűréseinek ismeretében és figyelembevételével teljesül a funkció és a megvalósíthatóság kettőssége. A tervezőnek tisztában kell lennie a hőmérsékleti viszonyokkal és a tápfeszültség tartományával, a gyártási megoldások tartományával és azok tűréseivel. A tervező a munkát megfelelő dokumentációval zárja le, és ezek csak az alapvető működéshez és tesztelhetőséghez szükséges feltételek, a végterméket számos más szempontból is tesztelik. Ha a feltételek nem teljesülnek, akkor:

- a gyártási hozam alacsony lehet;
- a gyártási költség növekedhet;
- az áramkör stabil működése sérülhet.

E feltételek teljesítéséhez és a megfelelő termék előállításához megfelelő tervezési eszközökre, elemzési módszerekre, valamint az anyagok és alkatrészek ismeretére van szükség. A nyomtatott áramköri lap (PCB) tervezése ezért összetett feladat, és több mérnök munkáját is magában foglalhatja. A feladat alapvetően két részre osztható: először a logikai terv készül el, majd ezt követi a fizikai tervezés.

A logikai tervezést és a fizikai tervezést különálló mérnökök vagy mérnöki csoportok készíthetik el, szakértelemmel és specializációval. Adott esetben a logikai terv és a fizikai terv külön részfeladatokra is bontható. A logikai tervezésnél például különbséget kell tenni az analóg és digitális részek között, amelyek lehetnek nagy sebességű digitális, alacsony szintű analóg vagy rádiófrekvenciás részek. Ezek logikai és fizikai tervezése ismét külön megközelítést igényel.

A tervezés nehezen oktatható tématerület, ezért az alapismeretek és az ökölszabályok a legfontosabb részei a tananyagoknak, a többi pedig a konkrét gyakorlat és a szakmai tapasztalat révén épül be a mérnök mindennapjaiba. Az áramköri tervezés folyamata kreativitást és egyéni rálátást is igényel. "Ha jól néz ki, akkor jól fog működni". - tartja a régi mondás.

Ma az áramkörtervezést a számítógépes tervezés (CAD) szoftverek segítik elő. Ahhoz, hogy a tervezés minden egyes lépését részletesen meg tudjuk vizsgálni, szükség van a teljes folyamat (tervezési folyamat, „**design flow**”) áttekintésére. Ezeket a lépéseket az alábbiakban ismertetjük.

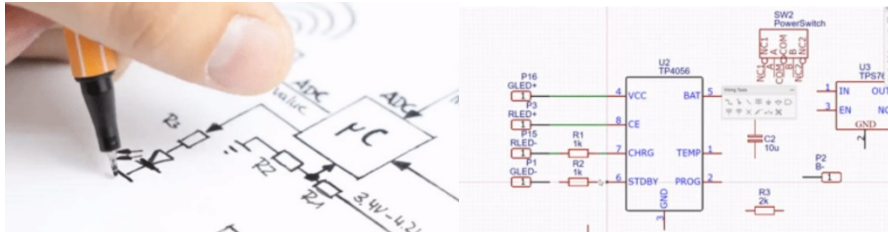
- Sematikus (logikai) áramkör tervezése, áramköri rajz készítése,
- Szimuláció, az előző lépések ellenőrzése,
- Netlista generálása, "Bill of Materials" generálása,
- A sematikus áramkör tervező és a fizikai áramkör tervező összekapcsolása a hálózati lista fájl segítségével,
- Fizikai tervezés elrendezése,
- Termikus, elektromos szimulációk, az előző lépések ellenőrzése, jegyzetelés,
- A gyártási alkatrészek generálása.

A munka jelentős része iteratív, ami azt jelenti, hogy minden egyes lépés visszahat egy másik, korábbi pontra, ha hibát vagy optimalizálási lehetőséget találunk.

A lépéseket meg kell értenünk, mivel a folyamatot tárgyaljuk, ezért mielőtt a következő fejezetben részleteznénk a fontosságukat, ezúton bemutatjuk az összes lépést.

A sematikus tervezés során a tervező az alkatrészek és kapcsolatok egy halmazát használja fel a tervezés elméleti sematikus ábrájának kialakításához. Az akár kézzel is rajzolt vázlat ezután megvalósítható a szoftverben.

Ha a hálózati lista elkészült, következik az elrendezés (layout) tervezése, az alkatrész elhelyezések első fázisával. Ezután a layout tervezés egyik legkomplexebb része jön, a huzalozás, bekötés. Végül pedig a terv validálása és gyártási előkészítés.



2. ábra: Sematikus ábra tervezése kézzel (bal) és géppel (jobb)

Az alkalmazott szoftverek a következő csoportosítás szerint osztályozhatók, ahol a következő fejezetekben részletesebben ismertetjük az adott részeket.

- CAE (számítógéppel segített tervezés) eszközök
- CAD (számítógéppel segített tervezés) eszközök
- CAM (számítógéppel támogatott gyártás) eszközök

## 2. Logikai tervezés – CAE (Computer Aided Engineering)

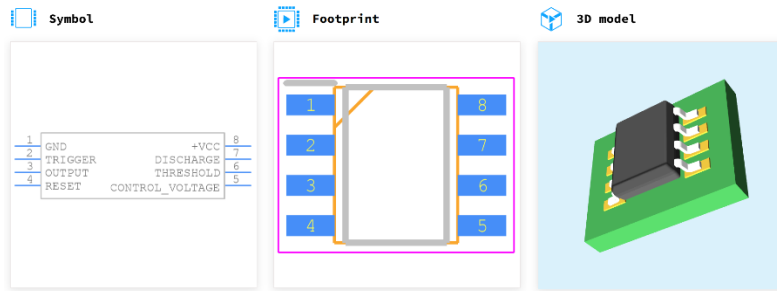
A sematikus tervezőprogramok segítségével egyszerű sematikus áramkör, azaz áramköri rajz készíthető. A logikai elemek és szimbólumok tervezési elemként jelennek meg. Az elemek elhelyezése és összekapcsolása a sematikus tervezőprogramban történik.

A sematikus tervezés során a feladat az elemek kiválasztása és megfelelő összekapcsolása, hogy a terv zárt áramköri formát kapjon. A tervezéshez általában rajzlapokat (vagy blokkokat) használnak. A logikai szimbólumokat a rajztáblákon rácsszerű elrendezésben helyezik el, és a szimbólumok kimeneteit összekötik. A kapcsolási rajz tervező szoftverben a fent említett logikai szimbólumok egy könyvtárból kerülnek kiválasztásra. A könyvtárak összhangban vannak a későbbi tervezőeszközökkel, például a fizikai tervező (layout) programokkal. Ezek a könyvtárak nem az operációs rendszer könyvtár/könyvtár struktúrájába épülnek be, hanem egyfajta adatbázisként működnek egy adott szoftverértelmezésben.

Általában a tervezőszoftverek alapértelmezett könyvtárakkal rendelkeznek, de manapság az alkatrészgyártók komplex, szervezett könyvtárakat kínálnak átfogó tartalommal a termékeikhez a honlapjaikon. Egyes webshopok könyvtárkezelő szoftvereket is kínálnak. Az ilyen szoftverek átfogó módon kezelik az összes könyvtári reprezentációt: a logikai szimbólumot, a fizikai rajzot (footprint) és a 3D fájlt - lásd az 555-ös IC példáját (3. ábra). A három reprezentáció, az alkatrészhez rendelt információk halmaza magát az alkatrészt (alkatrészt) is reprezentálhatja. Az alkatrész tartalmazza az alkatrészhez rendelt elektromos és geometriai adatokat "matricák" formájában.

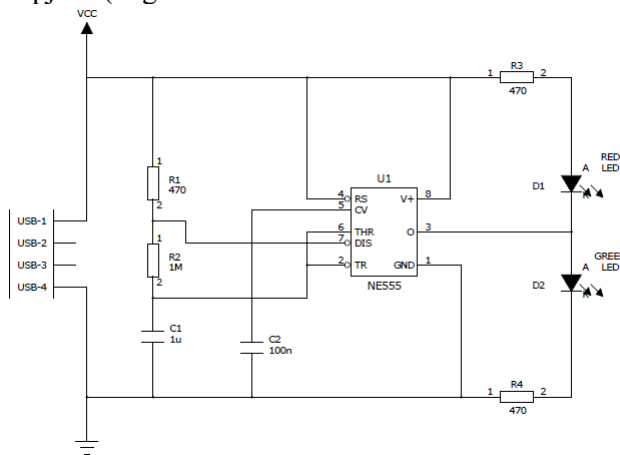
Ahhoz, hogy egy alkatrészt az áramköri hordozóra forrasztani és a többi alkatrészhez vezetékezni lehessen, szükség van egy footprintre (az alkatrész csapjára jellemző rézfólia rajz). A "lábnyom" gyakorlatilag az alkatrész csapjainak megfelelő érintkezési felületek összessége, a hozzá tartozó jelölésekkel együtt.

Minden alkatrésznek van egy lábnyoma a terven, de a könyvtárak alkatrész típusonként egyenlő több lábnyomot is tárolhatnak. Például egy felületre szerelhető ellenállás footprint két adott méretű, egymástól adott távolságra lévő, négyzet alakú rézfólia-alakzatból (pad, érintkezőfelület) áll. Az átmenő furatba szerelt ellenállás lábnyoma két adott méretű, kör alakú rézfólia részletből áll, amelyek közepén egy adott méretű fémzett fali furat található.



**3. ábra: Az alkatrész három fontos értelmezése: szimbólum (schematic), footprint (layout), és 3D tok.**

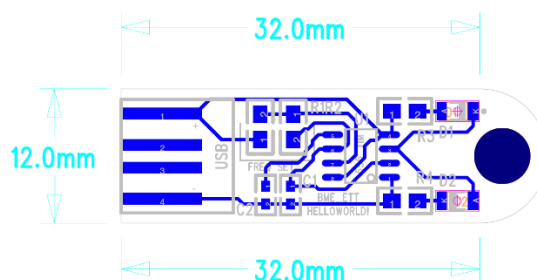
A logikai tervezésben létrehozott összeköttetések a csomópont-elv szerint értelmezhetők. A csomópontokat (NET-pontokat) a Netlist fájl tartalmazza, amelyet jellemzően ember által értelmezhető formátumban tárolnak. A Netlist tehát egy "összekötő" ASCII szöveges fájl (általában) .net kiterjesztéssel, amelyet hagyományosan az IPC-D-356 szabvány szerint hoznak létre. A logikai tervezés végén az alábbi képet kell majd kapnunk (4. ábra). Készüljünk fel a laboratóriumra az 555-ös alkatrész alapvető működése kapcsán. Astabil multivibrátoros kapcsolásban milyen frekvencia várható az alábbi ábra alapján? (Segít a mellékelt NE555-ös alkatrész-adatlap: 7.4.2/8.3.1 fejezetek.)



**4. ábra: Sematicus ábra: 555-ös áramkör alapú villogó**

### 3. Layout tervezés – CAD (Computer Aided Design)

Az elrendezéstervezés egy speciális terület, és gyakran elkülönül a korábbi kapcsolási rajztervezési eszközök használatától.



**2. ábra: Sematicus ábra: 555-ös áramkör alapú villogó**

Az elrendezéstervezés fő lépései a következők:

- Tervezési szabályok meghatározása,
- Tervezési szabályok öröklése és a netlista kapcsolása a schematic tervezővel,
- Mechanikai alapok: a lap alakja, via definíció, keepout kizárási zóna meghatározása,
- Az alkatrészek elhelyezése,

- Az alkatrészek összekötése,
- Tervezési szabályok ellenőrzése (DRC – Design Rule Check),
- Fizikai szimulációk elvégzése (opcionális),
- Lehetséges visszamenőleges annotációk (visszkapcsolás a schmatikus tervhez).

A lenti ábrán láthatjuk a megtervezésre váró alkatrészt.

#### 4. Gyártás előkészítés – CAM (Computer Aided Manufacturing).

Az utolsó lépés a gyártó file-ok legenerálása, amely alapján a NYHL üzem elkészíti a panelt. A gyártási fájl létrehozásának folyamata során a felhasználónak a terv alapján kell konfigurálnia a különböző lépésekhez tartozó utasításokat és formákat: például a fúrási és az elektronikus rétegeket. Ehhez a gyártónak szabványos gyártási folyamatra van szüksége.

A fájlgenerálási folyamat során az egyes rétegekhez kapcsolódóan a felhasználó szerkesztheti a gyártáshoz szükséges kimeneti fájlformátumot, és számos opciót állíthat be a finomhangoláshoz. Az RS274X a régi Gerber RS274D speciális, kibővített változata, miközben az összes információt egyetlen fájlba ágyazva tartalmazza. Manapság már aranszabványnak nevezhető. Az RS274X számos olyan magas szintű parancsot és vezérlőt tartalmaz, amelyek lehetővé teszik a Gerber-adatok készítője számára, hogy nagyon pontosan meghatározza a fotóábrázolást - sokkal pontosabban, mint a régebbi RS274D formátum, amelyhez további egyeztetést igényelt a tervező és a gyártó között a technikai részletekről.

Maga a Gerber egy hibrid nyelv, mivel egyszerre gépvezérlő nyelv és áramkört geometriát tartalmazó nyelv.

#### Fogalomtár

A mérés nagyban épít a PCB-laborunkon hallottakra, de nem előfeltétele a mérés elvégzése a mostani mérés abszolválásához. A félév végére a mérések együttese kell, hogy adja a szemléleti áttekintést.

#### Mértékegység

Az áramkört tervezésben gyakori kérdés a mértékegységek váltása. Általában az 1. táblázat alapján váltjuk az áramkörtervezésben az értékeket. A különböző komponenseknek hagyományosan inch vagy milli-inch (mil) alaprajzuk van, például 100 mil-es osztás a vályúnyílású csomagoknál, mint például a DIP-típusú komponenseknél. Az európai munkakörnyezetben és az európai gyártóiparban azonban a tervezést néha SI-egységekhez kell igazítani, ezért gyakran át kell váltani a két gondolkodásmód között. A legegyszerűbb átállás az 1 mil = 25,4 µm formátumról történő átállás, amelyet természetesen a tervezőprogramok több tizedesjegyre végeznek. Ökölszabályként fejben is át lehet váltani 25 mikronra, így közelítésként 4 mil = 100 µm-re gondolhatunk.

1. táblázat – Mértékegységek

Mértékegységek: mil (milli-inch) és mm átváltása	
1 mil	0,0254 mm

#### Rajzolatfinomság

A lemez huzalozásánál meghatározott minimális vezeték- és szigetelő szélesség. Az alkatrészek méreteinek, lábkiosztásának csökkenésével és ennek következtében a technológia fejlődésével ezek az értékek csökkennek. A rajzolatfinomságot a gyártási technológia korlátozza. A „trace width” a nyomtatott áramkört lap vezetékezéséhez megadott minimális szélesség. Ezek az értékek az alkatrészméretek, a lábnyomok csökkenésével és általában a technológia fejlődésével csökkennek. A rajzlati tűréseket a gyártástechnológia korlátozza, ezért fontos, hogy a tervezés előtt tisztában legyen a gyártó által elfogadható távolságokkal. Távolságokról beszélünk, nem csak a vezeték szélességéről - ilyen esetekben a nyomvonalak, rajzok, forrasztási maszkfelület stb. közötti távolságot is korlátozni kell. Manapság a huzalszélesség akár 3,5-4 mil is lehet, de a tanszéki gyakorlatokon általában 8-12 mil környékén

### **Fiduciális jel**

Illesztést segítő ábra (ábrák) a szerelőlemezen kialakítva. Egy fiduciális jellel meghatározható a tervezési rendszer 0,0 referencia pontja. Két fiduciális jellel (a szerelőlemez átellenes sarkában) meghatározható a pozícionálási és forgatási hiba. Három fiduciális jellel meghatározhatóak a gyártó filmek vagy a szerelőlemez geometriai torzításai.

### **Elvi kapcsolási rajz, sematikus ábra, schematic**

Az áramkör kapcsolási rajza, amelyben szimbólumokkal jelölik az adott áramköri elemeket. Az áramköri elemek kivezetései közötti kapcsolatot is meg kell határozni a sematikus ábra tervezése során.

### **Layout**

Az elvi kapcsolási rajz megvalósítása szerelőlemez formájában; az alkatrészek geometriai elrendezésének és összehuzalozásának terve. A schematic és a layout tervezés szorosan összefügg.

### **Réteg, Layer**

A layout-tervező programok „réteg” szerkezetben kezelik a tervezett rajzolatokat. Léteznek fizikailag megvalósításra kerülő rétegek, és vannak dokumentáláshoz szükséges rétegek. A tervezés és a dokumentáció-készítés során a szoftver által értelmezett rétegek mindig jelen vannak, de általában csak a fontos és a használatban lévő rétegeket tesszük láthatóvá. Végül ezekből készül a gyártáshoz előkészített, úgynevezett Gerber formátum is. A különböző szoftverek különböző elnevezés-változatokkal kezelhetik ezeket a rétegeket, de általában konzisztensen jelölik az adott rétegeket. A legfontosabb rétegek pl. a szerelőlemez alsó és felső oldalához tartozó rézréteg (top/bottom), forrasztásgátló lakk ablak rétegei (soldermask, SM), stencil apertúra (solderpaste, SP) rétegek, a szitafeliratozás (silkscreen, SS)... stb.

### **Stencil**

A stencil keretre feszített vékony lemez, melyen az alkatrészek forrasztására szolgáló felületeknek megfelelően ablakokat (apertúrákat) alakítanak ki. A forraszpaszta nyomtatásához használt stencillek általában 75-200 µm vastagságú rozsdamentes acél fóliák. Az apertúrákat kémiai maratással (elavult), lézerrel (elterjedt), vagy galvanoplasztikával (drága) alakítják ki.

### **Alkatrész könyvtár (File menü, Library)**

Az áramkörtervezés és huzalozástervezés során használt elektromos és elektromechanikus alkatrészek gyűjteménye, gyártók vagy típusok szerint rendezve. A PadsLogic (áramkörtervező) és a PadsLayout (huzalozástervező) programok között a közösalkatrész könyvtár istartja a kapcsolatot.

### **Part**

Egy alkatrészhez rendelt információhalmaz, amely információ kötegek (decal) formájában tartalmazza az alkatrészekhez rendelt elektromos és geometriai adatokat.

### **PCB Decal**

Tartalmazza az egyes alkatrészek nyomtatott áramköri lemezre (PCB) szereléséhez szükséges összes geometriai adatot a különböző rétegeken. Pl.: a forrasztási felületek (pad) alakja, méretei a top és bottom rétegeken, stencil apertúra alakja, méretei a pastemask top rétegen, forrasztásgátló maszk alakja, méretei a soldermask top rétegen.

### **Ellenőrző kérdések**

1. Mi a rajzolatfinomság? Általában a laborokon milyen széles rajzolatokkal dolgozunk? (milyben megadva, majd mm-ben megadva!)
2. Mit jelentenek a schematic és a layout fogalmak?
3. Mit jelent a könyvtárszerkezet? Milyen elemek tartozhatnak egy áramköri alkatrészhez?
4. Mit jelent a rétegszerkezet az áramköri terven?
5. Mit jelent a gyártáselőkészítés az áramköri tervek esetében? (CAM)
6. Mit jelent az 555-ös áramkör astabil multivibrátoros működése és hogyan állítjuk be a frekvenciát? (Segít az adatlap.)