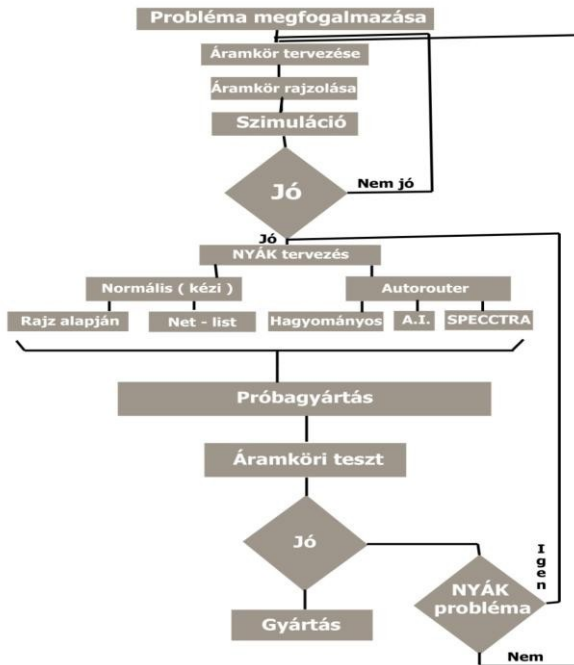


9. Elektronikai tervezés folyamata. Elektronikai tervező szoftverek (EDA) általános felépítése, főbb elemei.

A tervezés fázisai



- A tervezés alapvetően két fő részre osztható
 - az elvi kapcsolási rajz készítése
 - a nyomtatott áramköri panel (ek) tervezése
- A piacon kapható szoftvercsomagok ezeket a feladatokat általában két programmal oldják meg, de előfordulhat az is, hogy az egyes részfeladatokhoz külön programokat írnak.

- **Kapcsolási rajzok készítése**
 - Az elvi kapcsolási rajzok elkészítéséhez elsősorban a gyárilag adott szimbólumokat használhatjuk, de mindig lehetőség van arra is, hogy saját szimbólumokat tervezzünk, és ezzel bővítsük a szimbólum könyvtárunkat.
 - A létező szoftverek többféle módon tárolhatják a szimbólumainkat, az egyik megoldás, hogy egy file-ba valamilyen szempontból (pl. gyártó, áramkör típus) összetartozó alkatrészek vannak elmentve. A programok tudásától függően képesek egy ilyen, vagy egyidejűleg az összes file-ban keresni a megadott szimbólumot.
 - Egy alkatrész szimbólumának az elkészítésénél a programnak meg kell adni:
 - egy tokban mennyi elem van (pl. több és kapu egy tokban)
 - a lábak típusát (3 állapotú, kimenet, bemenet, stb.)
 - a lábak neveit.
 - Ezek után el kell helyezni a lábakat és a szimbólumot a rajzoló eszközök segítségével megrajzolni.
 - Miután elhelyeztük a szimbólumokat a kapcsolási rajzon azokat összeköthetjük.
 - Az egyszerűbb áttekinthetőség érdekében használhatunk buszokat. Ha a vezetékeket elnevezzük, akkor nincs szükség az összekötés megvalósítására a program a nevek alapján tudni fogja mit kell összekötni.
 - A kapcsolási rajzok közt a vezetékek átkötését általában fel kell tüntetni, különben a program nem köti össze!
 - A kapcsolási rajzkészítő programmal kötélistát lehet készíteni, amely alapján a nyomtatott áramkörtervező program a tokokat összeköti.

 - Egyéb szolgáltatások is használhatóak még a kapcsolási rajz elkészítése után:
 - Ilyen az **ERC (Electrical Rules Check)**. Mivel a szimbólumok lábainak típusát általában kötelező megadni ezek ismeretében a program ellenőrizni tudja a tervezési hibák egy részét (zárlatot, összekötött kimenetek, stb.).
 - A **BOM (Bill Of Materials)** tartalmazza, hogy egy alkatrésztípusból mennyi db kell illetve azok azonosítóját.
 - A **cross reference** pedig az alkatrészeket és azonosítójukat, valamint a szimbólum nevét.

- **Összetett rajzok tervezése:** hierarchikus és egyenrangú tervezés
 - Hierarchikus rajzot, úgy lehet csinálni, hogy van egy összefoglaló fő rajz, amelyikbe elhelyezünk blokkokat.
 - Ezekhez a blokkokhoz hozzárendelünk másik file-okat és így tulajdonképpen nagy bonyolult rajzot is át lehet tekinteni egy áramköri rajzon, ill. egy rajzlapon.
 - Az áramkörök közötti átmeneteket, azokat portokkal, ill. port csatlakozókkal lehet megoldani.
 - Az egyenrangú rajzok tulajdonképpen egymás mellett szervezett rajzokból áll, csak egyik pl. fentről lefelé (egyre jobban megyünk lefelé, és egyre többet látunk a kapcsolási rajzból), a másik pedig csak azért van úgy megcsinálva, az egyenrangú, mert

nem fértünk el egy rajzlapon, esetleg kettőn vagy hármon, és egymás mellé lehetne rakni, hosszú rajzot lehet belőle csinálni.

- **Átmenetek az egyes rétegek között**

- A nyomtatott áramkört rajzoló programnak lenne részletes leírása, a rétegek közötti átmenet.
- A rajzoló programok egyéb szolgáltatásai **BOM ERC mátrix** (BOM material, azaz alkatrész lista), amelyik ahhoz kell, hogy a beszerzőnek meg lehessen mondani, hogy melyik alkatrészeket kell beszerezni.
- A sematikus editornak az a fő feladata, hogy adatbázist hozzon létre, ez az adatbázisnak egyfajta megjelenítése, az adatbázisból kivesszük azokat a dolgokat, hogy hány darab és milyen alkatrészt kell beszereznünk.
- Az **ERC (Electrical Rule Check)** az áramköri ellenőrzés:
 - Beállított szabályok (rule-ok) alapján lehet ellenőrizni a beállított áramkört, hogy megfelel-e ezeknek a szabályoknak, pl. lehet olyat csinálni, hogy kimenetet kimenettel ne lehessen összekötni, vagy egy kimenetet ne lehessen tápfeszültségre kötni, stb.
 - Meg lehet adni a nyomtatott áramkör tervezőnél, hogy milyen legyen a legkisebb / legnagyobb vezeték vastagság, fordulási sugár, stb.
- A **Netlist** az egyenes átmenet a nyomtatott áramkör-rajzolóhoz és az adatbázisnak egy megfeleltetése, mert itt azt szedjük ki az adatbázisból, hogy melyik alkatrész melyik lába, melyik alkatrész, melyik lábával van összekötésben. A netlist-be még az is belerakódik, hogy milyen alkatrésznek milyen footprint van megfeleltetve. Ez még másra is jó. Nem csak a nyomtatott áramkörtervezéshez, ez szimulációra is jó, mert oda is az kell, hogy mi mivel van összekötve.

- **Kézi- és autorouterek**

- Nyomtatottáramkör-rajzoló programok megoldásai: **kézi-, interaktív autorouter és mesterséges intelligencián alapuló autorouterek.**
- Vezetékezés szempontjai, többretegű NYÁK huzalozása, alkatrész elhelyezés szempontjai.
- Alkatrészek hozzárendelése a NYÁK lenyomathoz.
- Speciális szimbólumok: szerelési furatok, fóliapozícionáló jelzések, SMD ragasztási jelzések, rétegjelzések.
- **Kézi huzalozás**
 - Nekem kell lerakni az összes alkatrészt és nekem is kell összekötni. A program nem ismeri fel, ha rosszul kötöttem össze az alkatrészeket.
 - Én helyezem el az alkatrészeket, de a program a Netlist alapján megjeleníti a logikai kapcsolatokat jelentő gumivezetékeket. Ekkor már könnyebb a fizikai összeköttetések létrehozása, kevesebb a hibalehetőség. (Pl. Winboard)
 - Bárhonnan el lehet kezdeni a huzalozást
 - A lerakott vezetékek ismeretében a router a fennmaradó logikai összeköttetések optimalizálja
 - A vezetékek szöge választható (45, 90°vagy bármilyen szög)
 - Megválasztható a vezeték vastagsága, az átmenőfurat típusa

- **Autorouterek**
 - o A tervező által meghatározott szempontok alapján automatikusan huzaloz.
 - o Ilyen megadható szempont például
 - összekötési mód (legyen-e benne vezeték elágazás),
 - huzalozási sorrend (a rövid vagy a hosszú vezetékekkel kezdje)
 - sebesség (a lassú pontosabb)
 - réteg irány összerendelés (a vezetékek iránya az egyes rétegeken)
 - alkalmazandó huzalvastagság
 - o A huzalozás előtt elemzi a kapcsolást és kiválasztja a legmegfelelőbb utakat.
 - o Rétegenként más irányú vezetékeztést tehet lehetővé
 - o Kézi routerezés közben választható, hogy a kapcsolat egy részét automatikusan huzalozza be.
 - o Mesterséges intelligencián alapuló autorouterek
 - Az autorouterekhez hasonlóan automatikus huzalozásra képesek.
 - Neurális hálózatokkal valószínűsítik meg
 - Beépített tervezéselemzés és routing stratégiakeresés
 - Gyors, 100%-os vezetékeztést tesz lehetővé
 - Automatikus tesztvektor generálása lehetséges
 - Teljesen interaktív vezetékeztési eszközöket használ
 - Az elindítás előtt előzetes útvonalakat keres.
 - Ilyen routere van például az OrCAD-nek és a Protel-nek.
- **Vezetékeztetés szempontjai**
 - Kétoldalú NYÁK esetén a tápvezeték az egyik oldalon a föld a másik oldalon menjen
 - IC láb közt, ha lehetséges ne vigyünk vezetékot
 - Tápvezeték vastagabb legyen
 - A szórt kapacitások elkerülése végett az egyik oldalon É-D, a másik oldalon K-NY irányba fussanak a vezetékek.
 - Földhurok kialakítása tilos.
 - Hegyesszögű vezetékcsatlakozás kerülendő
- **Többrétegű NYÁK huzalozása**
 - Lehetőség van kettőnél több rétegű NYÁK kialakítására.
 - A Winboard-ban New Netlist ablakban lehet meghatározni a rétegek számát.
 - Huzalozásnál az egyik rétegről a másikra úgy lehet áttérni, hogy a vezetékot „letesszük” oda, ahol át akarunk térni egy másik rétegre és a V billentyűt addig nyomjuk, amíg a szükséges rétegbe nem érünk.
 - Az átmenő furat több rétegen is keresztülmehet.
 - A gyártásnál a furatokat galvanizálni kell.
- **Alkatrész elhelyezés szempontjai**
 - Próbáljuk minél kisebb felületen elhelyezni az alkatrészeket
 - A tranzisztornak (egyres ellenállásoknak) nagy a disszipációja, ezért tranzisztor közelébe ne tegyünk semmit.
 - Hűtőbordának hagyjunk helyet, ha szükséges.
 - Próbáljuk meg esztétikusan elhelyezni az alkatrészeket.
 - Integrált áramkört tartalmazó NYÁK esetén célszerű az IC-hez logikailag közvetlenül csatlakozó alkatrészeket az IC közelében helyezni el, a hosszú hozzáfűzések elkerülése végett.

- A hangolható alkatrészeknél (potenciométer, trimer kondenzátor...) biztosítsuk, hogy ültetés után is hangolhatóak legyenek.

NYÁK - tervező programok szolgáltatásai és egyéb funkciói

- **Hibaellenőrzés az a DRC (design rule check)**
 - be lehet állítani számtalan szabályt egy ilyen áramkör tervezőbe pl. mennyi lehet a minimális vonalvastagság, két vonal között, két vezeték között mennyi lehet a minimális távolság, furat átvezető furat és rendes furat között mennyi lehet az átvezető távolság, furat és vezeték között mennyi lehet a távolság, SMD tok és vezeték között mennyi lehet a minimális távolság, stb. Ezt le tudja ellenőrizni a NYÁK ellenőrző, hogy ennek megfelel-e vagy sem.
- **NC furatozás**
 - Mivel a NYÁK -ot valamilyen NC géppel kell fúrni (ez lehet sima vagy lézer, az eredmény szempontjából mindegy), ezt a fúrót valahogy vezérelni kell és ezt le lehet, az NC fúró file-t gyártani a NYÁK tervezőben.
 - Meg kell adni neki, hogy NC fúró file-t hozzon létre, meg kell adni, hogy milyen típusú NC file legyen és azt legenerálja.
- **Automatikus vezérlő berendezés (DRILL)**
 - Ez egy automatikus vezérlő file, szinten kérhető a NYÁK tervezőtől, hasonló a felépítése, mint az NC gépé vagy NC file-é.
 - Hasonlóan az NC gép teszteléséhez és vezérléséhez meg kell adni, hogy milyen tester, hol vannak a teszt pontok, stb. és ezután legenerálható a gép vezérléséhez szükséges file. Ez eléggé bonyolult funkció.
- **Foto-plotter vezérlés**
 - Minden egyes réteg fóliára kerül.
 - Több réteg szükséges a vezérléshez, ezek a rétegek régen foto-plotterrel készültek, mert az tudott megfelelő kontrasztos dolgot készíteni.
 - Manapság már ezt lézernyomtatóval csinálják, de ugyanazt a foto-plottert emészti meg a nyomtató és készíti belőle a fóliát.
 - Ez a foto-plotter file úgy nézett ki, hogy melyik pozícióba milyen alakzatot kell levilágítani.
 - Pl. voltak komplett furatok, pl. ez egy kör alakú pötty, ez egy négyszögletes pötty, ilyen átmérővel, olyan átmérővel. Lehetett irányítani, hogy pl. egyszer villantsa rá, egyszer jelenjen meg vagy kapcsolja be a lámpát és folyamatosan mozgassa és ezzel lehetett vezetékét csinálni.
 - Ezt Gerber file-nek is szokták nevezni. Ez a Gerber a foto-plottergyártónak a neve, ma is létező cég. Ipari szabvány lett a foto-plotter, így jelent meg a Gerber file. Hasonlatos, mint a HP plottervezérlő file-ja, semmi különös nincsen benne és azóta is ezt használják. Nagyon régi szabvány, kicsit mindig dolgoznak rajta, de működőképés.
- **Új alkatrész generálása**
 - Ez a library editor funkciója.
 - Abban az esetben, ha nincs meg az alkatrész a library-ban, amit én szeretnék használni, ezt valahogy létre kell hozni.
 - Le kell rakni, hogy hol milyen alakzat legyen a nyomtatott áramkörön, az alakzatnak mi legyen a neve, ill. mi legyen a száma.
 - Ezzel hozzá lehet kapcsolni a sematikus rajzhoz.

Számítógépes Elektronikai Tervezés

1. Elvi kapcsolási rajz szerkesztés eszközei, folyamata. Alkatrész szimbólumok felépítése elemei. Alkatrészek típusai (homogén, heterogén), alkatrészkönyvtárak. Hierarchikus és hagyományos tervezési módszer elve, eszközei.

Elvi kapcsolási rajz szerkesztés eszközei

Az OrCAD Capture integrált fejlesztői környezetet biztosít a kapcsolási rajz és alkatrészszerkesztés számára.

Kapcsolási rajz eszköztár (Schematic toolbar)

Elektromos objektumok	Nem elektromos objektumok (rajzeszközök)
Alkatrészek (part)	Vonal (Line)
Vezetékek (wire)	Vonalszakaszok (Polyline)
Vezetékek elnevezése (Net Alias)	Négyzet (Rectangle)
Sínek, buszok (Bus)	Ellipszis (Ellips)
Összeköttetések-rövidzár, bujtatás- (Junction)	Körív (Arc)
Tápfeszültség szimbólum (Power)	Szöveg (Text)
Föld szimbólum (Ground)	Képek (Picture)
Hierarchikus blokk (Hierarchical blokk)	
Portok (Hierarchical port)	
Lapok közötti hivatkozások csatlakozója (off page connector)	
Nem csatlakoztatott lábkivezetések (No connect)	

A tervezés folyamata

1. Új projekt létrehozása
2. Alkatrészek elhelyezése és összekötése
3. Alkatrész hivatkozások megoldása (reference designators)
4. Tervezési szabályok ellenőrzése (Design Rules) (DRC)
5. Lapok közötti hivatkozások megadása (Off page connector)
6. Kereszt hivatkozási lista készítése (cross reference)
7. Alkatrész és összeköttetés tulajdonságok szerkesztése (properties)
8. Kötési lista elkészítése a szimulációhoz és/vagy a NYÁK tervezéshez
9. Alkatrésztábla, darabjegyzék elkészítése (BOM=Bill of Materials)

Alkatrész szimbólumok → Edit Part

Shape → milyen a lábkivezetés

Zero length → 0 hosszúságú láb

Type → Típusa: tervezési szabály ellenőrző, az alapján ellenőrzi a kapcsolat elvi helyességét

Alkatrész tulajdonságok (jobb gomb → properties): az alkatrész tulajdonságait adhatom meg

- bármilyen tulajdonságot hozzárendelhetek az alkatrészhez

- szűrőket lehet alkalmazni (filter by)

Alkatrész hivatkozások: (Reference designators)

-Az alkatrészeket azonosítják a kapcsolási rajzon, a kötési listán valamint a NYÁK lapon.

-Az elnevezéseket szabvány rögzíti IEC 61346.

Hivatkozás	Alkatrész típus
C	Kondenzátor
D	Dióda
F	Biztosíték
J	Csatlakozó (hüvelyes)
K	Relé
L	Tekercs
M	Motor
P	Csatlakozó (tűs)
Q	Tranzisztor
R	Ellenállás
S	Kapcsoló
T	Transzformátor
U	Integrált áramkör

A hivatkozások megadhatóak kézzel vagy automatikusan.

Alkatrészek típusai

-Homogén alkatrészek (Homogeneous Part)

- egy tokozáson belül ugyanolyan részegységeket találunk
- a részegységek azonos számú részegységgel rendelkeznek
- a kivezetések azonos megnevezésekkel rendelkeznek
- a kivezetések sorszámozása különböző
- egyes részegységek több lapon helyezkednek el

-Heterogén –összetett- alkatrészek (Heterogeneous Part)

- egy tokozáson belül a részegységek különbözőek
- a kivezetések száma az egyes részegységeknél különböző és egymástól független
- egyes részegységek több lapon helyezkednek el

Alkatrész könyvtárak

-Az alkatrészeket szervezve tároljuk

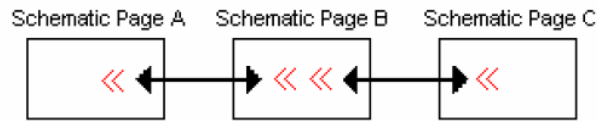
-külön könyvtárakat tartalmaznak, amikben szimulációs alkatrészeket tárolunk

-tartalmazhat olyan alkatrészt, amihez hozzá van rendelve a láblenyomat

Tervezési módszerek

1. Hagyományos tervezési módszer (Flat Design)
 - A kapcsolási rajz több lapból állhat

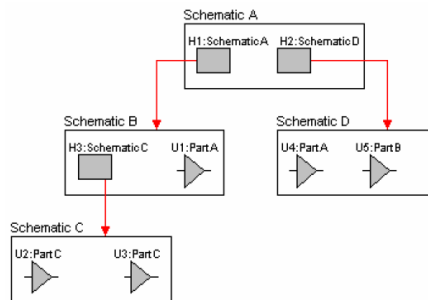
- valamelyik lapon lévő jel csatlakozik ugyanazon könyvtár bemenő jeléhez a lapok közötti hivatkozások csatlakozóinak segítségével



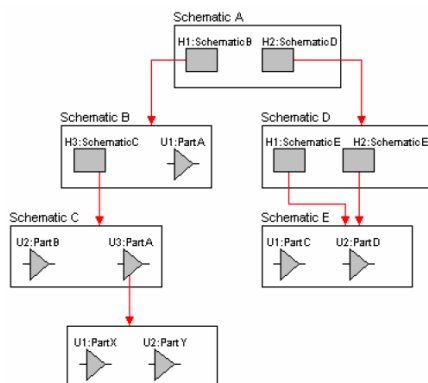
- az összes alkatrész a hierarchia ugyanazon szintjén helyezkedik el
- az összes kapcsolási rajz ugyanabban a könyvtárban helyezkedik el
- nagyméretű, számos kapcsolási rajzból álló terveknel használata nem előnyös, mert a csatlakozók neveinek és helyének számon tartása nehézségekbe ütközik

2. Többszintű tervek készítése (Hierarchical Designs)

- Egymással logikailag összefüggő kapcsolási rajz blokkok egymás alatt helyezkednek el
- a hierarchia legfelső szintjén a kapcsolási rajz blokkvázlata található
- az egyes blokkok, amik a hierarchia alacsonyabb szintjein helyezkednek el, valójában kapcsolási rajzok (PSpice vagy HB modellek)
- két fajta hierarchiát különböztetünk meg:
 - egyszerű hierarchia: 1:1-es megfeleltetés áll fenn a hierarchikus blokk és a kapcsolási rajz között



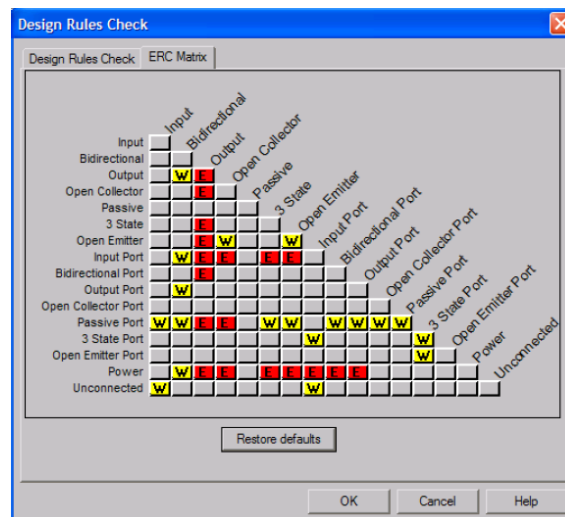
- Komplex hierarchia: több az 1-hez megfeleltetés áll fenn a hierarchikus blokk és a kapcsolási rajz között




2. Tervezési szabályok ellenőrzésének eszközei, folyamata. ERC mátrix felépítése; DRC; Jelentések riportok készítésének célja, eszközei

Tervezési szabályok ellenőrzése (Design Rules Check =DRC)

- DRC- lehetővé teszi a kapcsolás elvi helyességének ellenőrzését előre megadott szabályok szerint
- Ezeket a szabályokat az ERC mátrixban adjuk meg, OrCAD Capture esetén
- Ezt a kötési lista elkészítése előtt mindig le kell futtatni
- Az alkatrészek összeköthetőségét az egyes lábkievezetések típusa határozza meg
- Az alkatrész lábak típusa lehet:
 - háromállapotú (3 state)
 - kétirányú (Bidirectional)
 - bemenet (input)
 - nyitott kollektor (open collector)
 - nyitott emitter (open emitter)
 - kimenet (output)
 - passzív (passive)
 - tápfeszültség (power)
- A tervezési szabályellenőrző az összeköttetésben lévő lábak típusának megfelelően, az ERC mátrix beállításai alapján figyelmeztető vagy hiba üzenetet küld a felhasználónak
- A mátrix alapbeállításait felülbíráhatja, de ez még nem jelenti a hiba megszüntetését



- A szabályellenőrző vizsgálhatja meg az egész tervet vagy csak az általunk kiválasztott elemeket.
- A futtatás eredménye egy szöveges fájl, amely tartalmazza a hiba vagy figyelmeztetés leírását és pozícióját a kapcsolási rajzon.
- A hiba helyének pontos behatárolására a kapcsolási rajzon egy grafikai elemet használ: 

A programmal ellenőrizhetjük ezen kívül:

- a hierarchikus és lapok közötti hivatkozások csatlakozóit
- azonos hivatkozással rendelkező alkatrészeket
- be nem kötött lábakat
- látható, de be nem kötött tápfeszültség lábakat

- rácstra nem illeszkedő áramköri elemeket

Jelentések, riportok készítése

- egy tervező programban számos kapcsolási rajzra vonatkozó jelentést, riportot lehet készíteni
- segítséget nyújtanak a felhasznált áramköri eleme helyének, darabszámának és tulajdonságainak gyors meghatározása

Ilyenek:

- kereszt referenciahivatkozás (cross reference)
- alkatrész jegyzék (BOM)

Kereszt referenciahivatkozás (Cross Reference)

- célja az alkatrész tervdokumentációbeli és alkatrész- könyvtárbeli helyének kijelzése.
- tartalmazza az összes alkatrészt hivatkozással, kapcsolási rajz névvel, lapszámmal és alkatrész könyvtárbeli nevével
- kiíratható vele a kapcsolásrajzbeli X-Y koordináta és több részáramkört tartalmazó tokozáson belül a fel nem használt elemek listája
- a program kimenete egy szöveges fájl

Alkatrész jegyzék (BOM = Bill of Materials)

- Felhasznált áramköri elemek listája
- tartalma alapbeállítás szerint az alkatrész neve, hivatkozása, darabszáma
- a felhasználónak lehetősége nyílik egy saját alkatrész listát összeállítani, amelyben az általa kiválasztott tulajdonságok is fel lesznek sorolva
- a program kimenete szöveges fájl; ezek közé tartoznak:
 - kötési lista (net list) a szimulációhoz/NYÁK-hoz
 - kapcsolási rajz

3. A számítógépes áramköri szimuláció kialakulása, fejlődési fázisai. PSpice tulajdonságai

SPICE – Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis

- a PSpice a Spice programok családjába tartozik
- Az integrált áramkör szimulációján van a hangsúly
- a program SPICE2 változata ipari szabvánnyá vált

- a program fejlesztését nyilvános felhasználók támogatták ezért a program nyilvános felhasználású
- a SPICE3 annyival több a 2-es verziónál, hogy ez a Berkeley CAD rendszerének egy modulja lett.
- A PSpice a Cadence terméke, kereskedelmi program, de ugyanazokat az algoritmusokat használja, mint a SPICE”.
- a PSpice technológia független

A SPICE2 kereskedelmi verziói három csoportba sorolhatók:

- Az eredeti nagyszámítógépekre készült verziók
 - HSPICE (legjobb szimulációs program)
 - I-SPICE
 - RAD-SPICE
- Az IBM PC-kre készült verziók
 - All-Spice
 - I-SPICE
 - Z-SPICE
- Fejlettebb verziók
 - SPICE-plus
 - DSPICE
 - PSpice PC-n futó SPICE
 - BSPICE

PSpice használata

- A bemeneti fájlja szöveges ASCII formátumú fájl, kiterjesztése '.CIR'
- A PSpice által létrehozott kimeneti fájl szöveges ASCII formátumú fájl, kiterjesztése '.OUT'
- Ha tranziens analízist vagy frekvencia tartománybeli vizsgálatot hajtunk végre, akkor '.DAT' kiterjesztésű fájlba menthetünk
- Használhatunk még mellék-áramköröket tartalmazó '.INC' (include) fájlt, vagy komplex áramköröket tartalmazó '.LIB' fájlt.
- A program érzéketlen a kis és nagy betűkre
- az áramköri elemek azonosítóinak egyedinek kell lenni, nem lehet 2 ugyanolyan
- az áramköri elemek azonosítói nem tartalmazhatnak ékezetes karaktert
- az áramköri elemek azonosítói nem tartalmazhatnak üres karaktert, helyette '_' kell használni
- az adatfájl első sora a megnevezés/megjegyzés számára van fenntartva
- az áramkörnek mindig tartalmaznia kell egy 0-s azonosítójú csomópontot ez lesz a referencia csomópont, amihez képest az összes csomópont feszültségét kiszámoljuk
- minden csomóponthoz 2 áramköri elemnek kell csatlakoznia, nem lehet lebegő alkatrész
- az áramkört leíró '.CIR' fájl utolsó sora mindig az '.END' parancsot kell tartalmaznia
- különleges karakterek a következők:
 - * - megjegyzések azonosítására
 - + - előző sor folytatásának jelzésére
 - . - (dot parancs) parancsok kiadására
- az adat mezőket szóközzel kell elválasztani

Prefixumok

szám	prefixum	név
10^{12} vagy 1E12	T vagy t	tera
10^9 vagy 1E9	G vagy g	giga
10^6 vagy 1E6	MEG vagy meg	mega
10^3 vagy 1E3	K vagy k	kilo
10^{-3} vagy 1E-3	M vagy m	milli
10^{-6} vagy 1E-6	U vagy u	mikro
10^{-9} vagy 1E-9	N vagy n	nano
10^{-12} vagy 1E-12	P vagy p	pico
10^{-15} vagy 1E-15	F vagy f	femto

Alkatrész modellek

- a SPICE programokban nem minden alkatrésznek kell modellt definiálni.
- passzív lineáris áramköri elemek (kondenzátor, ellenállás, tekercs) állandó értéket vesznek fel a szimuláció során, ezért nem kell nekik modellt definiálni, csak értéket kell megadni
- ha nem lineáris és nem állandó értékű passzív vagy aktív elemet akarok szimulálni, akkor annak a modelljét is meg kell adni

Utasítása: .MODEL

szintaxis: .MODEL <név> <típus> (<paraméter név> = <érték>)

név: a modell azonosítója; pl.: BC546

típus: a PSPICE-ban definiált modell neve

(paraméter név=érték): azok a paraméterek, melyeket meg kívánunk változtatni is

Modell típus	elnevezés	típus
kondenzátor	C	CAP
Dióda	D	-
Feszültség vezérelt feszültségforrás	E	E
Áramvezérelt áramforrás	F	-
Feszültségvezérelt áramforrás	G	-
Áramvezérelt feszültségforrás	H	-
Tranzisztor (bipoláris)	Q	NPN, PNP
Független áramforrás	I	-
Tekercs (csatolt)	K	CORE
Tekercs	L	IND
N és P csatornás MOSFET	M	NMOS, PMOS
Ellenállás	R	RES
Feszültségforrás	U	-
Részáramkör	X	-

- a PSpice modellek részben vagy teljesen titkosíthatók azért, hogy az integrált áramkörök belső szerkezetéből illetéktelenek ne szerezhessenek információt

Dot parancsok:

- .OP (Operation Point) - Munkaponti analízis
- .AC - váltakozó áramú analízis
- .TRAN - időtartománybeli analízis
- .DC - egyenáramú analízis
- .PRINT - egy feszültség értéket ír ki
- .PLOT - sornymatatóra történő eredménykirajzolás

6. Nyomtatott áramkör tervezésének eszközei, folyamata

A tervezés eszközei:

- kapcsolási rajzszerkesztő (OrCAD Capture, ~ CIS)
- alkatrész szimbólumszerkesztő (Capture Part Editor)
- Alkatrész láblenyomat szerkesztő (PCB Editor)
- Nyomtatott áramkör tervező (PCB Editor)
- Utófeldolgozó (gyártó fájlok feldolgozása) (PCB Editor)

A tervezés folyamata:

1. Tervezési előkészület

- a) Adatlapok összegyűjtése
- b) Tokozási/láblenyomat szükséglet összegyűjtése
- c) Alkatrészek megkeresése a Capture alkatrész könyvtáraiban. A hiányzó alkatrészek megrajzolása Capture Part Editor-ban.

2. A projekt létrehozása a Capture-ben

- a) Elvi kapcsolási rajz (schematic) megszerkesztése
- b) Alkatrész hivatkozások (refdes) sorszámozásának törlése és egyedi sorszámozás hozzárendelése (annotate)
- c) Több azonos áramkört tartalmazó tokozások megfelelő felhasználásának ellenőrzése
- d) Globális tápfeszültség hálózatok megfelelő csatlakozásának ellenőrzése

- e) Egymáshoz tartozó alkatrészek csoportokba rendelése az alkatrész elhelyezésének megkönnyítése szempontjából
- f) Tervezési szabályellenőrző (DRC) lefuttatása a Capture-ben, majd az esetleges hibák kijavítása
- g) Alkatrészlista (BOM) létrehozása a hiányzó láblenyomatok megtalálása céljából
- h) A láblenyomatok megkeresése a PCB Editor könyvtárában és ezek hozzárendelése a Capture-ben az alkatrészekhez. A hiányzó láblenyomatok megrajzolása, az alkatrész adatlapban található ajánlott láblenyomatok rajza alapján
- i) Kötési lista létrehozása a NYÁK tervező program számára

3. A NYÁK-ra vonatkozó követelmények definiálása

- a) A NYÁK mérete és a szerelőfuratok helye
- b) Alkatrész elhelyezési megfontolások (szélességi korlátok, magassági korlátok, összeszerelési módszer)
- c) Zaj és árnyékolási követelmények
 - minden eszköz zajforrás, minden eszköz zajt sugároz
 - árnyékolni kell a készüléket, hogy kívülről ne érje semmilyen hatás
- d) Alkatrész szerelési technológia (SMT, THT)
 - kézi vagy gépi szerelés → meghatározza az alkatrész elhelyezését
- e) Vezetősáv szélességi és szigetelési távolság követelmények meghatározása
 - vezetősáv szélességét a rajta átfolyó áram erőssége határozza meg
 - a szigetelősáv 2 vezetősáv közötti távolság; a feszültség erőssége határozza meg
- f) Szükséges átvezetések (via) és SMD lábak kivezetése (fanouts) méretének definiálása
- g) Tápfeszültség/földelési és vezetékvezési rétegek számának meghatározása

4. A kötési lista betöltése a NYÁK tervező programba

- a) Korábban meghatározott (3.) paraméterek beállítása a programban
- b) Terv elmentése egy áramköri fájlként

5. A NYÁK alapbeállítása

- a) Fizikai tulajdonságok
 - NYÁK körvonalának megrajzolása vagy körvonal beimportálása más programból
 - Szerelő furatok elhelyezése (mounting holes)
 - Alkatrész -, és huzalozás mentes területek definiálása (szerelőfuratok köré nem kerülhet huzalozás)
 - Mérethálók, dokumentációk hozzáadása
- b) Előzetes alkatrész elhelyezés
 - Alkatrészek, ill. alkatrészcsoportok elhelyezése
 - DRC lefuttatása az alkatrész láblenyomat és alkatrész elhelyezési problémák feltárása céljából
- c) Rétegek beállítása (Layer)
 - Tápfeszültség és földelési rétegek beállítása
 - Huzalozási rétegek beállítása (routing layers) – TOP, BOTTOM réteg
 - Föld és tápfeszültség hálózat hozzárendelése a tápfeszültség rétegekhez (plane layer)
 - Hőcsapda paramétereinek beállítása (Thermal relief)
 - Átvezetések vagy viák beállítása
 - Tervezés szabályellenőrzés lefuttatása a rétegek hibáinak feltárása céljából
- d) Végző alkatrész elhelyezés
 - Alkatrész elhelyezési szabályok ellenőrzése
 - Szétdarabolt közbenső rétegek esetén az alkatrészek elhelyezésének ellenőrzése
 - Polarizált alkatrészek irányának ellenőrzése (kondenzátorok, diódák.. stb.)

6. A speciális hálózatok kézi és korlátozottan automatikus huzalozása

- a) Tápfeszültség és földelési pontok kivezetése
- b) Kritikus hálózatok kézi huzalozása
- c) Tervezési szabályellenőrző lefuttatása, hibák kijavítása

7. Automatikus huzalozás

- a) Autorouter beállítása
- b) Autorouter futtatása
- c) Tervezési hibaellenőrző (DRC) lefuttatása, esetleges hibák futtatása

8. Terv véglegesítése

- a) Huzalozás utáni vizsgálat
 - éles (hegyes) szögben csatlakozó vezetékek
 - Hosszú párhuzamos vezetősávok
 - Átvezetések helye
 - Pozíciónyomat és feliratok
- b) A NYÁK tisztítása
 - A hibás vezetősávok újravezetése
 - Végző DRC lefuttatása
- c) Szinkronizálása a kapcsolási rajz szerkesztővel

9. Gyártó fájlok elkészítése

- a) Gerber vagy ODB++ típusú fájlok (rajzlati fájlok)
- b) Fúrófájl → CNC fájl excellon formátuma
- c) Kontúrmaró fájl

7. Nyomtatott áramköri elemek és tulajdonságaik (vezetősávok, forrszemek, átvezetések, hőcsapdák). Vezetősávok elektromos tulajdonságai, vezetősáv szélesség méretezésének elve. Automatikus huzalozók működési elv szerinti osztályozása. Autorouterek beállítási lehetőségei, használata.

Nyomtatott áramköri elemek és tulajdonságaik

A nyomtatott áramköri villamosan vezető rajzolatokat az alábbi elemek alkotják:

- forrszemek (pad)
- fémezett furatok (plated through hole)
- vezetősávok (trace, track)
- rétegek közötti átvezetések (via)
 - betemetett (buried via)
 - vak átvezetés (blind via)
- hőcsapdák (thermal relief)
- zónák (teljesen kitöltött vagy berácsozott rézfelületek ún. copper pour)

A villamosan nem vezető rajzolatok közé tartoznak:

- szitanyomat, pozíciónyomat (silk screen)
- forrasztás gátló lakkréteg (solder mask)

A további rajzolatok a gyártás és az összeszerelés számára készülnek:

- forrasztó paszta maszk (solder paste)
- fúrási rajz (drill drawing)
- összeállítási (gyártási) rajz (fabrication drawing)
- összeszerelési rajz (assembly drawing)

A nyomtatott áramkörök állnak:

- hordozó rétegből
- rézfóliából

A hordozó réteg szerves vagy szervetlen anyagból készült szigetelő. A hordozó réteg jellemző elektromos tulajdonságai:

- dielektromos állandó (permitivitás ϵ_r)
- dielektromos veszteség (loss tangent)
- átütési feszültség
- szigetelési ellenállás

A vezetősávok alapanyaga réz, melyeknek vastagságát oz-ban (uncia), a vezető anyag négyzetlábonkénti súlyát (oz/ft²)-ban adják meg.

A metrikus mértékegység rendszer szerinti rézfólia vastagságok:

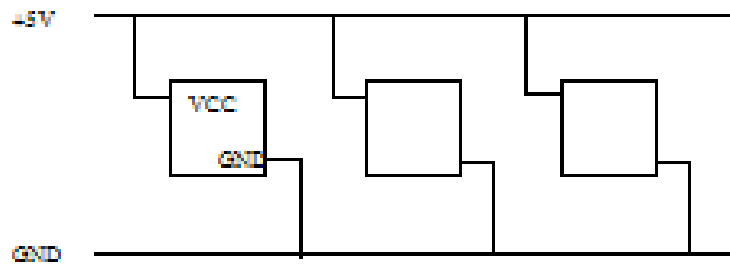
- 0,5 oz (17,5 μm)
- 1 oz (35 μm)
- 2 oz (70 μm)
- 3 oz (15 μm)

A rézfólia jellemző elektromos tulajdonságai:

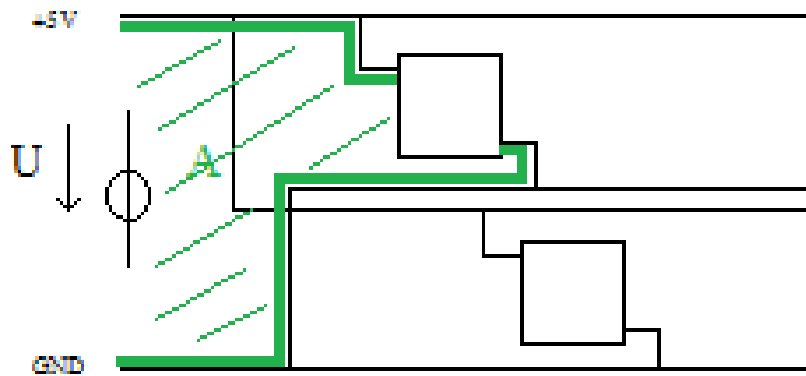
- vezetőképesség (mho/cm) (mho=1/ohm)
- rézveszteség (copper loss)

Vonatkoztatási vezeték kialakításának módjai

a) vonalszerű kialakítás



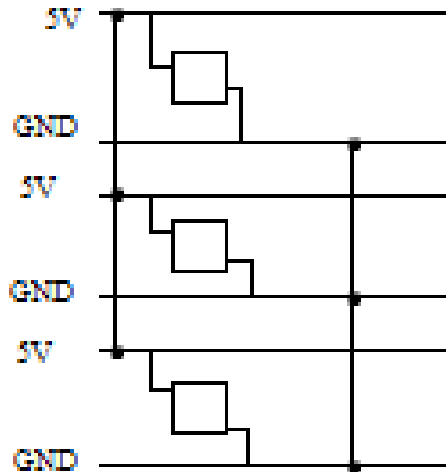
b) Csillagszerű kialakítás



$$N=1; L = \mu * \frac{N * A}{l}; l=35\mu\text{m}$$

Arra kell törekedni, hogy minél kisebb legyen a tápfeszültség hurok.

c) Mátrixos kialakítás



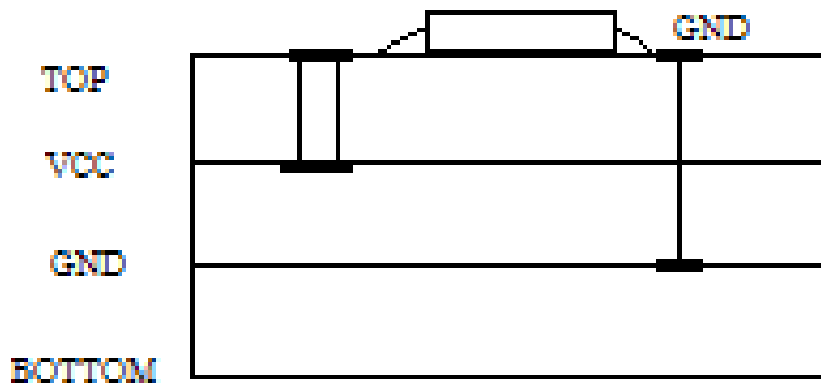
Árnyékolás:

- alkatrész/készülék szinten transzformátor/hangoló tekercs – alumínium árnyékoló dobozba kerül
- az egész berendezést árnyékolják

Particionálás:

- nagyfrekvenciás áramköri elemek
- középfrekvenciás áramköri elemek
- alacsonyfrekvenciás áramköri elemek kerülnek a legtávolabb

Földelés és tápfeszültség kialakítás



A vezeték méretezésének elve

- a vezeték szakaszok méretezésének elvi alapját a vezető anyag áramterhelhetőségi paraméterei képezik, melyek az IPC 2221 (Generic Standard on Printed Circuit Board) szabványban közölt nomogramok ábrázolnak.

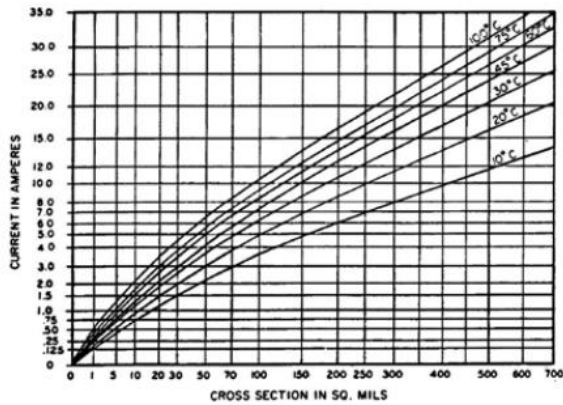


Figure A External Conductors

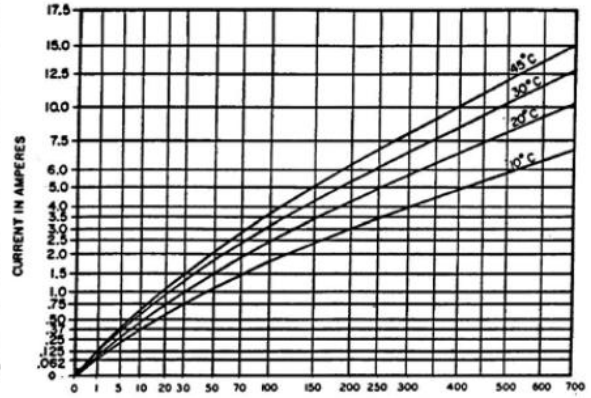


Figure C Internal Conductors

Vezetősávok áramterhelhetőségi értékei.

- adott I értéke, a környezeti hőmérséklet → levitítjük a keresztmetszetre
- a görbék egyenlete a nomogramok alapján: $I = k \cdot \Delta T^{\beta_1} \cdot A^{\beta_2}$, ahol
 - I – a vezetők átfolyó áram
 - k, β_1, β_2 – konstansok
 - ΔT – a hőmérséklet emelkedése
 - A – a vezeték keresztmetszete mil²-ben

	Külső rétegre	Belső rétegre
k	0,0647	0,0150
β_1	0,4281	0,5453
β_2	0,6732	0,7349

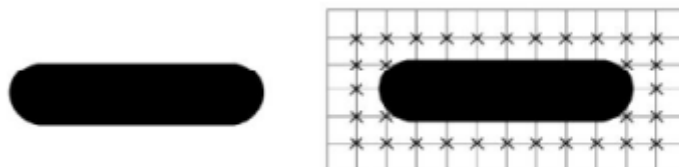
- ezeknek a konstansoknak a közelében a legkisebb a hibalehetőség
- IPC 2152-Standard for Determining Current Carrying Capacity in Printed Circuit Design
 - összesen 92 nomogramot tartalmaz
 - pontosabban megadja a hőmérséklet emelkedés hatását

Automatikus huzalozók működési elve

- az elvi összeköttetéseket automatikusan huzalozza össze
- kézzel, fél automatikusan, interaktív módon, teljesen automatikusan lehet a vezetékvezést megvalósítani (automatikusnál az autorouter saját maga vezetékvez)
- A legjobb huzalozást kézzel lehet elérni

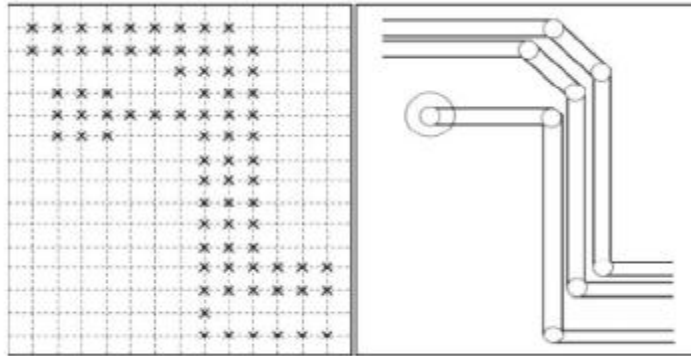
A mérnöki gyakorlatban automatikus huzalozók két alapfajtája használatos:

- Rácsaló alapú huzalozó (EAGLE, OrCAD Layout, stb)
- Rácsaló nélküli, alaktatokon alapuló huzalozó



Vezetőszakasz megvalósítása alaktatokon alapuló és rácsaló alapú huzalozóval

- a) Rácsháló alapú huzalozó jellemzői:
- a vezetékezés felhasználó által megadott pontokon helyezkedik el = huzalozási rács = routing grid
- b) Rácsháló nélküli, alakzatokon alapuló huzalozó
- alakzatokat tárol, nem rácspontokat
 - sokkal sűrűbb rajzolat valósítható meg vele



Vezetőszakaszok megvalósítása alakzatokon alapuló és rácsháló alapú huzalozóval

Rácsalapú huzalozó technikák:

- 1) Sweep (söprés)
 - egymást követő huzalozási menetek
 - huzalozási ablakok mérete, sorrendje beállítható
 - a NYÁK közepén kezdi a huzalozást
 - ha minden összeköttetést létrehozott az ablakon belül, átugrik a következőre és azt csinálja
- 2) Shove (eltolás)
 - optimális helyet keres az adott vezeték számára úgy, hogy az útjába eső vezetékeket áthelyezi máshova
 - ha forrszem/átvezetés kerül az útjába, azt megpróbálja kikerülni

Alakzatokon alapuló huzalozó

- konfliktus feloldó algoritmust alkalmaz
 1. összeköti az összes összeköttetést, nem törődve a rövidzár képződéssel
 2. a konfliktusokat megpróbálja feloldani a vezetékek áthelyezésével

Autorouterek beállítási lehetőségei, használata

- az autorouter a beállítási lehetőségeket egy (*.sf) fájlban menti le és ez tartalmazza mind a furat-, és felületszerelt technológia az automatikus huzalozó paramétereit
- ezek a fájlok tartalmazznak:
 1. söprési beállításokat (route sweep)
 2. huzalozási állapotokat (route pass)
 3. huzalozási réteg beállításokat (route layer)
 4. szigetelő távolság beállítások (route spacing)

1. Söprési beállítás (Route Sweep)

- az OrCAD Layout 7db söprési beállítást tesz lehetővé:
 - Sweep 0 - interaktív huzalozó viselkedését befolyásolja, huzalozási ablak méretének beállítása
 - Sweep 1 – előzetes huzalozás → egyszerű mintázat alapján huzalozási sávokat alakít ki
 - Sweep 2 – labirintusszerű huzalozás – összeköttetések nagy részét huzalozza, oly módon, hogy különböző útvonalak mentén alakítja ki a vezetősávokat. Az autorouter a huzalozási ablakon belüli összes összeköttetést behuzalozza, majd ugrik a következő ablakra
 - Sweep 3,4,5 – akkor kell alkalmazni, ha a NYÁK-on alkalmazott huzalozásnak a 93%-a elkészült
 - Sweep 3 – a hiányzó összeköttetéseket alakítja ki; ha lehetséges a nagyon bonyolultan kialakítható összeköttetéseket kihagyja
 - Sweep 4,5 – a hátralévő összeköttetéseket próbálja kialakítani újabb 100 próbálkozással
 - Sweep 6 – ebben az állapotban a huzalozó megpróbálja csökkenteni a viák számát, megpróbálja kisimítani a hegyes szögben hajló vezetéseket (clean up)

2. Huzalozási állapot (Route Pass)

- Minden egyes söprésen belül 3 db huzalozási állapot van definiálva. Ezek lehetnek engedélyezve, újra engedélyezve vagy befejezve. Az autorouter a „Done” jelzőbitet automatikusan beállítja a huzalozás befejezése után
- A huzalozási állapotok típusa lehet:
 - heurisztikus
 - labirintusszerű
 - Auto DFM – gyárthatóra tervezés
 - Fanout
 - Via számának csökkentése
 - Auto CDA – eltávolítja a befejezetlen összeköttetések vezetősávjait az újravezetésekhez
- A huzalozási menetekben belül beállítható az átvezetések használatának mértéke (via cost), az (retry cost) az útban lévő vezetősávok eltolási szükségességének mértéke és a (route limit) az adott összeköttetés létrehozásának szükségessége.
 - via cost: annak a mértéke, hogy milyen óvatosan vagy szabadon használhatja a router a viákat az összeköttetések létrehozására. A via cost úgy definiálható, mint egy hozzávetőleges távolság, amelyet a router megtesz a réteg számára engedélyezett irányra merőlegesen, horizontálisan, vagy vertikálisan addig, ameddig az átvezetés használatára nem tér át. Minél nagyobb ez a szám, annál kisebb a valószínűsége a via használatának
 - Retry cost: azon próbálkozások hozzávetőleges száma, ameddig a router megpróbálja eltolni az útjában lévő vezetősávokat, mielőtt felszedné azt vagy átvezetné rajta az új vezetősávot.

- Route limit: annak a mértéke, hogy mennyi erőfeszítést tegyen a router az adott vezetősáv elkészítésére. Minél nagyobb ez a szám, annál nagyobb a valószínűsége az összeköttetések létrehozásának
- Route attempt: a router huzalozási ablakon belüli összeköttetések létrehozására szánt próbálkozások száma. Minél nagyobb ez a szám, annál nagyobb az összeköttetés létrejöttének valószínűsége.

3. Huzalozási réteg beállítás (Route Layer)

- azt választjuk ki, hogy az adott söprés mely rétegekre legyen engedélyezve:
 - Enabled → engedélyezve
 - Layer cost → megadja, mennyire részesítjük előnyben az adott rétegen történő huzalozást. Minél nagyobb a szám, annál kevésbé kívánatos a vezetősávok elhelyezése az adott rétegen
 - Direction → megadja azt az irányt, amerre a vezetősávok elhelyezése történjen elsődlegesen (vertical, horizontal, bármilyen)
 - Between → engedélyezzük-e az IC lábai között történő vezetősáv elhelyezésének szükségességét

4. Szigetelő távolság beállítás (Route spacing)

- beállítható a NYÁK elemek közötti szigetelőtávolságok mértéke:
 - vezetősávok közötti szigetelő sáv mértéke
 - vezetősáv és via közötti szigetelő sáv mértéke
 - vezetősáv és forszem közötti szigetelő sáv mértéke
 - viák közötti szigetelő sáv mértéke
 - viák és forszemek közötti szigetelő sáv mértéke
 - forszemek közötti szigetelő sáv mértéke

8. Utófeldolgozás

- A nyomtatott áramköri fájlok gyártás előkészítési munkálatait nevezzük utófeldolgozásnak. A nyomtatott áramkör gyártó berendezések általában Gerber típusú fájlokat, az NC fűróberendezések rendszerint Excellon formátumú fűrófájlokat dolgoznak fel. Ezeket nyomtatott áramkörtervező szoftver állítja elő a tervdokumentációbeli fájlokból.
- A gyártófájl elkészítése előtt a teljes tervet véglegesíteni kell. OrCAD Layout rendszerben a Cleanup Design és DRC parancsok futtatása kitisztítja az egyes rétegeket, valamint ellenőrzi a tervezési szabályokat. A tisztítás kiterjed a 90°-os élek letörésére, a hegyes szögek kisimítására, sokszög alakzatokban lévő szükségtelen sarkok eltávolítására, egymást fedő vezetősávok megfelelő pozícióba való helyezésére.
- A felhasználó kérheti a zárolt vezetősávok feloldását és a nem használt forrszemtárak, láblenyomatok és összeköttetések tervdokumentációból történő eltávolítását.

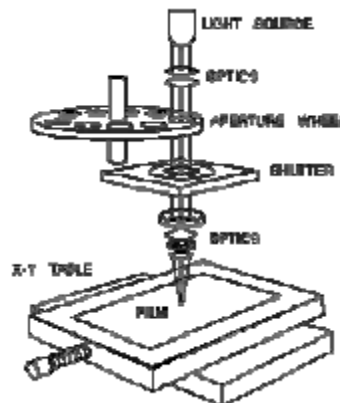
- Furat táblázat szimbólumainak ellenőrzése után a felhasználó módosíthatja az utófeldolgozó alapbeállításait. Az egyes rétegek utófeldolgozására való engedélyezése után be kell állítani a kimeneti fájl formátumát. Az egyes rétegfájlok kiterjesztései az alábbi táblázatban találhatóak meg.
- Az utófeldolgozó ezen kívül előállítja a Gerber Tool bemeneti projekt fájlt.

Réteg	fájlnév
TOP	*.TOP
BOTTOM	*.BOT
GND	*.GND
POWER	*.PWR
INNER1	*.IN1
INNER2	*.IN2
...	...
INNER12	*.I12
SOLDER MASK TOP	*.SMT
SOLDER MASK BOTTOM	*.SMB
SOLDER PASTE TOP	*.SPT
SOLDER PASTE BOTTOM	*.SPB
SILKSCREEN TOP	*.SST
SILKSCREEN BOTTOM	*.SSB
ASSEMBLY DRAWING TOP	*.AST
ASSEMBLY DRAWING BOTTOM	*.ASB
DRILL DRAWING	*.DRD
DRILL TAPE	*.TAP
FABRICATION DRAWING	*.FAB

Rétegfájlok és kiterjesztéseik.

Gerber fájlok

- A Gerber fájl formátum a nyomtatott áramkörök gyártására használt ipari szabvány. Az adatfájlt fotóplotter berendezésnek használják, vezetékek, forrszemek és más alakzatok előállítására levilágító filmen.



- A korai fotóplotterek precíz szervmotorok által X-Y irányban mozgatható asztalt tartalmaztak melyre a levilágítandó filmet helyezték. A fényforrás fénye áthaladt berendezés apertúra keréken és zárszerkezetén majd lencséken keresztül elérte a filmet. A vezérlő a Gerber fájl parancsait megfelelő asztalmozgássá, apertúra kerék felfordulásá és zárkezet mozgássá konvertálta. Amikor a zárszerkezet nyitva van az apertúra keréken lévő alakzatok fénye rávetült az optikán keresztül a filmre. Ha az asztal a zárszerkezet nyitásával egyidejűleg elmozdul a berendezés egy vonalat vetít a filmre. A megfelelő apertúrák és asztal mozgatások kiválasztásával bármilyen formájú alakzat előállítható.

- Szabványos D, G és M-kódok:
 - A D-kódok kiválasztják az apertúrát és meghatározzák, hogy a kiválasztott alakzatot meg kell rajzolni, mint egy vonalat vagy csak az alakzat képével meg kell világítani a filmet.
 - A G-kódok általános felhasználású kódok. Ki lehet választani velük a koordináta interpolációjának típusát, a poligon kitöltés ki és bekapcsolását, a mértékegység típusát.
 - Az M-kódokkal a fájl végét lehet kijelölni.
- D01 vonalak rajzolására használható
- D02 az asztal adott koordinátába való mozgatása, megvilágítás azonban nincs
- D03 az asztal adott koordinátába való mozgatása, majd megvilágítás
- D10-D999-ig terjedő kódok nem parancsok, hanem apertúra pozíciókat jelölnek
- Koordináta pozíciók: Gerber fájlokban a koordináta pozíciók teszik ki az adatok többségét. A koordináta adatok olvasását két dolog nehezíti. A decimális pont elnyomása és a nulla számjegy elhagyása.
- Decimális pont elnyomás: A koordináta adatokban a decimális pontot tudatosan elnyomják, ami főleg információs, ha tudjuk a helyét. Ez a módszer a korai számjegyvezérlésű gépek időszakából marad, amikor lyukszalagon tárolták az információkat. Akkoriban adathordozók mérete korlátos volt. Így a lehető legtöbb információt kellett összesűríteni a pár 100 byte-os adattárolóra. A leggyakrabban használt koordináta formátumok a 2.3. és a 3.4-es formátum. A koordináta formátum megadja, hogy hány egész és hány tizedes jegy alkotja a koordinátát.
 - A2.3 formátum szerint az adat két egész számból és 3 tizedes jegyből áll.
- Nulla számjegy elhagyás: Tömöríteni lehet a fájl nagyságát, ha a koordináta adatokból elhagyjuk az első és az utolsó nullaértékű számjegyeket.
 - A2.3 formátum szerint megadott 15, első nullaértékű számjegyek elhagyása (Leading Zero omission) esetén 0,015 értéknek felel meg
 - A 2.3 formátum szerint megadott 155, utolsó nullaértékű számjegyek elhagyása (Trailing Zero omission) esetén 15.000 értéknek felel meg
- Apertúra lista: A Gerber fájl csak az apertúra pozíciókat tartalmazza az apertúra keréken. Semmit nem ad meg annak alakjáról. Ezért az áramkört leíró Gerber-fájl csak akkor teljes, ha megadjuk az egyes D-kódok által leírt apertúrákat leíró fájlt. Ezt a fájlt apertúra listának hívják. Két fajta Gerber fájl formátum létezik:
 - RS-274D – Alap Gerber formátum
 - RS – 274X –Kiterjesztett formátum.

A kiterjesztett RS-274X formátum abban különbözik az alap formátumtól, hogy ez tartalmazza az apertúra listát is. Az alap Gerber formátum esetében ezt a listát külön mellékelni kell a Gerber Fájlal együtt a PCB gyártójának.