

Elektronika és mérés technika

Varga Dezső és Bagoly Zsolt

Tue Jun 5 12:00:00 CEST 2013

1. fejezet

Elektronikai kapcsolások fizikai megvalósítása

1.1. Az áramkör mint gráfelméleti probléma

Jelen alfejezet az elektronikus áramkörök egyértelmű lerajzolásával és az ehhez kapcsolódó konvenciókkal foglalkozik. Az előző fejezetekben igyekeztünk a lehető legegyszerűbb módon ábrázolni a kapcsolásokat, de a gyakorlatban inkább az átláthatóság a cél.

1.1.1. Az áramköri rajz konvenciói

Az áramkört egyértelműen definiálják egyrészt a ki- és bemenetei (beleértve a tápfeszültségeket), illetve az őt felépítő alkatrészek és az ezek közötti kapcsolatok. Amennyiben a Kirchoff-törvények teljesülnek, az áramkör mint matematikai gráf fogható fel: a gráf élei az alkatrészek (ellenállások, kondenzátorok, stb), a gráf csomópontjai pedig a tényleges áramköri csomópontok. A több kivezetésű alkatrészek árnyalják ezt a képet, de gyakorlatilag mindig igaz, hogy nagy szabadság van az áramkör „ábrázolhatóságát” illetően. Az áramkör rajzát kapcsolási rajznak (circuit diagram) nevezzük. Két kapcsolási rajz első ránézésre különbözhet, de ekvivalensek ha minden ugyanolyan alkatrész között ugyanazt a kapcsolatot megtalálhatjuk. Erre mutat példát a 1.1 ábra.

Kitérőképpen, a 1.1 ábra példáját érdemes végigbogarászni, mert a jegyzetben közölt ismeretek alapján minden részletében megérthetjük működését. A műveleti erősítő kimenete egy emitterkövető tranzisztorkapcsolás után az invertáló bemenetre van visszavezetve, ez egy nem-invertáló erősítőfokozatot alkot az R_1 és R_2 ellenállásokkal. A nem-invertáló bemenetre egy, a kimenetről az R_3 -on keresztül meghajtott Zener-dióda (ZD) kapcsolódik. A Zener-dióda feszültsége nagy pontossággal konstans, emiatt a kimenet feszültsége, ami a Zener-feszültség adott számszorosa, szintén konstans. A rendszer tehát feszültségstabilizátorként működik, éppen a XXXX fejezetben leírt funkciót valósítja

1.1.2. Földpont: az áramköri nulla potenciál rögzítése

A zéruspont kiválasztása kiemelten fontos egy áramkörben. Ennek áramköri jele egy kis talpacska (lásd 1.2 ábra). Az áramkörben az összes ilyen pontot zéruspontnak tekinthetünk, és az összes ilyen egymással vezetékes kapcsolatban van akkor is ha ez nincs jelezve. Esetenként a földpontot több kis vonalkával vagy lefelé álló háromszöggel jelölik, viszont egy adott kapcsolási rajzon ez mindig konzisztens.

Az áramkörök földpontja, null- vagy zéruspontja választás kérdése, de ezt logikusan kell megtalálni. Ha telepről üzemeltetett eszközről van szó (mobiltelefon, elektronikus kapunyitó, etc) akkor a telep (akkumulátor) egyik kivezetése jó választás. Hasonlóan logikus a tényleges fizikai földpont is, ha ezzel kapcsolatban van az áramkör, például hálózati tápellátású rendszereknél.

A földpont elnevezés kicsit félrevezető, mert mint látható nemcsak a fizikai földelés (amit villámvédelemhez is használnak) tekinthető földpontnak. Egy ideig a testpont kezdett elterjedni, de továbbra is inkább az áramköri nullapontot, vagy földpontot használjuk. Angolul annyiban egyértelműbb a helyzet, hogy a földpontot „ground”-nak, a fizikai földelést „earth”-nek vagy „earthing”-nek hívják.

1.2. Nyomtatott áramkörök kialakítása

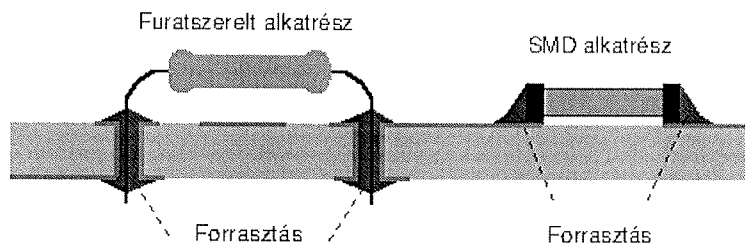
Modern elektronikai kapcsolásokat nyomtatott áramkörökön valósítanak meg. Egy kapcsolást érdemes lehet ideiglenes kialakításban kipróbálni, erre jó példa lesz a laborgyakorlaton egyes mérésekhez használható igen flexibilis rendszer. Ezzel szemben a tényleges működés, különösen nagy sebességeken (1MHz fölött), nyomtatott áramkörökkel (NYÁK) valósul meg. Angolul kevésbé hangzik viccesen a rövidítés, printed circuit board (PCB) néven emlegetik.

1.2.1. Nyomtatott áramkörök gyártása

A nyomtatott áramköri lapra forrasztással kerülnek fel az alkatrészek. A lap maga nem más, mint egy szigetelő felületen futó rézvezeték hálózat. A forrasztás mechanikailag is rögzíti az alkatrész vezetékét a fémvezetékhez, így az elektronikus kapcsolat mellett az áramkör egy mechanikai struktúrát is kap.

A szigetelő lap a NYÁK kialakítása előtt teljesen rézzel borított, amin fotografikus eljárással kémiai védőréteget alakítanak ki a kívánt áramköri rajznak megfelelően. Az optikai eljárás lényege, hogy a kezdetben egyenletesen felvitt védőréteg fényre érzékeny: ahol fény (tipikusan közeli UV) éri, ott könnyen oldhatóvá válik. A védőréteg leoldása után megmarad a rajzolat, azaz védőréteg megmarad ott ahol a vezetékek lesznek. A réz vezetőanyagot ezután újabb lépésben lemaratják ott ahol a védőréteg szabadon hagyta, ezáltal alakul ki a fizikai vezetékrajzolat. A védőréteget az utolsó lépések során eltávolítják, hogy a rézfelület forrasztható legyen.

✓ Technológiák?
- filc + FeCl₃
- fotofelület + UVmaszk + H₂O₂/HCl keverék
- ipari



1.4. ábra. Furat- és felületszerelt alkatrészek forrasztásos rögzítése a nyomtatott áramköri lapra

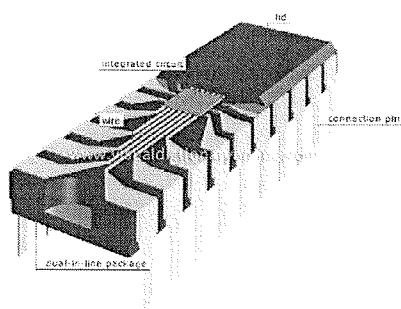
Forrasztáshoz 250-300 °C körüli olvadáspontú, réz- és aranyfelületet folyadékként jól nedvesítő fémötvözetet használnak, ami által tényleges fémes kapcsolat alakul ki az áramköri lapon futó vezetécsík és az alkatrész kivezetése között. SMD esetben a kézi forrasztás több gyakorlást igényel, de mégis jelentősen gyorsabb mint a furatszerelt alkatrészeknél – ez is egy előnye az előbbi technológiának. Modern rendszerekben a furatszerelt alkatrészeknek akkor van létjogosultsága, ha méretük mindenképpen nagy kell legyen: ilyen a nagy hőteljesítményt leadó ellenállás, nagy értékű kondenzátor vagy tekercs.

1.2.3. Nagysebességű áramkörök szempontjai

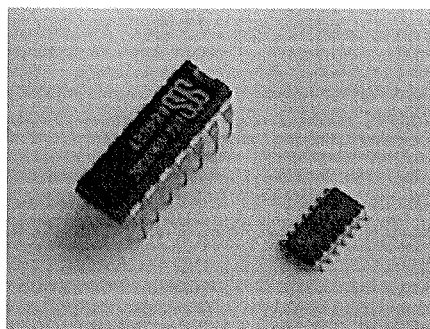
Nagysebességű áramkörök megvalósítása azon múlik, hogy a Kirchoff-törvények érvényességének feltételeit minél jobban teljesíteni lehessen. A kis méret, a gyors jeleket vivő rövid vezetékek mindenképp segítenek. A földelés különösen fontos: nagyon gyakran a több rétegű áramköri lap külső felületei nagy részben földeltek (nulla potenciálon vannak), és a közbülső rétegekben futnak a jeleket vezető fémcsíkok: ezáltal a rádiósugárzás csökkenthető.

Az olyan vezetékek, amik nem visznek gyors jeleket, de mégiscsincenek nulla potenciálon, hasznos ha nagy kapacitású kondenzátorral a földre vannak kötve. Példa erre a tápfeszültség vezetéke. Ezáltal a rajtuk indukálódó jelek feszültsége csökken, és csökken az egymástól távoli fokozatok közötti csatolás.

Modern nyomtatott áramkörök gond nélkül üzemeltethetők a 10-100MHz tartományban, megfelelő kivitelezéssel. Az 1GHz tartománya (ez 1ns-os tipikus jelváltozási sebességnek felel meg, azaz 30cm-es hullámhossznak!) már kifejezett gondosságot, gyakran prototípusok készítését, vagy akár a Kirchoff-törvények korrekcióinak figyelembevételét is igényli. Tipikusan a 10GHz feletti frekvenciatartomány már nem kezelhető klasszikus áramköri kapcsolásokkal, azaz itt már nincs értelme klasszikus kapcsolási rajzokról beszélni. Ezt nem is rádió-, hanem mikrohullámú tartománynak nevezik az elektromágneses spektrumban. Mikrohullámot gyakran érdemesebb precíz geometriájú csőben vezetni, mint



(a)



(b)

1.5. ábra. Integrált áramköri csip (félvezető lapka az alkatrészekkel) a tokban (balra). Integrált áramkör fényképe: hat CMOS inverterkapcsolás egyetlen tokban (4069-es típus), DIL és SMD verziójú tokozás (jobbra)

az SMD kivitel. Az eszköz hat invertert tartalmaz, ez a két tápfeszültséggel együtt 14 kivezetés.

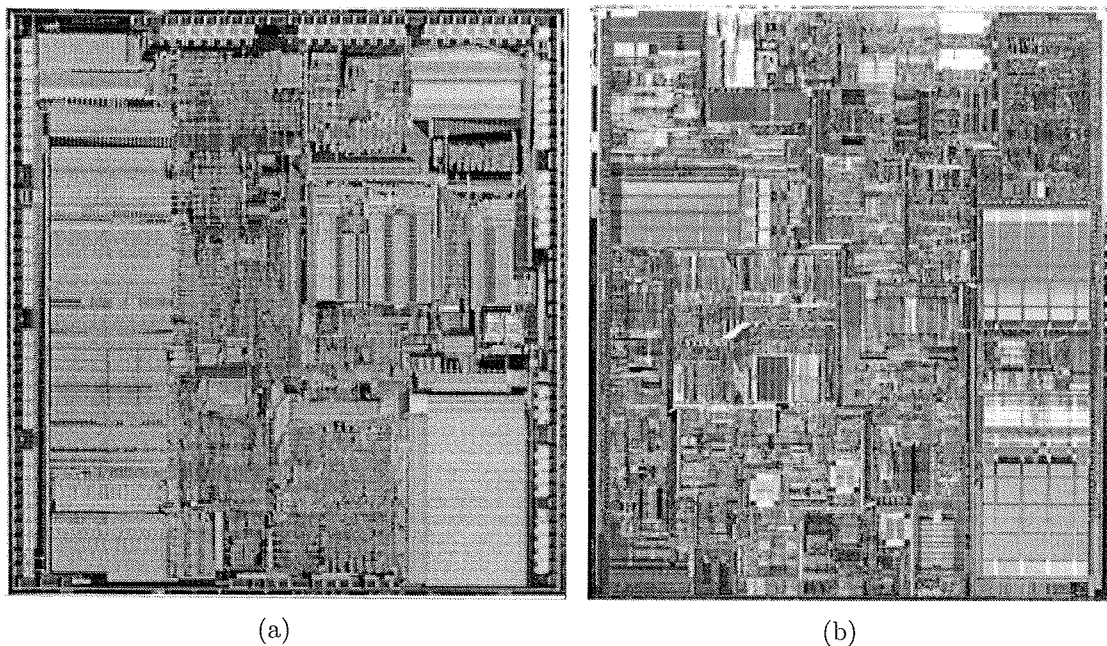
1.3.2. A számítógép központi feldolgozóegységének fejlődése

Az integrált áramkörök fejlődési ívét legjobban a számítógépek teljesítményét leginkább meghatározó, a tényleges feladatvégzésért felelős központi feldolgozóegység, a CPU (Central Processing Unit) fejlődésén követhetjük végig. Ez az alkatrész valószínűleg a világpiacon ténylegesen értékesíthető legjelentősebb csúcstechnológiás áramkör, fejlesztésébe rendkívüli összegeket (hazánk GDP-jének sokszorosát) fektettek az erre szakosodott vállalatok (Intel, AMD, IBM, ~~3tc~~).

Az egyik legelső, használhatónak tekinthető CPU az Intel által gyártott 4004-es típus, ami 1971-ben került a piacra. Az eszköz 2500 tranzisztort (MOS-FET-eket) tartalmazott, és egy ténylegesen működő számítógép számításait, külső egységeinek vezérlését végezte. Ez volt az egyik utolsó integrált áramköri kapcsolás, amit „ember” rajzolt: a 1.6 ábrán látható, fizikai megvalósítási terv (különböző színárnyalatokkal az egymás utáni IC-gyártási rétegek) még részleteiben átlátható egy megfelelő szakértő számára. A későbbi áramkörökkel ez nincs így, azokat már számítógépek tervezik (amik aztán újabb generációs számítógépeket terveznek).

A 386-os jelű processzorok megjelenése szintén fontos lépcsőfok volt 1985-ben. Az eszköz 275 ezer tranzisztort tartalmaz, és regiszter szinten támogatta azt, hogy a számítógépen egy mindenek feletti vezérlőprogram – az operációs rendszer – időosztásos módon párhuzamosan futtasson egymástól független programokat.

A modern CPU-k egyik képviselője a Pentium sorozat, aminek 4-es típusa 1999-ben jelent meg és 42 millió tranzisztort tartalmazott. A nagy tranzisztorszám elsősorban azért



1.7. ábra. Az Intel által gyártott 386-os (balra) illetve Pentium 4-es (jobbra) CPU fényképe a kristálylapkán. Mindkettő tipikusan 1cm^2 -es, mikroszkóp alatt pedig a vékonyréteg-interferencia miatt tűnnek színesnek

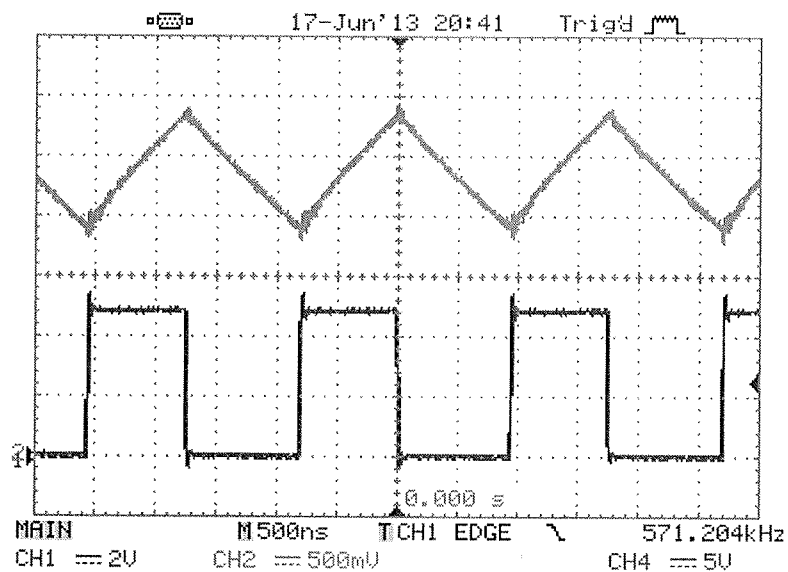
illetve a mérendő feszültség skálája (tipikusan néhány mV és néhány V között).

A mérés gyakorlati kivitelezése mégsem teljesen egyszerű. Tegyük fel, hogy a jel egy rövid impulzus, ami ritkán, mondjuk tizedmásodpercenként, véletlenszerűen jön, a hossza pedig 10ns. Ha ezt egy egy kilométeres papírszalagon lerajzolnánk, akkor egy tizedmilliméteres, tűvékony impulzust kellene megkeresnünk, ami bárhol lehet. Ki kell tudnunk választani tehát az *érdekes pillanatot* és annak környékét.

Ha a jel periodikus (mondjuk szinuszos), a probléma kicsit hasonló. Az eszköz elkezdi a mérést, és újra meg újra kirajzolja a jelet – de a kirajzolt görbe kezdőpontja mindig különböző fázisú helyre esik, a kép elmosódik. Itt is meg kell keresni egy referenciapontot, amihez képest mindig ugyanott végezzük a jelkirajzolást.

A referenciapont megkeresését szinkronizációnak vagy triggerelésnek nevezzük. Ennek legkiforrottabb, leggyakoribb módszere a következő:

- Definiálunk egy feszültség szintet, amit kézzel beállíthatunk annak ismeretében hogy milyen jelet szeretnénk vizsgálni. Nevezzük ezt trigger szintnek (trigger level). Az oszcilloszkóp egy komparátor kapcsolással (XXXXX fejezet) megkeresi azt a pillanatot amikor ezt a feszültség szintet eléri a jel.
- Megadjuk, hogy a jel pozitív vagy negatív időbeli deriválttal (slope) érje el a kívánt



1.9. ábra. Schmitt-triggeres oszcillátor jeleinek megjelenítése digitális oszcilloszkópon: felül a Schmitt-trigger bemenete, alul a kimenet

fontos hogy a berendezés minden jebemenete olyan vezetéken érkezik, ami ezzel a közös referenciával van összehasonlítva. A multiméterekkel volt lehetőség arra hogy két pont között mérjünk feszültséget, az oszcilloszkópnál ez közvetlenül nem működik. Egy ilyen feladatot úgy oldhatunk meg, ha az oszcilloszkópnak két bemenetét egyszerre használjuk, és ezek különbségét mérjük / ábrázoljuk: erre általában lehetőséget biztosítanak az oszcilloszkópok.