

A felületi szerelésű áramkörök gyártásának lehetséges főfolyamatai

PATAKI BÉLA
Remix



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatja a felületi szerelésű áramkörök négy fő típusának elsődleges célhierarchiáját. Tárgyalja a célhierarchiákból levezethető lehetséges főfolyamatokat. Végül áttekintést ad a felületi szerelési gyártórendszer kialakításának további lépéseiről.

1. Módszertani bevezető

Tetszőleges ipari termék gyártási folyamatát és gyártórendszerét az alábbi három fő lépésben célszerű létrehozni [1]:

1. a gyártmány célhierarchiájának megszerkesztése,
2. a folyamathálózat megtervezése a célhierarchia alapján,
3. a gyártórendszer kialakítása a folyamathálózat igényei szerint.

A megfogalmazott globális célból az elsődleges célhierarchia technológiai megközelítésű funkcióelemzéssel bontható ki. Az elsődleges célhierarchia a végtermék és a kiindulási alkotóelemek közötti lépcsőfok-gyártmányok kapcsolati gráfja, amely a végtermékhez vezető munkafolyamatokat foglalja magában. A gráfból kiadódó folyamatok a gyártás lehetséges főfolyamatai, vagyis azok a folyamatok, amelyekben a termék természetes készülségi foka növekszik.

A főfolyamat azonban még nem teljes egész. Erőforrás-nyelőlhelyeinek feltáráásával meghatározhatók azok az implicit célok, amelyeket az elsődleges célhierarchia nem képez le a folyamatok területére. Ezek alkotják a másodlagos célhierarchiát, amely alapján megtervezhetők a gyártás feltételi folyamatai. A feltételi folyamatok a főfolyamat önfenntartó működését biztosítják.

A teljes folyamathálózat ismeretében már megtervezhető-szervezhető a gyártórendszer.

E cikk a felületi szerelésű áramkörök elsődleges célhierarchiáit és az azok alapján megtervezhető lehetséges főfolyamatokat mutatja be. A munka további lépéseinek csupán a jelzésére szorítkozik.

2. Az elsődleges célhierarchiák

2.1. A célhierarchia-gráfok szerkesztése

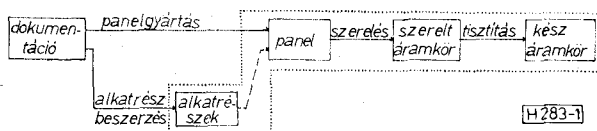
A globális cél felületen szerelt áramkörök sorozatgyártása. Ez négy részcélből, a felületen szerelt áramkörök négy alaptípusának gyártásából tevődik össze. A négy alaptípus:

Beérkezett: 1986. VIII. 10. (Δ)

PATAKI BÉLA

1981-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen, az Elektronikai Technológia Szakon. Azóta a Remix dolgozója. Eleinte a hibrid IC-k gyártás-

fejlesztésével, elsősorban azok programvezérelt lézeres értékbeállításával foglalkozott. Jelenleg a felületi szerelésű áramkörök gyártórendszerének kialakításán dolgozik. Levezető tagozatos szervező szakmérnök-hallgató.



1. ábra. A felületi szerelésű áramkörök gyártásának nagyvonalú hálódigramja

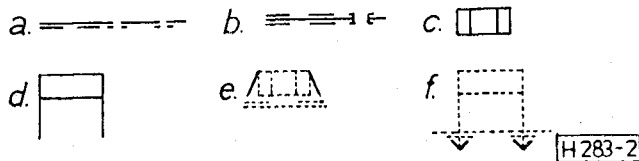
- T1 — tisztán felületi szerelésű, egy oldalon szerelt
- T2 — tisztán felületi szerelésű, két oldalon szerelt
- VI — vegyes szerelésű, egy oldalon felületszerelt
- V2 — vegyes szerelésű, két oldalon felületszerelt

Az áramkörök gyártásának nagyvonalú folyamatábrája az 1. ábrán látható. Ez ábrázolástechnikai szempontból (csakúgy, mint a későbbiekben a gyártási főfolyamat-ábrák) tevékenység-orientált logikai hálótér, amelynek elemei a következők [2]:

- A hálógráf csúcsai (szögpontjai) eseményeket, esetünkben az áramkörök állapotában beállt változásokat jelölnek.
- A hálógráf élei (ágai) tevékenységeket, esetünkben gyártási lépéseket jelentenek.
- A szaggatott vonalak ún. látszattevékenységek, amelyek azt jelképezik, hogy egyes események bekövetkezése szükséges feltétele egy másiknak. (Időtervezéskor a látszattevékenységek 0 tevékenységi időt kapnak.)

Vizsgálódásunkat a pontvonalal határolt folyamat szakaszra korlátozzuk. Emiatt a folyamatábrák hálódigramjai nem egyetlen kezdő eseménnyel indulnak majd, hanem a pontvonal által metszett tevékenységnyilak csonkjával. A négy áramkörtípus gyártásában döntő különbség csak a szerelésben van, ezért a célhierarchia- és a folyamatábrákat csak erre érdemes megrajzolni. A tisztítás minden esetben automatikusan hozzá értendő, az 1. ábrának megfelelően.

Az első lépésben modellünket a „szerelés = beültetés + forrasztás” mélységig részletezzük. A félvezető chip alkatrészeknek közvetlenül a hordozóra szerelését (bare chip and wire, flip



2. ábra. A célhierarchia-gráfokban használt rajzjelek a) egy oldalon fémezett panel, b) két oldalon fémezett, furatfémezett panel, c) felületre szerelhető alkatrész (FE) d) furatba szerelhető alkatrész (FU), e) FE forrasztás, f) FU forrasztás

chip, tape automated bonding) egyelőre hagyjuk figyelmen kívül. Ezeket az eljárásokat a felületi szerelésre való áttéréskor még irreális lenne azonnal bevezetendőnek tekinteni. Az alkatrészek vezető ragasztós beültetése pedig fejletlensége miatt csak elvétve, különleges esetekben használatos, így ettől is nyugodtan eltekinthetünk. Ha később a fenti technológiák alkalmazása mellett döntünk, akkor az ezeket is figyelembe vevő modell a jelenlegi mintájára már könnyen megtalálható.

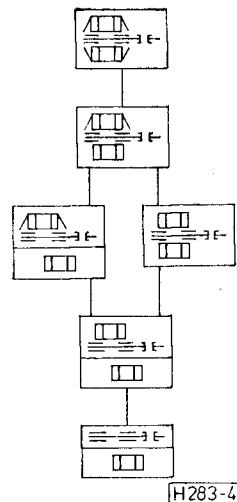
A 2. ábrán a rajzjelek jegyzéke, a 3. . . 6. ábrákon pedig a négy áramköri alaptípus elsődleges célhierarchiája látható. A gépiparban használatos ábrázolástechnika, a gyártmánycsaládfa ill. a belőle képzett funkciósema a felületi szerelésű áramkörök modellezésére meglehetősen kedvezőtlen, ezért a célnak megfelelő speciális ábrázolásmódot kellett kialakítani. A célhierarchia-ábrákon legfelül a szerelt áramkör, legalul a hordozó és az alkatrészek halmaza található. A gráf egy magasságban lévő csúcsai azonos számú állapotváltozással érhetőek el a kiindulási állapotból, ill. azonos számú állapotváltozásnyira vannak a végállapottól.

2.2. Az áramkörök célhierarchiái

A T1 és T2 gráfok (3. és 4. ábra) élei olyan állapotokat kötnek össze, amelyeket egyetlen állapotváltozás választ el egymástól. Először azt nézzük meg, hogy van-e olyan technológiai lehetőség, amellyel egyszerre két vagy több állapotváltozást érhetnénk el, és ennek megfelelően két vagy több



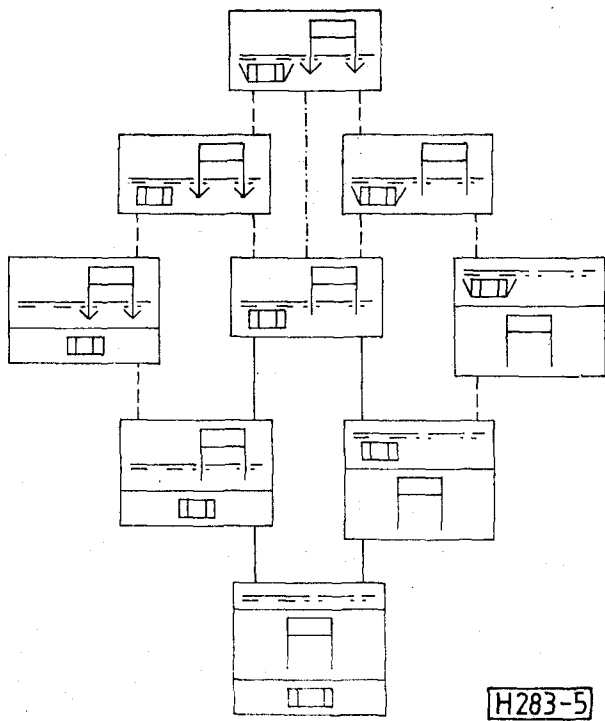
3. ábra. T1 áramkörök elsődleges célhierarchiája



4. ábra. T2 áramkörök elsődleges célhierarchiája

szinttel juthatnánk följebb a gráfban. Egy lépésben két oldalt nem tudunk beültetni. Beültetést és forrasztást egyszerre szintén nem végezhetünk. A T2 áramkörök két oldalának együttes forrasztása elvégezhető újraömlésztéses forrasztással, feltéve hogy a vízszintesen tartott panel alsó oldalára az alkatrészeket előzőleg rá is ragasztottuk, nehogy lepotyogjanak. A forrasztást azonban a hordozó mindkét oldalán lévő forrasztási felületekre csak egyenként, fecskendő vagy mártópálcás adagolóval tudnánk felvinni, ami sorozatgyártáshoz nem elég termelékeny eljárás. Szitanyomtatáskor a hordozó teljes felületének fel kell feküdnie, de így a második oldal nyomtatásakor az elsőtől lévő forrasztás elkenődne. Vagyis a T2 gráfba a legfelső csúcs és a középső szint jobb oldali csúcsa között csak laborszintű darabszámok esetén érdemes berajzolni a két oldal egy lépésben végzett forrasztását jelképező ágat. Mivel azonban esetünkben sorozatgyártás a megvalósítandó cél, ezt a lehetőséget elvethetjük, a gráfnak ezt az élét mellőzhetjük. Végül azt kell megvizsgálnunk, hogy tartalmaznak-e a célhierarchia-gráfok technológiailag kivitelezhetetlen állapotváltozást jelképező élt. A T1 és T2 gráfokban nem találunk ilyet. Végeredményül azt kapjuk, hogy modellünk jelenlegi részletzettségi fokán a T1 áramkörök gyártásának egy, a T2 áramkörökének pedig két járható útja, lehetséges főfolyamata kínálkozik.

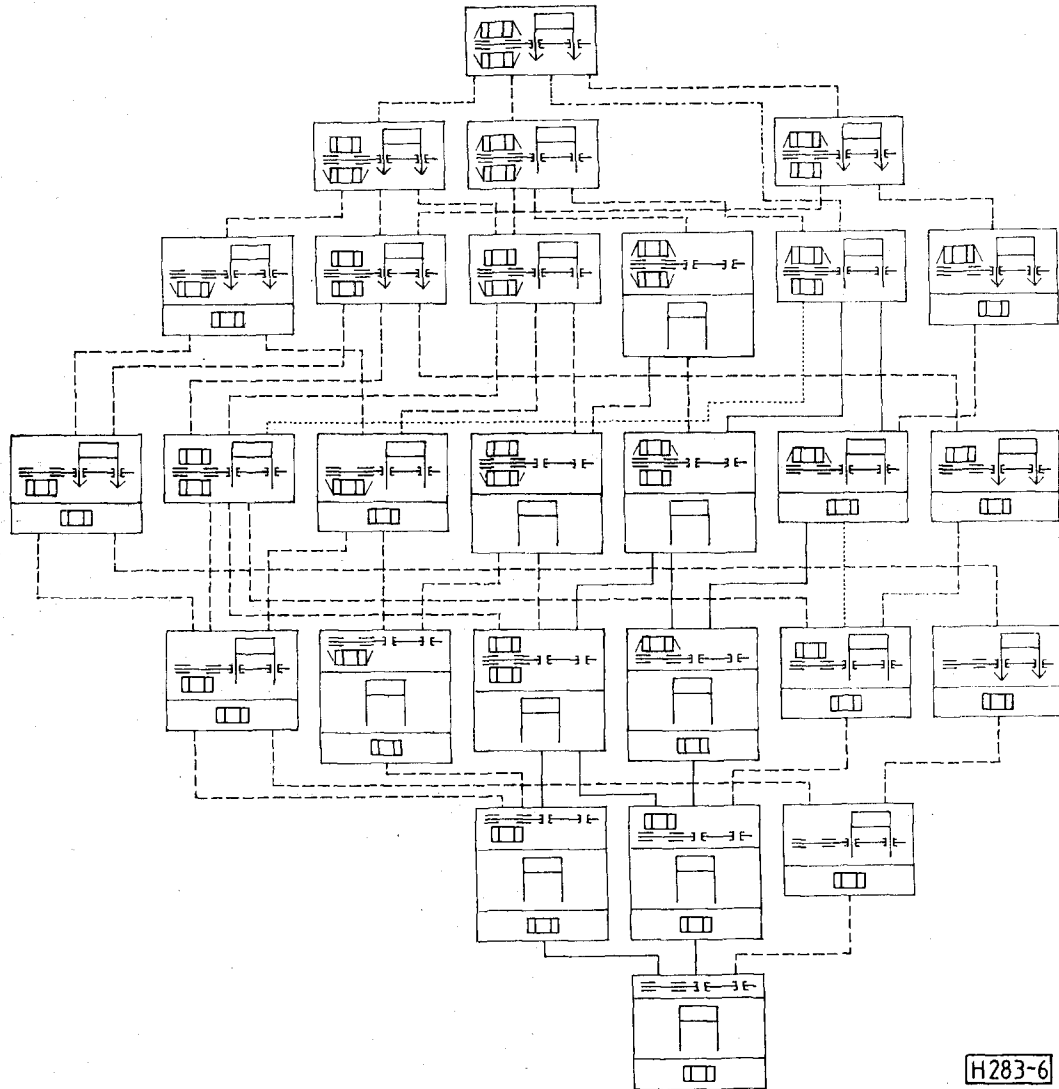
A VI áramköröknél található egy olyan lehetőség, amellyel egy lépésben két állapotváltozás érhető el. Ez az alkatrészek együttes hullámforrasztása, amit épenséggel külön-külön volna nehezebb elvégezni. Ezt a VI gráfban (5. ábra) pontozott szaggatott vonal, míg az általa fölöslegessé tett éleket szaggatott vonal jelöli. Egy ilyen „áthidaló” ág nem csak a vele egy szinten lévőket teszi fölöslegessé, hanem az alsóbb szinteken lévők egyikét-másikat is. Ha ugyanis valamelyik állapotból a célállapot felé kizárólag fölösleges ágak vezetnek, akkor nyilván az alulról hozzá vezető ágakra sincs szükség. A megmaradó utak technológiailag járhatóak, így tehát a VI áramkörök két különböző főfolyamattal gyárthatók.



H283-5

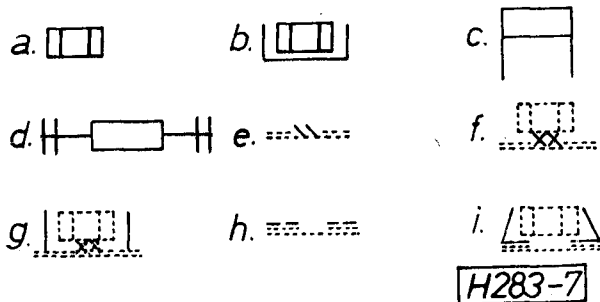
5. ábra. V1 áramkörök elsődleges célhierarchiája

A V2 áramkörök esetében (6. ábra) szintén a hullámforrasztás az, amivel a pontozott szaggatott vonal mentén haladva átugorhatjuk a második szinten lévő állapotokat. Az előző típusnál leírt módszerrel visszafelé lépegetve adódnak a szaggatott vonallal jelölt fölösleges élek. A megmaradók között kettő olyan található, amely technológiai korlátba ütközik, ezeket pontvonal jelzi. Mindkét esetben a furatba szerelhető alkatrészekkel azonos oldalon lévő, felületre szerelhető alkatrészeket kellene úgy beforrasztani, hogy a furatba szerelhető alkatrészek már be vannak ültetve. A furatba szerelhető alkatrészeket azonban sem a hullámforrasztó berendezés forrasztófürdőjébe nem máthatjuk bele, sem pedig az újraömlésztéses forrasztással járó hőigénybevételnek nem tehetjük ki a tönkretétel számottevő kockázata nélkül. Az ilyen, technológiailag lehetetlen ágak pontosan ugyanúgy tesznek fölöslegessé náluk alsóbb szintű ágakat, mint a már ismert, áthidalások következtében fölöslegessé vált ágak. Ha ezt is végig követjük felülről lefelé haladva, akkor azt az eredményt kapjuk, hogy a V2 áramkörök gyártása négyféle főfolyamattal képzelhető el.



H283-6

6. ábra. V2 áramkörök elsődleges célhierarchiája



H283-7

7. ábra. A folyamatábrákban használt rajzjelek a) beültethető FE b) FE gyári kiszerelésben c) beültethető FU d) FU gyári kiszerelésben e) ragasztócepp f) térhálósított ragasztócepp g) hullámforrasztott FE forrasztás h) forraszpasztó i) újraömlasztó FE forrasztás

Az elsődleges célhierarchiák megszerkesztése után rátérhetünk a lehetséges főfolyamatok részletesebb vizsgálatára.

3. A lehetséges főfolyamatok

A célhierarchiákból kiadódó egyes főfolyamatokat jelöljük a következőképpen (rövidítések: FE — felületre szerelhető, FU — furatba szerelhető alkatrész, FE1—FU szerelési oldalán lévő FE, FE2—FU forrasztási oldalán lévő FE):

- t1 — beültetés, forrasztás
- t2/1 — beültetés, forrasztás, beültetés, forrasztás
- t2/2 — beültetés, beültetés, forrasztás, forrasztás
- v1/1 — FE beültetés, FU beültetés, FE és FU forrasztás
- v1/2 — FU beültetés, FE beültetés, FE és FU forrasztás
- v2/1 — FE2 beültetés, FE1 beültetés, FE1 forrasztás, FU beültetés, FE2 és FU forrasztás
- v2/2 — FE1 beültetés, FE2 beültetés, FE1 forrasztás, FU beültetés, FE2 és FU forrasztás
- v2/3 — FE1 beültetés, FE1 forrasztás, FE2 beültetés, FU beültetés, FE2 és FU forrasztás
- v2/4 — FE1 beültetés, FE1 forrasztás, FU beültetés, FE2 beültetés, FE2 és FU forrasztás

Részletezzük tovább modellünket! A felületre szerelhető alkatrészek beültetése és forrasztása két módon történhet:

1. beültetés = forraszpasztó szitanyomtatás + helyezés
forrasztás = újraömlasztó forrasztás
2. beültetés = ragasztó adagolás + helyezés + ragasztó térhálósítás
forrasztás = hullámforrasztás

A furatba szerelhető alkatrészek beültetését a modellnek ezen a részletezettségi fokán még nem érdemes tovább bontani. Forrasztásuk minden esetben hullámforrasztás.

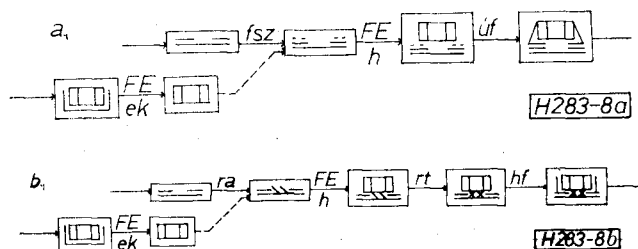
A folyamatábrák csúcspontjainak rajzjeleit a 7. ábra mutatja be. Ezek egy része nem szerepelt a célhierarchia-gráfokban, más része pedig szerepelt ugyan, de (a durvább felbontásnak megfelelően) általánosabb jelentéssel. A 7. ábrában külön fel nem tüntetett, de a folyamatábrákban szereplő rajzjelek jelentése megegyezik az eddigiekkel.

A tevékenységnyilakat azonosító rövidítések az alábbiak:

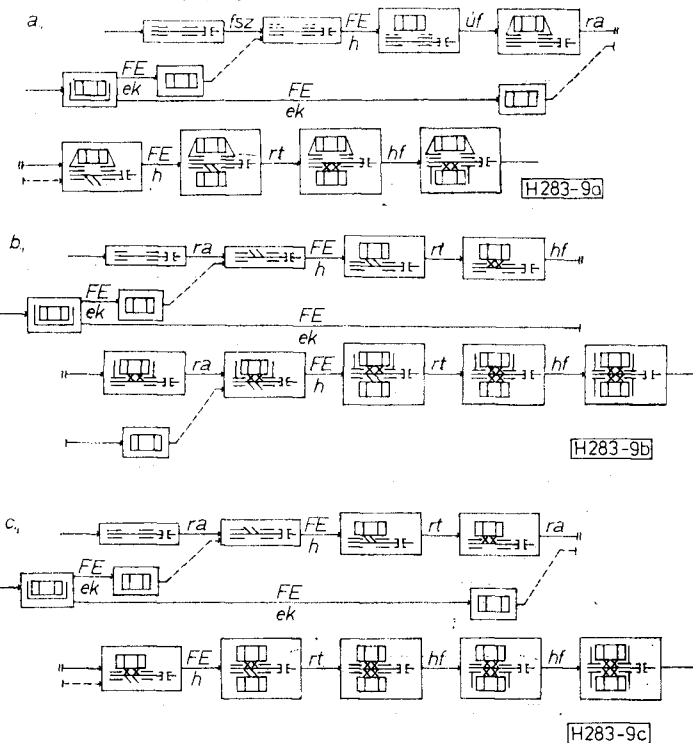
- fsz — forraszpasztó szitanyomtatás
- h — helyezés
- úf — újraömlasztó forrasztás
- ra — ragasztó adagolás
- rt — ragasztó térhálósítás
- ek — előkészítés
- b — beültetés
- hf — hullámforrasztás

A főfolyamatok ilyen részletességű hálódigramjai a 8...11. ábrákon láthatók. Ha nem ütköznénk a már ismert technológiai korlátokba, akkor a lehetséges megvalósítások száma jóval nagyobb volna, hiszen mindegyik FE beültetés és forrasztás helyére akár az 1., akár a 2. eljárás behelyettesíthető lenne.

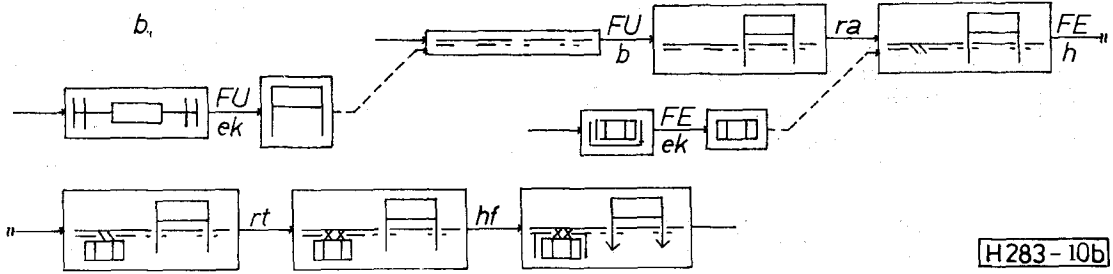
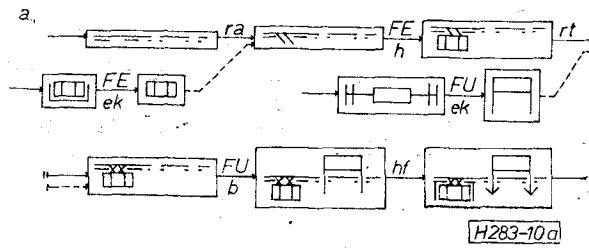
Modellünk felbontását csak a rendszerterv ismeretében érdemes tovább finomítani. Ugyanis a technológiák (pl.: gőzfázisú vagy infravörös újraömlasztó forrasztás), az anyagok (pl.: ultrabolya sugárkezelést követő hőkezeléssel vagy csak



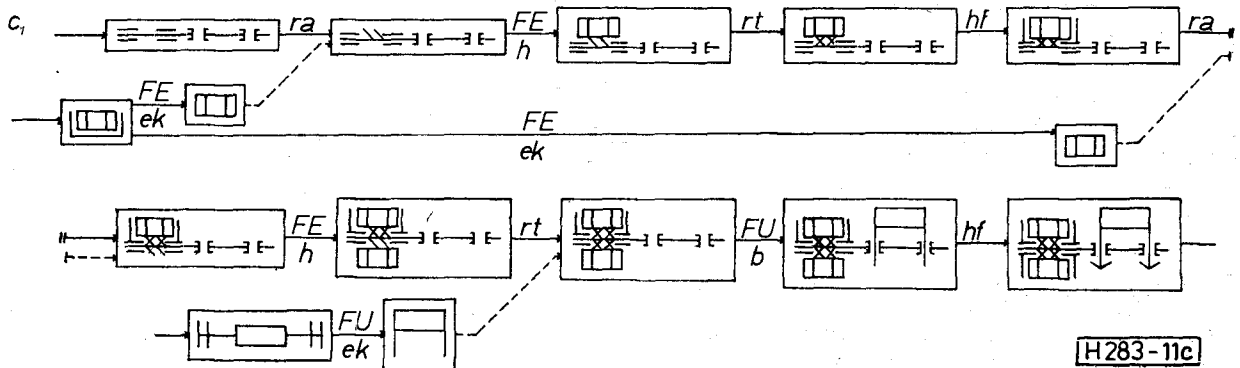
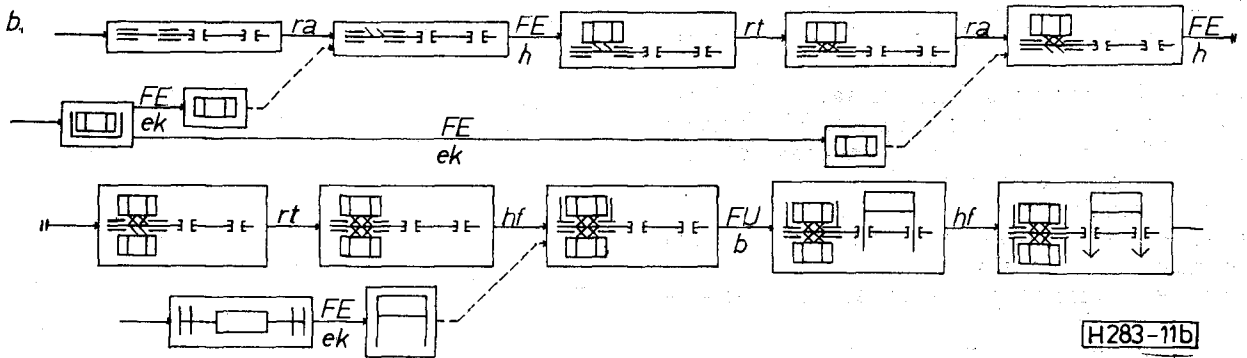
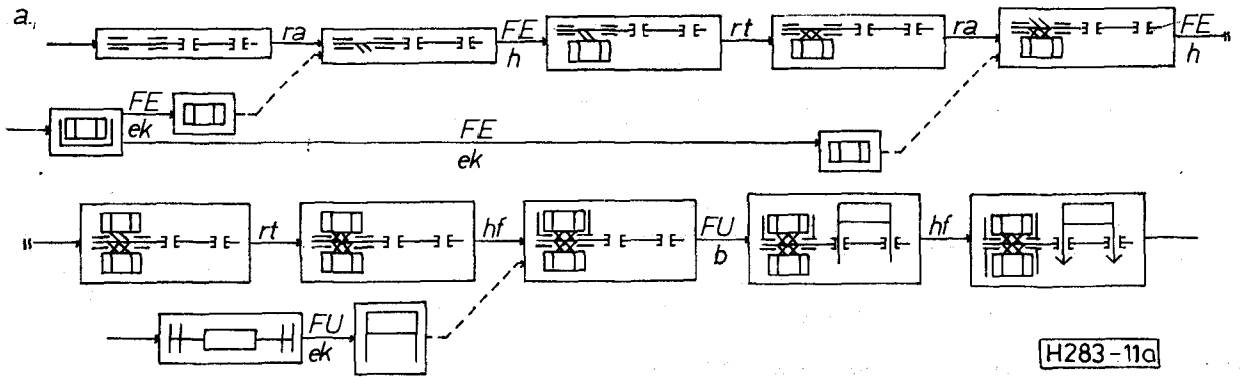
8. ábra. T1 áramkörök gyártásának lehetséges főfolyamatai a) t1.1 b) t1.2



9. ábra. T2 áramkörök gyártásának lehetséges főfolyamatai a) t2/1.1 b) t2/1.2 c) t2/2



10. ábra. VI áramkörök gyártásának lehetséges főfolyamatai a) v1/1 b) v1/2



A gyártásvégrehajtás feltételi folyamatainak egy része (tárolás, anyagmozgatás, ellenőrzés, csomagolás stb.) egybeépül a főfolyamattal, míg más része (kiszolgáló, kiszolgáló, gazdálkodó folyamatok) külön települ tőle. A gyártórendszer létrehozása szempontjából fontosabbak számunkra a főfolyamattal egybeépülők, mivel ezek erősen befolyásolják a gyártórendszer helyszükségletét.

A tárolás magában foglalja a panelek, az alkatrészek, valamint a technológiai alap- és segédanyagok raktározását, a félkész áramkörök tárolását az egyes munkafázisok között, valamint a kész áramkörök raktározását. Az ellenőrzéshez tartozik az üres panelek rövidzár/szakadás mérése, optikai ellenőrzése és forraszthatósági vizsgálata, az alkatrészek mérése-válogatása és forraszthatósági vizsgálata, az anyagok (pl. forraszpaszta) minőségének ellenőrzése, a gyártási lépések közötti optikai (pl. a beültetést követő komparaszko-pos) ellenőrzés, a kész áramkörök „in circuit” és funkcionális tesztelése, valamint a technológiák és betartásuk ellenőrzése. Az anyagmozgatás esetünkben az egyes gyártási lépések közötti belső szállítást jelenti. A csomagolás megtervezésekor gondolni kell a MOS alkatrészeket is tartalmazó, és emiatt az elektrosztatikus feltöltődésre érzékeny áramkörökre is.

Ha a teljes folyamathálózatot megterveztük, hozzáláthatunk a rendszertervezéshez. Ez egyrészt a rendszerelemek (elsősorban berendezések) kiválasztását, másrészt a gyártórendszer struktúrájának (egyedi, soros, fészkek, gépkör, műhely) meghatározását és a telepítés megtervezését jelenti.

A berendezések kiválasztását érdemes olyan (rendszerint számítógépes) döntéselőkészítési módszerrel végezni, amely képes több változat közül több, különböző fontosságú értékelési szempont szerint, számszerű vagy szóbeli minősítések alapján az összességében legkedvezőbbet kiválasztani. A Remixben erre a célra a KIPA eljárást [4] alkalmazzuk.

A rendszerelemek szimbólumaihoz fel lehet rajzolni az egyes főfolyamatoknak megfelelő gyártmányátfutási gráfokat. A kooperációs fok ez alapján kiszámított értékéből és a berendezések számából egy tapasztalati diagram segítségével határozható meg az optimális struktúra. [1]. A felületi szerelés esetében ez majdnem biztosan minden esetben vegyes soros-fészkek struktúra. A soros részt a „ragasztó adagoló — FE helyező — ragasztó térhálósító — hullámforrasztó — tisztító” együttes alkotja.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti dr. Kocsis József docentot a folyamatszervezés módszertani ellenőrzéséért.

I R O D A L O M

- [1] *Dr. Kocsis József*: Munkafolyamatok tervezése és szervezése (Tankönyvkiadó, Bp. 1985).
- [2] *Dr. Papp Ottó*: Hálótervezés az ipari gyakorlatban (Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1985).
- [3] *Dr. Kocsis József*: A vállalati termelőrendszer feltételi folyamatainak szervezése (BME Mérnöki Továbbképző Intézet, Bp. 1985).
- [4] *Dr. Kändler József—dr. Papp Ottó*: Komplex rendszerek vizsgálata (Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1977).