

UNA TECNOLOGIA PER LES FORMACIONS

per Alan Williamson

14 (166/Volum 2/marc 1982

ciència 14)

Es descriu l'estat de la tecnologia de les u.l.a (formacions lògiques no compreses), és a dir circuits integrats a gran escala amb un disseny que els permet adaptar-se a les necessitats diferents de les aplicacions a les quals vagin destinades. Són comparades en cost i eficiència de funcionament amb els circuits dissenyats expressament. Un enginyer no especialista en semiconductors pot dissenyar el seu propi circuit integrat a gran escala si s'aprèn les regles de les u.l.a.'s.

Alan Williamson pertany a Ferranti Electronics Ltd. El seu article fou publicat a la revista "New Electronics", febrer, 1981, pàgs. 114-116. Ha estat traduït per Jaume Puigbó.



Es pot argüir que les u.l.a.'s (formacions lògiques no compreses) són un dels desenvolupaments més importants dels anys 70. Certament, les formacions (*arrays*) seran, a la meitat de la dècada dels 80, el mercat més gran de circuits integrats a gran escala, després dels microprocessadors i les memòries, i tindran una gran influència en l'extensió en la qual la microelectrònica penetrarà la vida diària. Actualment hi ha una gran activitat en aquest camp en diversos llocs, tant als EUA com al Japó i Europa; molts dels principals fabricants de semiconductors o bé ja tenen formacions o n'anunciaran el llançament en els propers mesos. Aquesta activitat és motivada per la profunditat de les aplicacions actuals de les u.l.a.'s i per l'ampli espectre d'aquestes. No existeix cap sector important del mercat, des de joguines a defensa, des de comunicacions a l'oci, des del control industrial a la medicina i des de l'automòbil als instruments que no utilitzi els circuits integrats a gran escala (l.s.i. circuits). Des del començament, el concepte de formació lògica (*logic array*) va estar lligat al del l.s.i. de forma inseparable pel desig de substituir els sistemes que contenien grans quantitats de circuits estàndards in-

tegrats a petita escala (s.s.i.) o a mitjana (m.s.i.) per un sol circuit (*chip*). Per descomptat, sempre ha existit la solució de dissenyar el circuit substitutiu únic completament a partir de zero i segons les especificacions del client. Però això comportava costos molt alts i llargs temps de desenvolupament, i, de fet, aquesta situació no deixa d'ésser vigent avui dia, fins i tot amb el salt que ha tingut lloc en la tecnologia microelectrònica amb els anys. La filosofia de la formació és conceptualment senzilla. El circuit bàsic conté un nombre de components, actives i passives, que estan aïllades les unes de les altres. Es processa totalment el circuit fins a aquest estat comú a totes les necessitats. Es manté en forma de làmina fina (*wafer*) en estoc, a l'espera d'ésser finalment processat afegint un patró d'interconnexions d'alumini dissenyat per a l'aplicació específica.

Es veu immediatament que, com que es necessita una sola operació d'"emmascament" per a convertir el circuit inacabat en un l.s.i., el temps de desenvolupament i els costos han d'ésser molt més petits que quan hom construeix un circuit complet a mida.

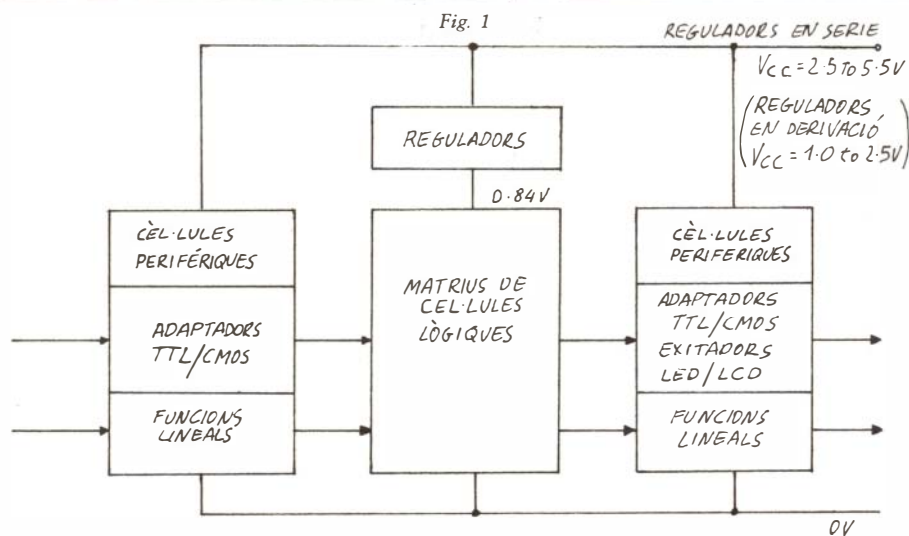
No és irraonable qüestionar el mètode de la formació en el disseny especialment en dos aspectes. Primerament, ¿és possible obtenir un òptim d'eficiència i complexitat per assegurar una solució atraient econòmicament? I segon, que hi ha del microprocessador? De fet, ¿no és que l'aparició d'aquest producte posa en dubte tot el concepte de disseny expressament? La qüestió fonamental a la qual hem de

respondre és la del micro. El micro és un processador de dades capaç d'executar un gran nombre de diverses operacions lògiques. Per a una determinada aplicació es programa el micro per realitzar un conjunt específic d'operacions sobre les dades que hi entren i, com a resultat, subministrar les instruccions a partir de les quals hom pot satisfer els requeriments de l'aplicació. El micro i la seva memòria són bàsicament una unitat processadora central que porta a terme de manera digital uns càlculs matemàtics prèviament definits. Requereix que la informació entrant li sigui subministrada en una forma que pugui acceptar-la i les instruccions que genera han d'ésser convertides a una forma que pugui ésser entesa i a la qual el món extern pugui reaccionar.

Es una eina molt poderosa que, per causa de les seves petites dimensions, la seva capacitat de funcionament i el seu cost ha generat un increment substancial en la demanda de la microelectrònica, especialment en els sectors del mercat que no havien contemplat prèviament la utilització de l'electrònica. Nogensmenys, no és més que la unitat processadora central (u.p.c.) d'un sistema i requereix un control addicional i unes funcions d'interconnexió per a comunicar-se amb el món real.

El resultat ha estat una demanda creixent de l.s.i.'s per a satisfer aquestes funcions que assegurin la realització de la vertadera elegància i eficiència del concepte de microprocessador. La velocitat amb la qual hom pot generar els l.s.i.'s és un

ALS ANYS VUITANTA: INTEGRADES A GRAN ESCALA



factor vital, ja que no té sentit que pugem programar el microprocessador ràpidament si es tarda mesos a desenvolupar el sistema de control i d'interconnexió. Per tant, el micro no genera tan sols una demanda creixent de l.s.i.'s sinó també dels l.s.i. tipus u.l.a.

També és important tenir en compte que molts sistemes no requereixen el funcionament sofisticat del micro. Alternativament, es pot necessitar una capacitat d'interconnexió que el micro no posseeix, però que, per raons econòmiques, ha d'ésser inclosa en el mateix circuit que la lògica de control.

Després d'haver establert que la demanda creixent de l.s.i.'s fets expressament per a una determinada aplicació és un resultat directe de l'existència en el mercat del micro, i que fan la feina amb l'eficàcia necessària de la manera més econòmica, el temps i el cost de desenvolupament dels l.s.i.'s esdevenen d'una importància cabdal. El concepte de la formació satisfarà la necessitat d'un desenvolupament ràpid i baix en costos, però resta la pregunta de si pot satisfer les demandes de complexitat i funcionament, i, al mateix temps, ésser encara econòmic per a produir-lo en massa.

Els dos criteris importants per a assolir aquesta meta són el procés semiconductor, el qual ha d'ésser capaç de produir

tant les components actives com les passives amb l'eficàcia precisa i amb alts rendiments; i la topologia de la formació, que ha de tenir la màxima flexibilitat per a la interconnexió de components i al mateix temps no posar en perill la complexitat del circuit.

El procés és crucial, ja que ha d'ésser capaç de produir portes amb productes de baixa velocitat-potència i d'aquesta forma garantir que es poden satisfer tant els sistemes d'alta velocitat com els de baixa potència. Per a les interconnexions i les funcions lineals ha d'ésser capaç de subministrar corrents d'alta excitació, de produir transistors amb un perfil de guany que aguantí un ampli camp de corrents de funcionament, posem entre 1 μ A (microamper) i 100 μ A, i tenir *offsets* (diferències entre el valor desitjat i l'obtingut en un sistema de control) i pèrdues baixes per poder, per exemple, produir bons interruptors analògics.

La complexitat d'un circuit és un factor important en l'aconsegüiment d'una solució econòmica. Un observador especialitzat que miri un l.s.i. típic trobarà que es dedica generalment una gran part del pla d'interconnexió d'alumini a distribuir la potència al voltant del circuit. Si es pot retirar la potència de la superfície superior i distribuir la via de subministrament dins de la massa del material semicon-

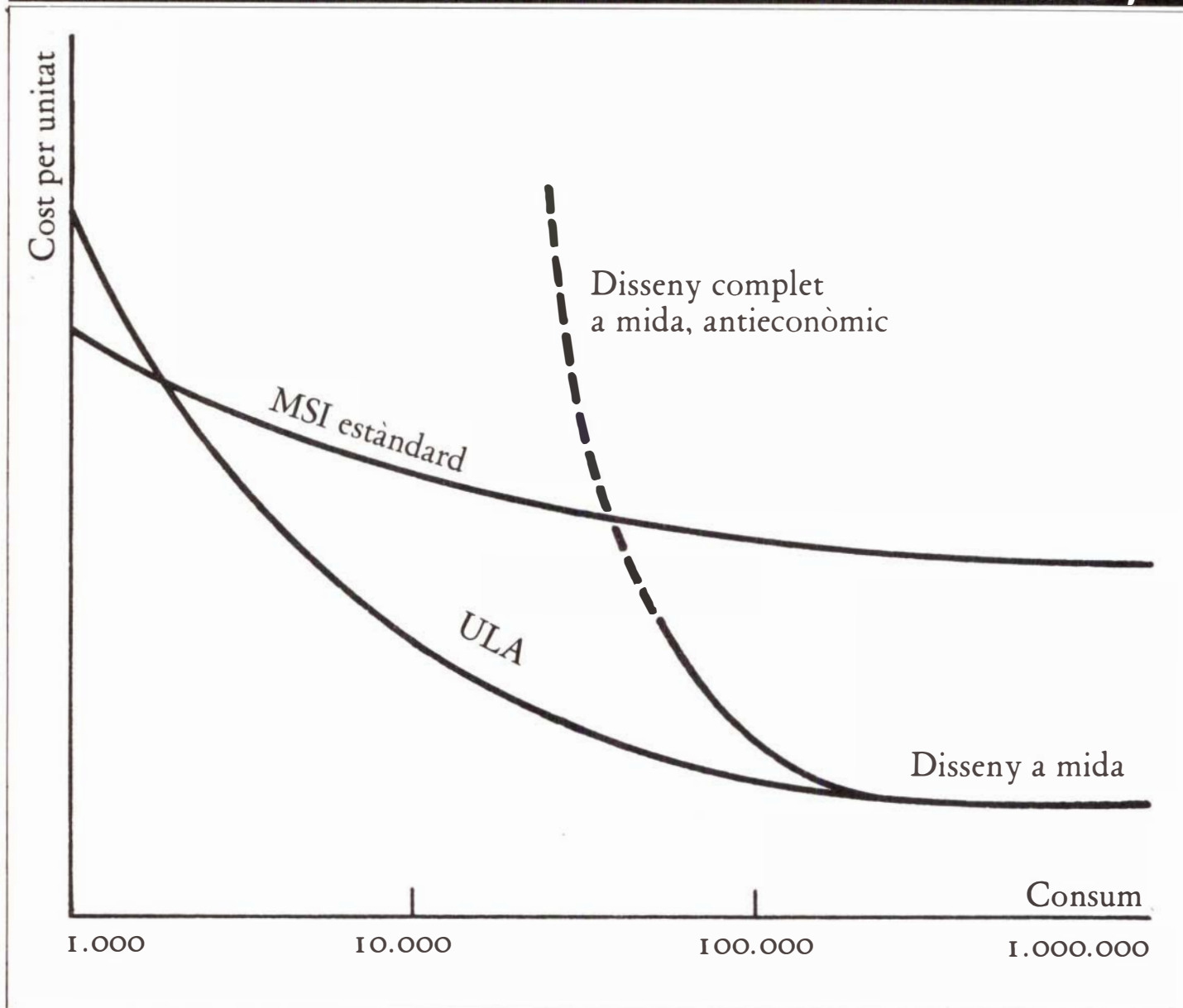
ductor, aleshores es pot dedicar el patró sencer d'interconnexions d'alumini a la programació aleatòria de les components, i optimitzar la complexitat del circuit així com garantir que n'hi ha prou amb una única capa d'alumini. Això evita la necessitat d'un pla d'interconnexió amb capes múltiples i ofereix novament l'oportunitat per a incrementar els rendiments.

Amb els requeriments del procés i de la topografia del circuit satisfets, tenim la base per a l'èxit en la tecnologia de les formacions. Nogensmenys, existeix un altre criteri que ha d'ésser satisfet; cada vegada esdevé més important en el camp dels l.s.i.'s, tant si es treballa en conjunció amb els microprocessadors com si se substitueixen, per exemple, sistemes electromecànics, que puguin combinar en el mateix circuit les combinacions de funcions lineals i digitals. La manera com estiguin organitzades les components del circuit dictarà l'èxit del mètode de les formacions en aquest aspecte.

Totes les u.l.a.'s tenen una organització del circuit comuna com podem veure a la figura 1. Cada circuit conté dos tipus de cèl·lules, cadascun dels quals conté un nombre de components actives i passives. Les cèl·lules matriu ocupen el centre del circuit i tenen principalment la finalitat de satisfer la jerarquia lògica d'un sistema. Cada cèl·lula matriu és equivalent a dues portes de dues entrades, però ja que les components de la cèl·lula no estan compromeses poden ésser igualment utilitzades per a subministrar funcions lineals. Les cèl·lules perifèriques, com indica el nom, estan localitzades al voltant de l'extrem del circuit. Cada cèl·lula conté resistències i transistors no compromesos que estan dissenyats específicament per a facilitar la producció de funcions lineals i d'interconnexió, i d'aquesta manera la jerarquia lògica del sistema pot interconnexionar-se amb pràcticament qualsevol circuit extern i, al mateix temps, subministrar funcions analògiques avançades.

Combinant una varietat de cèl·lules perifèriques amb un nombre variable de

Fig. 2. Comparació per unitat cost/consum de diversos dissenys.



cèl·lules matriu, es presenta l'oportunitat de generar una multiplicitat de formacions que ofereixen diversos graus de complexitat i de capacitat de funcionament.

Amb cada u.l.a. s'optimitza la grandària del circuit segons la complexitat que s'ofereix i, amb un factor d'utilització de les components del circuit més gran del 90%, la diferència en grandària i, per

tant, en economia entre la solució amb u.l.a.'s i la solució dissenyada totalment expressa és insignificant. Per consegüent, les u.l.a.'s, per causa dels seus baixos costos de desenvolupament (i també temps curts de desenvolupament), són altament competitives sigui quin sigui el volum de producció (Fig. 2).

L'elecció del tipus d'u.l.a. és important, tant des del punt de vista econòmic com

del d'eficiència, i la primera tasca és establir l'especificació del sistema a partir de la qual es pugui escollir la formació més escaient. Això garanteix des del començament que es pugui valorar la viabilitat del projecte.

Les famílies d'u.l.a.'s existents consisteixen en diverses sèries que subministren complexitats que van des de 300 portes de dues entrades fins a 1.000. Cada sèrie

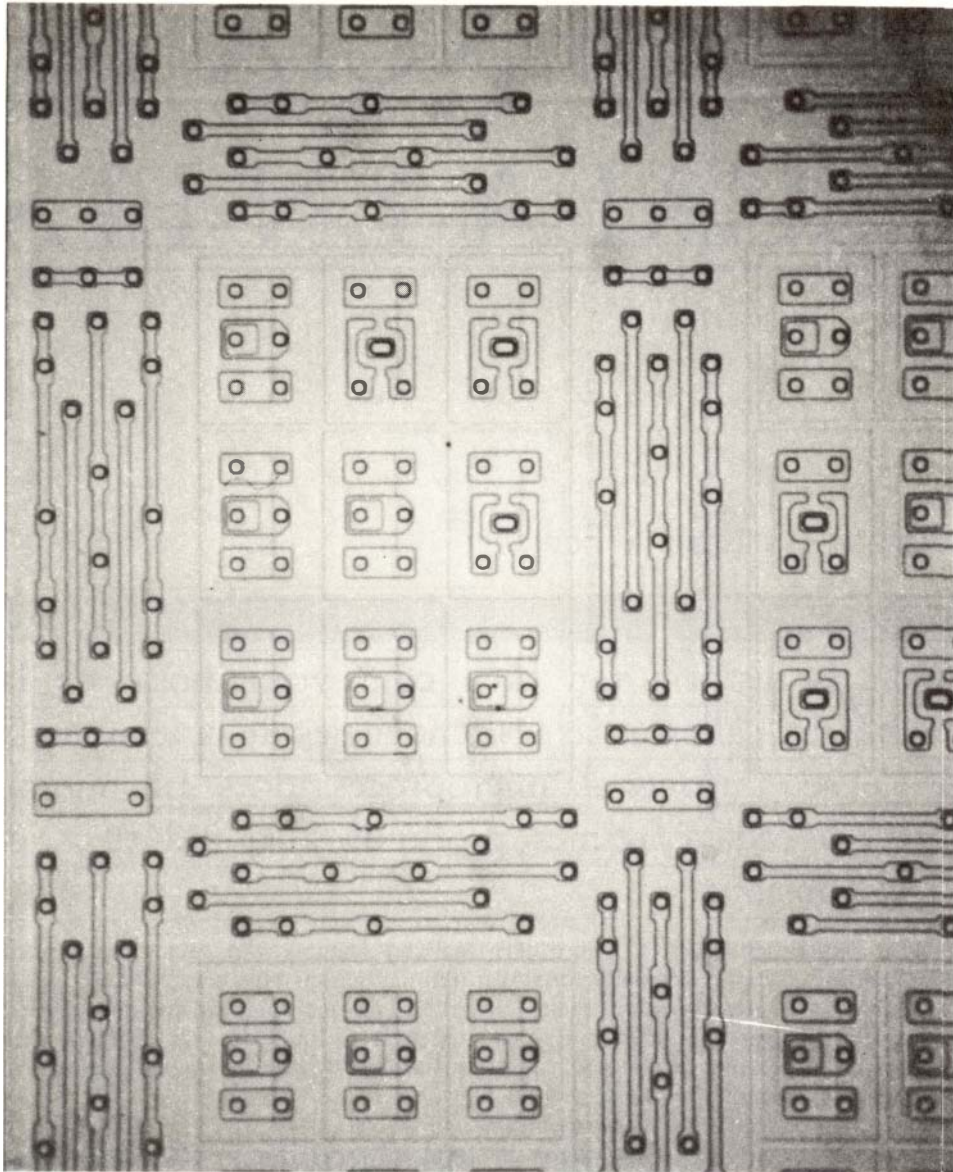


Fig. 3

conté un nombre de formacions diferents que van des de les de baixa potència combinada amb un funcionament lineal bo fins a les digitals d'alta velocitat (més de 20 megacicles) amb bona capacitat d'interconnexió.

El sistema bàsic de u.l.a. conté 256 cèl·lules matriu no compromeses a la jerarquia lògica del sistema. Cada cèl·lula consisteix en cinc transistors (un dels quals també s'utilitza com a font dual de corrent), tres resistències i tres travessies per sota (Fig. 3). L'estructura cel·lular està basada en CML (*current mode logic*), anomenada així perquè una *current* subministrada per la font dual de corrent i controlada mitjançant un interruptor permet que el transistor operi en una situació no saturadora. La comporta CML és una comporta de baix nivell amb un producte de potència de retard fins a 0,25 pJ ($pJ = 10^{-12}$ Jouls). La funció lògica bàsica és la NOR (que té la propietat que si P, Q, R,... són proposicions, aleshores NOR de P, Q, R,... és vertadera si totes les proposicions són falses, falsa si almenys una és vertadera), proveïda pels transistors-interruptors del **col·lector comú**.

Al voltant de les cèl·lules matriu hi ha un total de 40 cèl·lules perifèriques dissenyades per a subministrar funcions lineals i d'interconnexió. D'aquestes, 24 consis-

teixen en un coixí d'unió, quatre transistors i tres travessies per sota; les setze restants contenen un coixí d'unió, dos transistors, set resistències i tres travessies per sota. A la perifèria també hi ha una referència d'1,35 V.

Totes les formacions funcionen directament amb tensions de 3,5 a 5,5 V. A més a més, algunes formacions de la família estan dissenyades per a funcionar amb voltatges d'1 a 5,5 V.

Hi ha dos mètodes per a subministrar energia a les u.l.a.'s. L'elecció es fa segons l'aplicació i és programada en el patró final d'interconnexions. Amb el primer mètode, se subministra a les cèl·lules CML no saturadores des d'un regulador sobre el mateix circuit, el qual proveeix una via de subministrament amb compensació de temperatura i sense "sorolls", que prové de la *current* externa que alimenta les cèl·lules perifèriques. El segon serveix per al funcionament d'una bateria d'una sola cèl·lula i en aquest cas se subministra a la formació per mitjà d'una resistència interna o externa que defineix una *current* escaient per a la formació i per a un regulador *shunt* intern que manté el voltatge del corrent de la formació en 0,84 V.

Un exemple de l'ús efectiu de les u.l.a.'s ha estat la realització d'una unitat processadora central (u.p.c.) bipolar de 16

bits. Aquest exemple és interessant, primer per la seva gran sofisticació i en segon lloc perquè va ser dissenyada per un conjunt de delineants i enginyers de computadors, tots els quals eren novells en el disseny de l.s.i. i sabien ben poc o res de la tecnologia dels circuits integrats. La finalitat era assolir una millora important en la densitat d'empaquetament respecte als sistemes existents i produir un processador de segona generació més potent.

Es evident que les formacions, tant si les anomenem u.l.a.'s, com formacions de comportes i, fins i tot, semiexpressament, s'estableixen com un mitjà econòmic i eficient per als l.s.i. dissenyats sota comanda. Presenten la primera solució pràctica per a dissenyar directament sobre silici de tal manera que l'enginyer dissenyador de l'aparell amb poc coneixement de semiconductors, però amb les regles dels u.l.a.'s, pot dissenyar el seu propi l.s.i.

S'estima el mercat total de l.s.i.'s en 1.000 milions de dòlars, dels quals s'utilitzen avui dia tan sols una petita fracció. Això, unit amb un disseny ràpidament creixent, de fet una necessitat, de substituir les parts que són s.s.i.'s o m.s.i.'s estàndards, ha donat com a resultat l'aparició d'un nou sector important de mercat de l.s.i.'s amb una velocitat de creixement almenys doble de la de tots els circuits integrats considerats com un tot.

I què resta del disseny totalment fet exprés? L'experiència indica que el 90% de totes les aplicacions que requereixen l.s.i.'s poden ésser satisfetes amb les u.l.a.'s i, per descomptat, sempre s'ha de considerar aquest mètode en primer lloc. La resta del 10% cau fora de les capacitats de les u.l.a.'s, invariablement o perquè el projecte requereix una complexitat o una eficiència al màxim actual de la tecnologia dels circuits integrats. En aquestes circumstàncies no queda altre remei que fer un disseny totalment exprés.