

INFLUÈNCIA DE GRAN ESCALA EN ELS

per Enric Vilamajó i Fontanet

18 (170/Volum 2/marc 1982

ciència 14)

No podríem deixar de tractar la història tan breu com vertiginosa, de la integració a gran escala. Així mateix, cal estudiar les tendències de la tecnologia dels circuits integrats digitals i el seu impacte als microprocessadors. Els microprocessadors penetren de manera cada cop més profunda a la indústria, el comerç, les comunicacions i el consum.

Enric Vilamajó i Fontanet (Barcelona, 1956), és enginyer de telecomunicació per l'E. T.S.I. Telecomunicació de Barcelona (1979). Professor encarregat de curs de càtedra d'electrònica II, III de la mateixa escola (1979-80), i de pràctiques d'electrònica a l'E.U.E.T. Telecomunicació La Salle Bonanova. Actualment és enginyer de sistemes de proves de C.I. a Piher Semiconductors S.A.

INTRODUCCIÓ

La creixent evolució en la gran escala d'integració que va aparèixer a final dels 60 ens va influenciant en diversos aspectes de les nostres vides.

La primera revolució en el món dels computadors la van constituir els treballs de Von Neuman, el 1945, i l'ENIAC, que va ser el primer computador completament electrònic desenvolupat a la Universitat de Pennsilvània, capaç de processar números de 10 xifres, amb temps de suma i multiplicació de 200 ms i 5 ms respectivament. Aquest computador era constituït per 18.000 tubs de buit, 1 quilòmetre de cable i mig milió de soldadures; consumia 150 kW i ocupava una habitació de 20 x 10 metres. La segona revolució es va iniciar amb la comercialització del microprocessador (mP) el 1971, quan INTEL va llançar el 4004, Unitat Central de Procés de 4 bits en un sol *chip*. En la seva estructura s'apreciava clarament la influència dels calculadors però encara quedava lluny de pensar en les possibilitats que s'obrien per als μP en el camp de les tasques de control. Van passar alguns anys abans no se'n va apreciar l'impacte en el mercat. A la figura 1 es pot observar el ràpid

progrés experimentat en el món dels computadors i de l'electrònica digital. Una dècada després de la invenció, el 1945, d'un computador que executés una seqüència d'operacions emmagatzemades en forma de programa, es va desenvolupar un enginy totalment transistoritzat; si s'hagués continuat treballant amb un computador basat en tubs de buit, haurien calgut les vint-i-quatre hores d'un dia per a detectar o reemplaçar els tubs defectuosos. Indubtablement, el transistor va salvar el computador d'un final prematur. Una dècada més tard van aparèixer les famílies lògiques estàndard com ara la TTL de Texas Instruments i la CMOS de RCA, amb la qual cosa s'iniciava l'era de la integració a gran escala, LSI (*large-scale integration*), que permet interconnectar, en una petita quantitat de silici, un gran nombre de transistors i de components passives.

No fa gaire que ha començat l'era de la VLSI (*very-large-scale integration*) a l'entorn de la qual s'ha despertat un notable interès. La seva característica primordial està en els seus progressos tecnològics constants que originen circuits integrats molt complexos.

Es desperta un enorme interès sobre la VLSI; es parla molt dels feixos d'electrons i de la litografia per raigs X com a inestimables útils per a la realització d'estructures cada cop més petites. No obstant això, es plantegen algunes qüestions a resoldre, com és el cas de poder precisar el nivell òptim de complexitat per a aconseguir un mínim cost per funció realitzada i, per un altre costat, la determinació del punt a partir del qual començarà a disminuir l'increment exponencial de la quantitat d'elements integrats en un

sol *chip* (figura 2), a causa d'una pobra definició en els objectius del disseny. La influència que aquestes qüestions poden tenir en el futur desenvolupament dels μP s'analitza en els paràgrafs següents.

MICROPROCESSADORS

I

MICROCOMPUTADORS

Qualsevol tipus de computador, des del més simple controlador fins al més complex dels grans ordinadors, es pot representar gràficament conforme a tres classes de subsistemes bàsics (figura 3): la Unitat Central de Procés, la unitat de memòria i el sistema d'entrades i sortides. La Unitat Central de Procés fa totes les funcions aritmètiques, lògiques i de control. La unitat de memòria emmagatzema les instruccions, que hauran de ser executades per la CPU, i les dades amb què opera el programa; en un μP que faci una labor de control, el programador s'emmagatzemarà en una memòria de lectura-escritura (RAM). Els sistemes d'entrada i sortida constitueixen els camins i els protocols de comunicació entre les operacions internes del computador i el comandament exterior (impressores, teclats, conversors analògic-digitals, etc.).

Davant la possibilitat d'integrar les funcions anteriors en un sol *chip*, els fabricants han pogut adoptar les solucions, al seu parer més idònies, considerant el nombre de funcions a integrar i l'estructura de la màquina.

Els μP constitueixen la materialització de

LA INTEGRACIÓ A MICROPROCESSADORS

Figura 1. Evolució en els avenços tecnològics.

(ciència 14

març 1982/Volum 2/171) 19

- 1945 Màquina de Von Neuman
- 1946 ENIAC
- 1948 Invenció del transistor bipolar
- 1955 Primer computador transistoritzat
- 1959 Invenció del transistor MOS
- 1960 Primer ús de la fotolitografia per a la realització de C.I.
- 1963 Primeres estructures CMOS
Primeres famílies TTL
Primeres famílies CMOS
- 1971 Primer μ P comercial
- 1978 -RAM de 64 K bit
-30.000 transistors integrats en un circuit lògic
-256 K bit/memòries de bombolles magnètiques μ P de 16 bit
- 1979 -1 M bit/memòries de bombolles magnètiques
-70.000 transistors integrats en un circuit lògic

la Unitat Central de Procés en un *chip* únic que, un cop interconnectat amb els blocs integrats de memòria i amb les unitats d'entrades i sortides, conformaran la màquina microcomputadora. Si la major part dels sistemes bàsics (figura 3) s'integren en un sol *chip*, disposarem d'un microcomputador de *chip* únic. No obstant això, hi ha un factor que condiciona aquest tipus de component i és la manera com s'ha d'introduir el programa en la memòria ROM. Aquells sistemes que exigien una programació per màscara, és a dir, que havien de ser programats durant el procés de fabricació de la component, veuran limitades les seves possibilitats a aplicacions en què les seves sèries corresponents de producció siguin elevades i estigui justificada la inversió necessària per a la realització de les màscares de gravació del programa. Per aquest motiu, han aparegut les memòries ROM que, mitjançant sistemes elèctrics o per raigs ultraviolats, fan possible la gravació i l'esborrament per part de l'usuari. **Malgrat que el preu d'aquestes memòries sigui superior al primer cas, ofereixen una solució rendible en nivells restringits de producció.**

Podríem comptar amb un tercer grup de

microcomputadors (μ C), anomenats *bit-slice* o μ C a llesques. Davant la necessitat de disposar de μ C d'alta velocitat, es va plantejar la utilització de tecnologia bipolar, com a alternativa a l'aplicació quasi exclusiva de la tecnologia MOS, que si bé es caracteritza per una densitat d'integració més gran, no és menys certa la seva major lentitud operativa. Així és com integrant i interconnectant parts de la Unitat Central de Procés en tecnologia bipolar, es compon el processador complet. En el supòsit de combinar diverses unitats d'aquest tipus, es pot augmentar la longitud de les microinstruccions i de les paraules amb què opera el μ C.

A la figura 4 es mostren les diferències entre cada un dels tipus esmentats, encara que no és pas el nostre objectiu analitzar les arquitectures de μ P i μ C.

INFLUÈNCIA DELS MICROPROCESSADORS EN LA VLSI

En la fulgurant escalada del nombre de components que és possible d'integrar en un sol *chip* (figura 2), podem comprovar com la integració de les estructures regulars, com ara les memòries, aconsegueix uns nivells més elevats que no els assolits per la integració d'estructures aleatòries, donat que requereixen una complexitat de disseny i interconnexió més gran.

Les principals contribucions a aquests avenços han estat el desenvolupament de la tecnologia MOS (metal-òxid semiconductor), la realització d'una densitat més gran a base de microestructures més fines, progressos en el disseny dels dispositius i unes dimensions més grans del *chip* (part del semiconductor en què es fa la integració).

En l'apartat anterior s'ha apuntat la manera de reduir el pendent de la corba de creixement, bé perquè potser ja s'arriba als límits tecnològics, bé perquè no sembla gaire clar que un circuit integrat compost de centenars de milers de transistors

pugui despertar l'interès d'un gran nombre de dissenyadors.

És per la darrera raó apuntada que sembla que el futur dels circuits integrats de gran complexitat va íntimament lligat al μ P. Això és perquè aquest dispositiu obre, amb la seva flexibilitat, una gran varietat d'aplicacions (cosa que redunda en un cost més reduït per funció realitzada. Sembla, doncs, que el μ P obre una via per al dilema d'augmentar les densitats en els circuits integrats per disminuir el cost per funció, davant un augment de la complexitat que implica la realització de circuits integrats per a un camp d'aplicacions molt restringit.

INFLUÈNCIA I CONSUM DE MICROPROCESSADORS

L'evolució en el món dels μ P ha implicat una revolució a l'àrea de les seves aplicacions. Es calcula (2) que cap a l'any 2000 hi haurà en servei de 5 a 10 bilions de μ P i μ C. Les seves aplicacions es divideixen en tres grans sectors: industrial, comercial i consum.

Les aplicacions industrials comporten l'ús de μ P en el disseny o en els processos de manufacturació de la indústria en consideració, previstos per a realitzar tasques de control, test, instrumentació, adquisició de dades, control de màquines numèriques i de processos.

Els μ P han aportat nous camins per a sistemes especialitzats de test de cost baix, per tal que les indústries puguin fer una verificació completa dels seus productes a un cost no gaire elevat i amb una gran flexibilitat, de manera que un canvi en el producte o en les seves especificacions solament implicarà un canvi en el programa.

Actualment presenciem els primers resultats de la introducció dels μ P en el camp de la instrumentació, des de la simple addició de noves prestacions als instruments (mitjanes, desviacions, càl-

Fig. 2. Encara que la corba de complexitat en C.I. ha crescut exponencialment, el pendent pot decriurex a causa d'una manca d'objectius de les funcions a realitzar.

culs addicionals, etc.) a l'autocalibració. Encara que un dels passos més importants ha estat el desenvolupament del bus estàndard per a instrumentació (IEEE-488), el qual proporciona una forma versàtil i efectiva de comunicació entre instruments, així com el seu govern a través d'un controlador central.

Les aplicacions comercials comprenen les dedicades a la dotació o millora de serveis i negocis mitjançant les comunicacions i el processament de paraules i dades. Darrerament el tràfic de dades està adquirint un volum important comparat amb el que abans ocupava exclusivament la veu.

Els μP s'utilitzen més sovint en medicina per al diagnòstic, la monitorització, el tractament i la implantació de pròtesis.

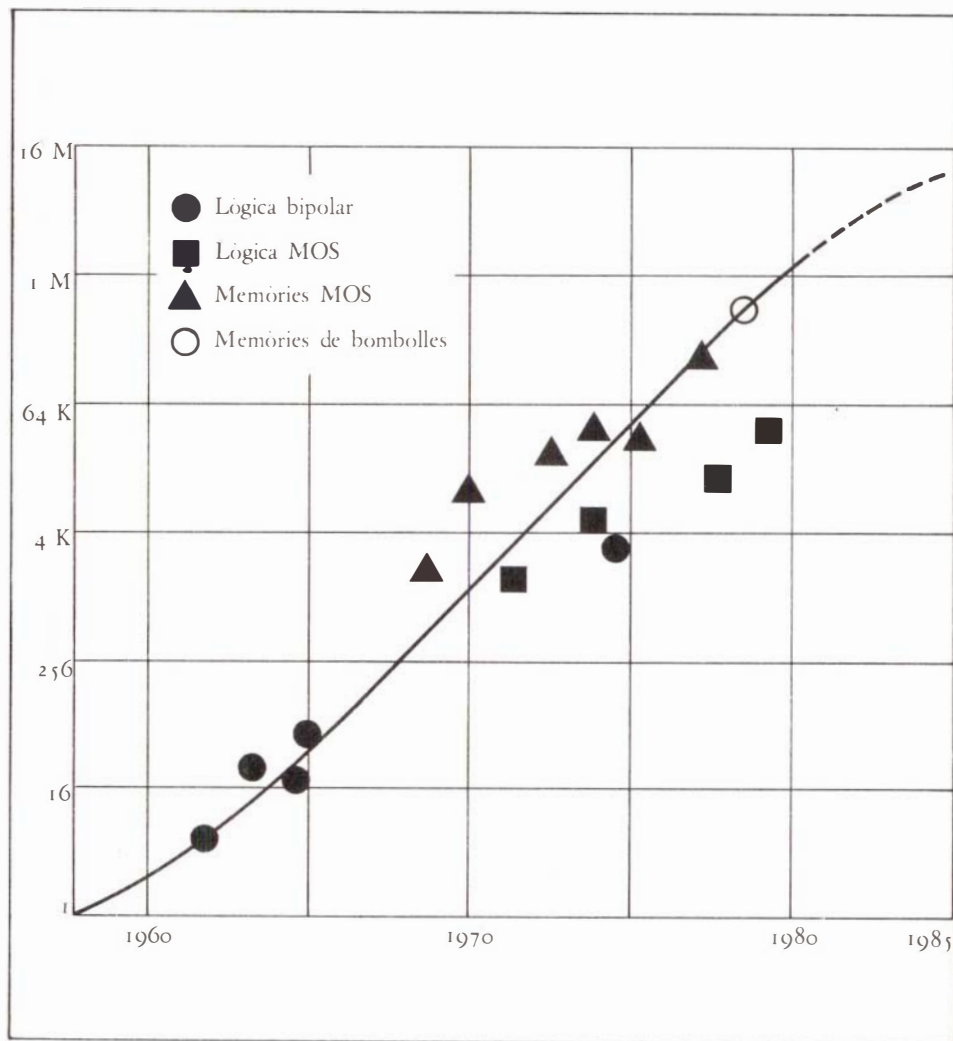
Moltes màquines d'escriure, teletips i processadors de textos empen μP per al seu control, i no sols per a afegir prestacions, sinó també per a reduir el valor del seu cost.

Altres aplicacions comercials dels μP s'orienten cap a sistemes de seguretat, sistemes de control del medi ambient, balances "intel·ligents", taxímetres, sortidors de gasolina automàtics, controladors de trànsit i innumbrables tasques de control.

En l'àrea de consum està naixent, sota la influència i l'aplicació dels μP , una nova generació de productes "intel·ligents". Rentadores, termostats, màquines de cosir i forns de microones són clars exemples en què es confirma que l'electrònica ha reemplaçat els controls mecànics.

Es de domini popular la manipulació electrònica d'un gran nombre de jocs controlats per μP l'única limitació dels quals està en la imaginació humana. Els primers jocs electrònics de ping-pong al televisor han estat relegats per la revolució dels vídeo-jocs gràcies als μP (tan sols canviant el programa canviem de joc).

La influència dels μP ha arribat fins als fabricants d'automòbils, els quals ja surten al mercat amb controls d'injecció de gasolina, temporitzadors de bugies, informacions senyalitzades, etc.



Una altra àrea d'un interès creixent és la dels ordinadors personals que marquen l'evolució de la VLSI, els quals com més va són més complexos i barats. Relacionant-ho amb els sistemes de maneig de dades a casa cal esmentar els sistemes Viewdata i Teletex, que ens brinden un futur intrigant.

TENDÈNCIES EN LA TECNOLOGIA D'INTEGRACIÓ A GRAN ESCALA

Les evolucions i les tendències en les tècniques d'integració a gran escala es porten a terme amb extrapolacions basades en el supòsit que els esforços i els nivells de desenvolupament actuals continuaran i produiran resultats comparables als aconseguits en el passat. Tanmateix, l'extrapolació implica uns certs canvis en els paràmetres del sistema, tals com:

-Desenvolupament d'idees noves sobre encapsulaments que permetin dissipacions de més potència. Com més elements estiguin integrats en un *chip*, més gran serà la potència a dissipar.

-Un canvi en la filosofia de les fonts d'alimentació. Tensions de 3 a 1,5 volts farien compatibles els sistemes amb l'alimentació per bateries, i donarien lloc a una reproducció avançada de potència dissipable.

-Utilització de plasmes que reemplaçaran les solucions químiques per a la deposició, oxidació i altres passos. Això possibilita la realització de geometries més fines i la reducció de costos en el processament.

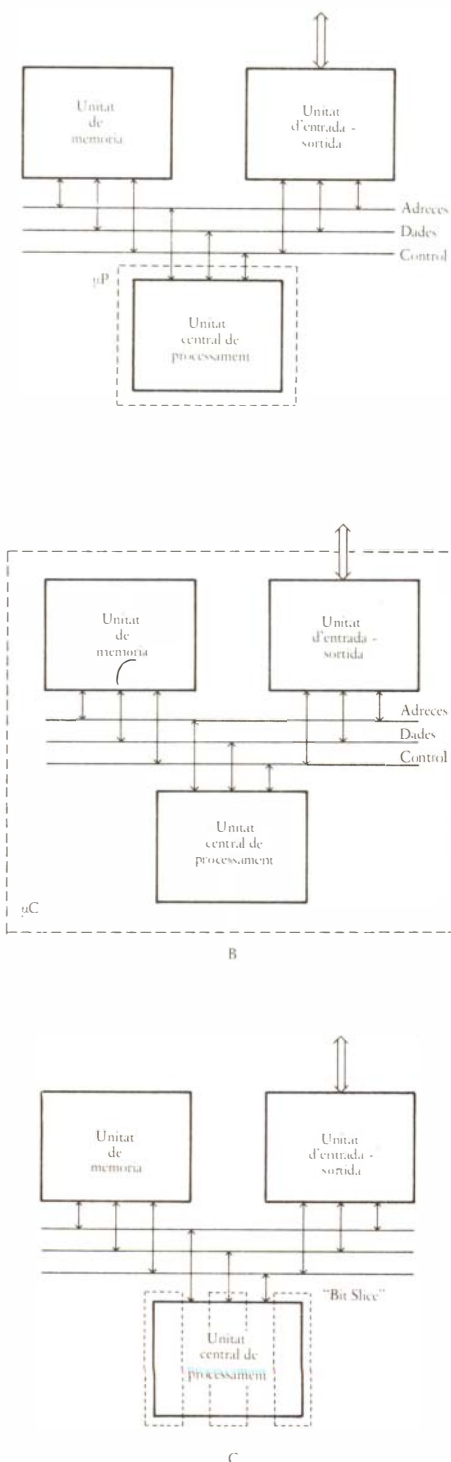
Segons les tendències actuals, la tecnologia NMOS constituirà la base per al desenvolupament dels pròxims circuits integrats, complementat per CMOS per a aplicacions de consum baix. Utilitzant tècniques de porta de silici, en comptes de les convencionals de metall, s'aconseguiran velocitats més grans.

Des dels nivells actuals d'integració, de 50.000 a 80.000 dispositius per *chip*, les futures arquitectures de μP tendiran a desenvolupar tota una gamma completa de *chips* de suport per als nous μP de 16 bits, amb components per a realitzar l'accés directe a memòria, el control del bus, la segmentació de memòria i els processadors perifèrics. Probablement aquests processadors, utilitzats per al control de perifèrics, podran ser programats per l'usuari per al control de discos flexibles o pantalles, la partició de memòria, els protocols especials de comunicació o els processadors previstos per a tasques especials.

IMPLICACIONS "SOFTWARE"

Contràriament al que podria semblar a simple vista, qualsevol millora tecnolò-

Fig. 3. Representació esquemàtica dels subsistemes integrats en un microprocessador (A), un microcomputador (B) i una configuració "Bit-Slice" (C).



gica que es pugui aconseguir en el món dels μP manca de valor per si mateixa si no rep el suport del desenvolupament *software* consegüent.

Aquesta afirmació es pot ratificar examinant l'estat actual dels μP de 16 bits, els quals solament són aplicats per alguns usuaris en projectes molt sofisticats, mentre que el mercat continua acaparant pràcticament pels μP de 8 bits. La raó d'aquest fet és la càrrega econòmica inherent al desenvolupament d'un nou *software*.

Així, els pròxims μP (de 8, 16 i 32 bits) tindran arquitectures estructurades per a una simplicitat més gran de programació. Programant amb llenguatges d'alt nivell adquiriran una arquitectura semblant a la dels minicomputadors i un potent joc d'instruccions. Serà important que la seva arquitectura accepti programes en un codi objecte, executables en qualsevol posició del mapa de memòria. Òbviament, també serà important tenir accés a unitats de programes, de manera que un programa d'aplicació pugui ser desenvolupat amb l'elecció del *software* desitjat i es pugui constituir la continuïtat del programa per uns programes de "pegats" amb instruccions d'alt nivell. Aquesta tècnica podria reduir en un ordre de magnitud el cost de la programació.

CONCLUSIONS

D'acord amb les consideracions anteriors queda patent que els μP i les seves integracions de memòria associada poden ser el motiu impulsor principal de les tècniques d'integració a gran escala.

Las tendències actuals obliguen a pensar que el procés de miniaturització pot arribar a situacions límit. Segons diversos autors (2, 3, 4), els problemes físics més importants que es poden trobar en l'augment de la densitat d'empaquetament són:

-L'electromigració (moviment d'àtoms induït pel corrent en conductors metàl·lics).

-Els alts camps elèctrics en els dispositius

poden produir "electrons calents" i ruptures de dielèctrics.

-Una disminució en les dimensions del circuit i un augment de la seva complexitat comportarà un augment en la quantitat de fils d'interconnexió i un increment de la resistència elèctrica de les connexions, deguda a la mateixa reducció dimensional.

-La dissipació màxima que es pot donar al circuit integrat, tot i que es millorin els sistemes de transferència de calor, tal com s'ha apuntat en les consideracions anteriors.

(Enric Vilamajó)

Materials de lectura

1. Paul M. Russo: *VLSI Impact on Microprocessor Evolution, Usage and System Design*. IEEE Trans. E. D. Vol. ED-27, n.º 8, 1980.
2. Daniel Queyssac: *Projecting VLSI'S Impact on Microprocessors*. IEEE Spectrum. May 1979.
3. Gordon Moore: *VLSI: Same Fundamental Challenges*. IEEE Spectrum. April 1979.
4. Roger Allan: *VLSI: Scaping its Future*. IEEE Spectrum. April 1979.
5. John G. Posa: *Microprocessors and Microcomputers*. Electronics. October 1979.
6. Edwin E. Klingman: *Comparisons and Trends in Microprocessor Architecture*. Computer Design. Septembre 1977.
7. Robert Grappel i al.: *Compare the newest 16-bit μP s to evaluate their potential*. EDN. Septembre, 5, 1980.
8. Karl F. Gosser: *The Challenge of the VLSI Technique to Telecommunications Systems*. IEEE Trans. E.D. Vol. 27, n.º 8. 1980.
9. R. W. Keyes: *The Evolution of Digital Electronics Towards VLSI*. IEEE Trans. E. D. Vol. 26, n.º 4, 1979.
10. William Twadell: *Low-cost, high capability LSI chips ease interface-bus implementation*. EDN. November, 5, 1979.