



A XIX-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”,
CLUJ NAPOCA, 2019

SISTEMUL COMPUTAȚIONAL AGC

George MAHALU

THE AGC COMPUTING SYSTEM

This paper treats the way to MIT designed the AGC used in Apollo missions. Is highlighted the power of the optimisation and reduction to necessity limit of the resource consumption. In final is appreciated what much can be made whit so less resources.

Keywords: computer, bus, byte, technology

Cuvinte cheie: computer, magistrală, octet, tehnologie

1. Introducere

Adeptii teoriilor conspiraționale au încercat discreditarea misiunilor Apollo cu echipaj uman ce au aselenizat, și în mod special misiunea Apollo 11. Aceasta a fost prima dintr-o serie de zboruri cosmice care au dus oameni pe satelitul pământului, primul dintre aceștia fiind americanul Niels Armstrong, în anul 1969. Principalele argumente ale scepticilor au fost:

- Tehnologia de la acea oră nu era capabilă să ducă un om pe lună și să-l aducă apoi în condiții de siguranță.
- Imaginea stelelor nu apare în înregistrările făcute.
- Drapelul statelor unite fâlfâie deși pe lună nu există atmosferă.
- Umbrele aruncate de diversele obiecte ce apar în înregistrări sunt proiectate într-un mod ce defide legile fizicii.
- Rocile aduse sunt similare celor de pe pământ.

- Astronauții n-ar fi supraviețuit trecerii prin centurile de radiație van Allen.

Toate aceste argumente, și încă altele, au fost demontate de specialiști, și nu doar de cei de la NASA. În cele ce urmează axarea se va face doar pe primul argument.

2. Nivelul de dezvoltare computațională existent în 1969

În anul 1969 microprocesorul încă nu fusese inventat. Electronica digitală, ca și cea analogică, implica circuite complexe realizate cu componente discrete, în particular tranzistori, și unele circuite integrate la scară redusă. Cu toate acestea, computere se realizau de mai mulți ani (decenii), cu rezultate suficient de bune pentru a putea rula aplicații de calcul științific sofisticate. Deși lipseau interfețele grafice cu utilizatorul iar tehnicile de programare erau anevoioase, fiind deseori necesar să se recurgă la scrierea rutinelor în cod-mașină (cod binar), și deși resursele hardware erau limitate, în mod extrem am putea spune astăzi, producerea de aplicații complexe de natură tehnică și științifică erau pe deplin posibile.

3. Apollo Guidance Computer (AGC)

Echipamentele militare montate în baze de operațiuni, pe transportoare mobile și vehicule aeriene, ajunseseră în 1969 la performanțe deosebite, asta și datorită imboldului tehnologic impus de războiul rece. Astfel, crearea unei mașini programabile de calcul interfațată cu senzori, traductori și actuatori, destinată controlului automat, nu constituia o problemă insurmontabilă, așa cum ar dori să remarce unii.

În aceste condiții NASA (National Aeronautics and Space Administration), încă de la începutul anilor '60, cere celor de la MIT (Massachusetts Institute of Technology) realizarea unui sistem numeric de calcul care să fie capabil să controleze operații specifice desfășurării de acțiuni automatizate în spațiul extraterestru. Astfel MIT Instrumentation Laboratory proiectează sistemele AGC și DSKY (un sistem de interfațare prin tastatură și display), conectându-le și furnizându-le programului Apollo încă din 1966 (figura 1) [1]. Aceste sisteme utilizau exclusiv structuri combinaționale cu porți logice incorporate în cipuri integrate ce dețineau doar 6 tranzistori fiecare (figura 2).



Fig. 1 AGC și DSKY

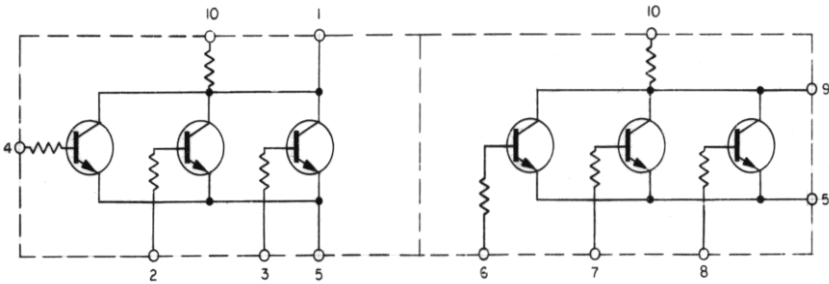


Fig. 2 Schema cipului cu porți NOR-RTL

Conectica era realizată prin tehnologie wrapping, adică prin fire electric-conductoare cu capetele înfășurate strâns în jurul unor pini metalici cu secțiune pătrată ce constituiau intrări/ieșiri de semnal pentru diversele blocuri constituente: memorii, unități centrale de prelucrare și control, magistrale, unități aritmetice și logice de calcul etc. Abia ulterior

avea să fie generalizată soluția circuitului imprimat, atât de utilizată până chiar în momentul de față.

Cea mai mare parte a componentei software existentă în AGC era stocată într-o structură de memorie de tip read-only, denumită *core rope memory*, ceea ce am traduce liber prin *memorie cu inele de ferită*. Capacitatea acesteia nu depășea 72 kB. Memoria efectivă de lucru, de capacitate foarte mică (2 kB) era realizată printr-un sistem de înregistrare magnetică cu posibilități de suprascriere [2].

Cu o memorie totală de 74 kB, nu este de mirare că scepticii de astăzi înclină să creadă într-o conspirație pusă la cale de NASA cu scopul de a nu pierde fondurile guvernamentale alocate cercetării spațiale. Ei obișnuiesc să spună că: *cuptorul meu cu microunde are o memorie de capacitate mai mare*. Și au dreptate când spun asta.

Cu toate acestea, trebuie ținut cont de faptul că AGC nu deține interfață grafică. Astăzi peste 80% din puterea de procesare, în cazul unui utilizator uzual (amator), se disipă pe această interfață. Atunci când mișcăm cursorul mouse-ului pe display, când afișăm imagini colorate de înaltă rezoluție, când ascultăm muzică sau urmărim filme stocate pe HDD, consumul de putere de calcul este cu mult mai mare decât cel necesar supervizării unui proces tehnic cum ar fi aprinderea și stingerea unor lumini, pornirea sau oprirea unor motoare sau reglarea temperaturii de încălzire a unui cuptor. Aceasta a fost și ideea celor de la MIT: optimizarea resurselor prin eliminarea (printre altele) a interfețelor, pe cât posibil. De asemenea s-au optimizat rutinele software până la a furniza alarme și avertismente prin simple coduri numerice de genul 1201 sau 1202. Este cauza pentru care întreaga echipă (atât echipajul cât și cei de la sol) a fost total debusolată la apariția codurilor de eroare din timpul aselenizării modulului lunar [3].

4. Caracteristici tehnice AGC

Printre caracteristicile tehnice ale AGC, altele decât cele deja specificate, se pot menționa:

- Utilizarea de cipuri implementând porți logice NOR în tehnologie RTL (Resistor-Transistor Logic) (figura 3).
- Utilizarea cuvintelor binare pe 16 biți (2 octeți), implementând astfel 15 biți de date și un bit de paritate.
- Frecvența de ceas la nivelul cristalului de 2,048 MHz, divizată de două ori, astfel încât să se obțină frecvența de bază (master frequency) de 512 kHz. Aceasta a fost frecvența care

sincroniza operațiile de navigație ale modulului. Din aceasta se obțineau toate celelalte frecvențe de sincronizare a diverselor dispozitive auxiliare.

- 4 regiștri generali pe 16 biți, denumiți A (acumulator), Z (numărător de program), Q (de calcul intermediar) și LP (ultimul produs în operațiile de multiplicare).
- Încă 13 regiștri cu diverse funcționalități.
- Setul de instrucțiuni cuprindea 11 coduri de instrucțiune, fiecare pe 15 biți. Primii 3 biți erau rezervați pentru opcod iar ceilalți 12 pentru adresă.
- AGC deținea 5 vectori de întrerupere.
- Magistrala de date era împărțită în două: magistrala de scriere și magistrala de citire, fiecare dintre acestea având lungimea de 16 biți.
- Software-ul AGC era stocat în *rope memory*.

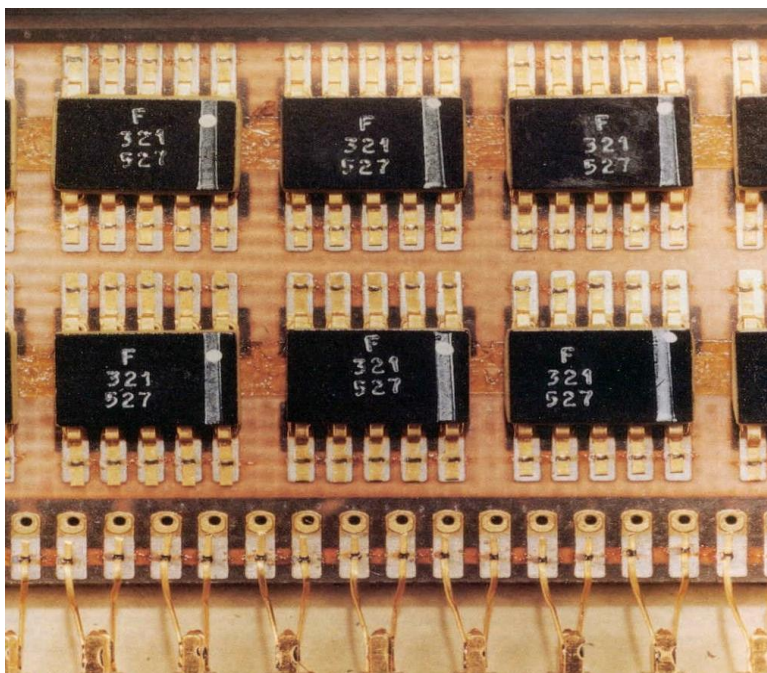


Fig. 3 Modul cu porți NOR-RTL integrate

5. Concluzii

Atunci când se vorbește despre nivelul tehnologic computațional necesar și suficient pentru aselenizarea din 1969, nu trebuie să ne raportăm la un reper reprezentat de tehnologiile actuale, moderne. Trebuie, în schimb, să înțelegem că o proiectare optimală, ținând pe aspectele de eficiență și acoperire a necesităților prin minim de resurse, precum și o realizare îngrijită, poate suplini nivelul tehnologic redus și conduce la obținerea unor rezultate remarcabile. Și cu atât mai mult trebuie apreciată munca și inventivitatea celor care au făcut atât de mult cu atât de puțin.

BIBLIOGRAFIE

- [1] O'Brien, Frank, *The Apollo Guidance Computer – Architecture and Operation*, Springer-Praxis Publishing Ltd., Chichester UK, 2010.
- [2] Germino, Mary, ș.a., *The Apollo Guidance Computer – A Verilog Simulation*, Computer Architecture, 2008.
- [3] <https://www.nasa.gov/nasalive>

Conf.Dr.Ing. George MAHALU
Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava
membru AGIR
e-mail: mahalu@eed.usv.ro