

CALCULATORUL ANALOGIC I.F.A. — CLUJ

DE

M. HĂNGĂNUȚ și C. MIRON

(Cluj)

Lucrare prezentată la Colocviul de analiză numerică din 8—13 decembrie 1960, Cluj

1. Introducere

Deși de dată recentă, de la construirea primului calculator electric analogic sănătatea mai puțin de 15 ani, calculul analogic folosind tehnica electronică a fost universal acceptat, iar folosirea calculatoarelor de acest gen este în ce mai răspândită.

Acest lucru se datorează în special posibilităților pe care calculatoarele analogice le oferă la rezolvarea problemelor legate direct de tehnică și faptului că un calculator analogic este mult mai simplu de construit și în special de folosit decât un alt tip de calculator capabil să rezolve același gen de probleme.

Avantajele menționate sunt însă în detrimentul preciziei cu care se poate obține rezultatul, ceea ce constituie bineînțeles un dezavantaj, nu însă întotdeauna hotărîtor.

2. Descrierea calculatorului analogic

Calculatorul analogic construit la I.F.A. — Cluj este simplu, atât ca mărime, cât și ca soluții adoptate. Cu toate acestea, precizia cu care se pot obține rezultatele este satisfăcătoare.

În figura 1 este înfățișat calculatorul realizat. El a fost conceput sub forma unei mese de lucru având următoarele părți componente: panoul conținând potențiometrele de afișaj, rastelul cu amplificatoarele operaționale, care au încorporează și rigletele de interconexiune, pupitrul de

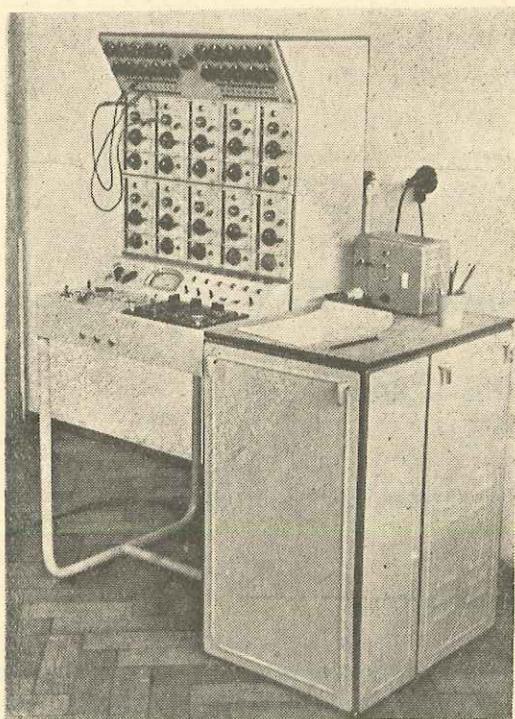


Fig. 1

de comandă ale acestuia, ca și elementele operaționale, rezistențe și condensatoare, prin gruparea cărora se poate folosi unitatea de calcul ca sumator, sumator-înmulțitor cu 0,1 ; 1 ; 4 ; 10 și integrator-înmulțitor cu 1 ; 4 ; 10.

Figura 2 înfăștează amplificatorul operațional și schema lui.

Pentru alimentarea celor 10 amplificatoare sunt necesare 5 tensiuni continue iar pentru partea de comandă și măsură 3 tensiuni. Aceste tensiuni se obțin de la un număr egal de surse, care au fost grupate separat.

Cerința cea mai mare în privința stabilității tensiunilor de alimentare apare la etajele 1 și 2 ale amplificatoarelor. Pentru evitarea derivei s-au luat următoarele măsuri: curentul de filament al tuburilor etajelor 1 și 2 este stabilizat în raport de aproximativ 1 : 25 000; la fel sunt stabilizate tensiunile de alimentare ale etajelor 1 și 2. În felul acesta s-a reușit menținerea derivei amplificatoarelor în limitele de 1–2 mV/10 min pentru sumatoare și 100 mV/100 s. pentru integratoare.

Pentru tensiunea ce apare pe grila etajului 3 s-a asigurat o stabilitate de aproximativ 1 : 1 400, iar tensiunea anodică a ultimului etaj nu s-a stabilizat de loc.

Folosirea calculatorului a arătat că soluțiile adoptate pentru surse au corespuns așteptărilor, calculatorul putând lucra cu precizia scontată.

comandă și măsură și dulapul cu sursa de alimentare.

Calculatorul dispune în faza actuală de 10 amplificatoare operaționale și de 20 de potențometre de afișaj.

În execuție se află trei generatoare de funcții arbitrară, care pot fi folosite și ca înmulțitoare, fie prin sumă de patrate, fie prin logaritmare.

Amplificatorul operațional este un amplificator de curent continuu cu trei etaje, având un factor de amplificare de 40–50 000, capabil să furnizeze la ieșire ± 100 V la 10 mA, caracteristica de ieșire fiind liniară în acest domeniu.

Din considerente care se vor arăta ulterior, cît și din motive de simplitate, amplificatoarele nu au fost prevăzute cu reglare automată de derivă.

Pe același șasiu cu amplificatorul sunt montate și circuitele

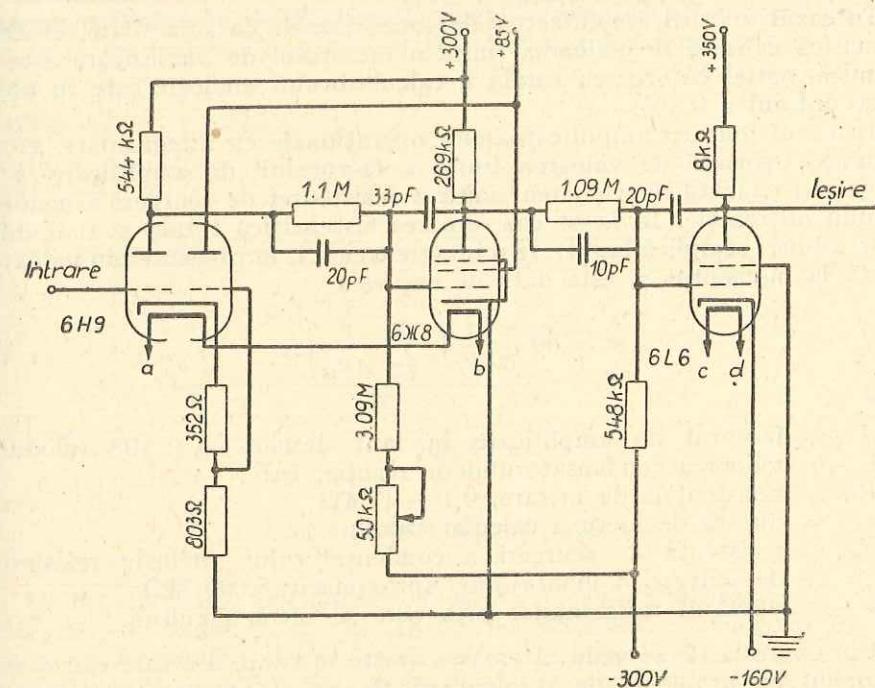
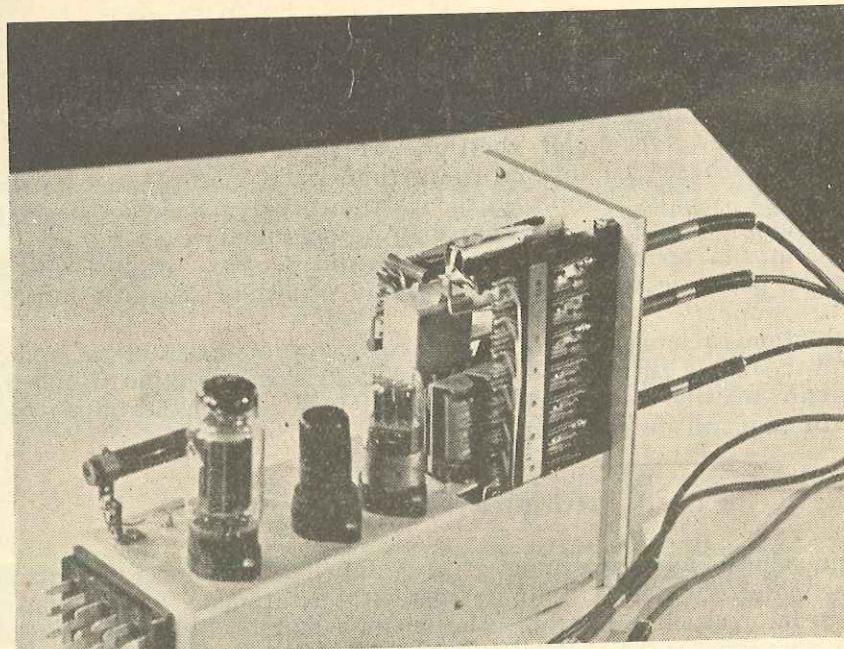


Fig. 2

În privința manevrării calculatorului, comenziile au fost astfel grupate încât să asigure o simplitate maximă. Conectarea succesivă a circuitelor, necesară punerii în funcțiune, se realizează automat, asigurându-se prin aceasta evitarea suprasolicitării amplificatoarelor în perioada de pornire.

— Măsurarea tensiunilor surselor, ca și a soluțiilor problemei de studiat, se realizează cu un singur instrument de măsură, care poate fi conectat succesiv la locul dorit. Scările instrumentului sunt de la 0,2–300 V. Se poate folosi de asemenea un înregistrator automat.

— Comanda operațională a calculatorului se face cu ajutorul unei chei cu trei poziții, corespunzătoare respectiv situațiilor „condiție inițială“, „lucru“, „stop“.

Potențiometrele necesare stabilirii coeficienților constanți ai ecuației de rezolvat sunt de tip obișnuit, valoarea coeficientului putând fi măsurată cu o eroare relativă de 1/1 000 cu ajutorul unei punți Wheatstone incorporate în pupitrul de comandă.

3. Precizia calculatorului analogic

Prin soluțiile adoptate, având grijă ca din timp în timp să se controleze și să se corecteze deriva amplificatoarelor operaționale, erorile datorite derivei și impreciziei de fixare a valorilor impedanțelor de intrare și reacție sunt de aproximativ 0,1–0,2%.

În cazul folosirii amplificatoarelor operaționale ca sumatoare, eroarea sistematică cauzată de valoarea finită a factorului de amplificare este și mai mică, astfel că eroarea totală a calculatorului analogic este în acest caz de ordinul a 0,2%.

În cazul folosirii amplificatoarelor operaționale ca integratoare, erorii sistematice cauzate de valoarea finită a factorului de amplificare i se adaugă cea cauzată de valoarea finită a rezistenței de scurgeri a condensatorului de reacție. În acest caz, eroarea sistematică totală a unui integrator căruia î se aplică la intrare o funcție treaptă, în procente din valoarea corectă la momentul τ , este dată de expresia

$$\varepsilon = 50 \frac{\tau}{C} \left(\frac{1}{R_s} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{A R_{1i}} \right), \quad (1)$$

unde

- A = factorul de amplificare în lanț deschis, 5×10^4 (modul);
- C = valoarea condensatorului de reacție, $1\mu F$;
- R_{1i} = rezistențele de intrare, $0,1 - 1 M\Omega$;
- τ = durata de lucru a calculatorului;
- R_s = rezistența de scurgeri a condensatorului, inclusiv rezistența de scurgeri a montajului, aproximativ $5\ 000 M\Omega$;
- n = numărul rezistențelor prin care se intră simultan.

Din expresia (1) se vede că eroarea crește în timp, din care cauză este convenabil ca problema de rezolvat să fie astfel programată (alegerea scării timpului) încât durata rezolvării să nu depășească aproximativ 100 s.

Pentru valorile date mai sus și pentru $\tau = 100$ s, $n = 1$, $R_{11} = 0,1 M\Omega$, se obține $\varepsilon = 2\%$ și contribuțiile celor doi termeni sunt egale. De aici rezultă că o mărire a factorului de amplificare A peste valoarea existentă, nu mărește sensibil precizia calculatorului analogic și deci nu justifică complicațiile care apar.

Pentru verificarea faptului că toate celelalte erori care apar în calculator sunt neglijabile față de erorile sistematice analizate mai sus, s-a urmărit rezolvarea unei ecuații diferențiale a cărei soluție furnizată de calculator trebuie să fie în acest caz de formă

$$Y = Y_0 e^{ax} e^{-\tau/b} = Y_0 e^{(a-1/b)\tau},$$

unde $Y_0 e^{ax}$ este soluția corectă a ecuației iar $e^{-\tau/b}$ este efectul introdus de constanta de timp a integratorului cauzată de rezistența echivalentă de scurgeri a condensatorului, respectiv

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{CR_{se}} = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R_s} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{A R_{1i}} \right). \quad (3)$$

În cazul în care pe lângă erorile amintite ar mai fi și alte erori importante, acestea s-ar face simțite printr-o variație a factorului b , și deci a coeficientului lui τ din exponent, cu timpul.

Urmărind acest lucru s-a constatat că $(a - 1/b)$ rămîne constant în timp cu o eroare de $\pm 1\%$ (fig. 3) (trebuie remarcat că eroarea de înregistrare și de citire a fost tocmai de acest ordin de mărime).

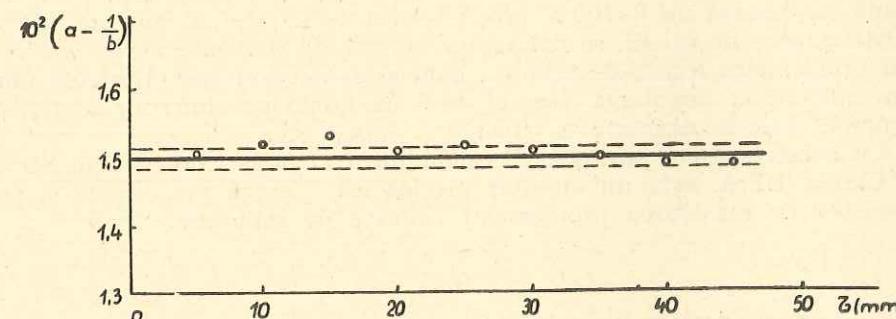


Fig. 3

4. Domeniu de utilizare

În fază actuală, calculatorul poate fi folosit la rezolvarea ecuațiilor diferențiale ordinare liniare cu coeficienți constanți și omogene. De asemenea, poate rezolva și ecuații de acest tip neomogene, cu condiția ca membrul doi să fie o funcție exponențială (cu exponent real sau complex), un polinom în variabila independentă sau un produs între aceste două

funcții. În plus, calculatorul poate rezolva și sisteme de astfel de ecuații diferențiale.

Deși mai puțin adecvat, calculatorul poate fi folosit și la rezolvarea ecuațiilor algebrice liniare, și a sistemelor de ecuații algebrice liniare, mai ales atunci cînd prin prezența unui parametru se cere găsirea unui număr mare de soluții.

Complexitatea problemei de rezolvat este limitată de capacitatea calculatorului, respectiv de numărul amplificatoarelor operaționale și al potențiometrelor de afișaj. În cazul nostru se pot rezolva probleme care nu cuprind mai mult de 10 necunoscute sau care nu necesită mai mult de 10 integrări.

— Calculatorul a fost folosit în situațiile de mai sus iar rezultatele obținute au confirmat furnizarea rezultatului cu precizia indicată anterior.

O dată cu punerea în funcțiune a celor trei generatoare de funcții arbitrară, care se execută în prezent, domeniul de utilizare al calculatorului va cuprinde :

- ecuațiile diferențiale ordinare liniare cu coeficienți constanți omonogene și neomogene cu membrul doi de orice formă;
- ecuațiile diferențiale ordinare liniare cu coeficienți variabili (cu un coefficient variabil);
- ecuațiile diferențiale ordinare neliniare (cu o singură neliniaritate);
- sisteme de ecuații de aceste tipuri;
- ecuații algebrice liniare și neliniare;
- sisteme de ecuații algebrice liniare și neliniare.

În plus, cu ajutorul diodelor din generatoarele de funcții, care împreună cu o sursă de ± 100 V pot fi conectate individual sau grupate în diferite scheme de calcul, se pot realiza o serie de elemente necesare rezolvării problemelor legate de tehnică, cum ar fi de exemplu obținerea unui ciclu hysteresis, simularea jocului a două pinioane dintr-un angrenaj, obținerea valorii absolute a unei variabile, etc.

Cu aceste variate posibilități, calculatorul analogic construit la Secția din Cluj a I.F.A. este un auxiliar prețios atât pentru problemele secției cît și pentru rezolvarea problemelor ridicate de industrie.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ КЛУЖСКОГО И.А.Ф.

РЕЗЮМЕ

В работе излагается возможность использования вычислительной машины непрерывного действия И.А.Ф. - Клуж, со сведениями о точности, с которой можно получить результаты. Далее показываются в общих чертах типы математических задач, которые можно решить с помощью этой машины.

LE CALCULATEUR ANALOGIQUE I.F.A.-CLUJ

RÉSUMÉ

Les auteurs exposent succinctement les possibilités d'utilisation de la machine à calculer I.F.A.-Cluj, et donnent des références sur la précision avec laquelle on obtient le résultat. Puis ils indiquent grossièrement les types de problèmes mathématiques qu'elle peut résoudre.

BIBLIOGRAFIE

1. Hăngănuț M., Miron C., *Probleme de automatizare*. Edit. Acad. R.P.R., București, III, 109–125 (1961).
2. Johnson C. L., *Analog computer techniques*. New York, Mc Graw-Hill Book Company, 1956.
3. Коган Б. Я., *Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования*. Москва, Физматгиз, 1959.
4. Korn G. A., *Electronic analog Computers*. New York, Mc. Grand Book Company, 1956.

Primit la 6. XII. 1960.