

Ismétlőüzemű analóg számítógépek alkalmazási lehetőségei

VANYOS LAJOS
Kandó K. Villamosipari Műszaki Főiskola

DK.: 681.33

Az elektronikus áramkörök vizsgálatával kapcsolatos alkalmazási példákon keresztül mutatja be a szerző a szinuszos egységjellel és négyszög egységjellel működő ismétlőüzemű analóg számítógépek alkalmazhatóságát.

Horner séma alapján számoló analóg rendszert mutat be polinomegyenletek gyökeinek meghatározására és gyökhelygörcbe szemléltetésére, foglalkozik az áramköri tolerancia meghatározásával, példát mutat be tranzistoros áramkör analóg számítógépes modelljére. Rámutat az analóg-digitális hibrid gépek alkalmazásának lehetőségeire.

Az analóg számítógépekkel kapcsolatos irodalom, melyből csupán néhány, az áramköri és programozási kérdéseket átfogóan feldolgozó művet sorolok fel [1], [2], [3], [4], [5], [6], nagyon röviden foglalkozik az ismétlő üzemmódból adódó előnyös felhasználási lehetőségekkel.

A Budapesti Műszaki Egyetem Műszer és Mérés-technikai Tanszékén kifejlesztett ismétlőüzemű analóg számítógéppel [7] kapcsolatos munkám, valamint célgéprendszerek tanulmányozása és tervezése során számos alkalmazási lehetőség került fel, ahol előnyösen alkalmazható ismétlőüzemű analóg számítógépes rendszer, vagy ennek digitális rendszerrel kialakított hibridje.

Jelen keretek között néhány az elektronikus áramkörök vizsgálatához kapcsolódó, ismétlőüzemű analóg rendszer felhasználásával előnyösen vizsgálható problémára szeretném a figyelmet felhívni. A rendelkezésre álló terjedelemből részletesebb tárgyalást nem enged meg, ezért csupán néhány példát említek és néhány kérdés körvonalait vázolom. A matematikai alkalmazásokban és a műszaki modellezésben nyújtott, a következőkben tárgyalásra kerülő előnyökön kívül az ismétlődő üzemi gépek kezelése, a műveleti erősítők felépítése is egyszerűsödik. Az ismétlőüzemű analóg számítógépek speciális áramköri kérdéseivel Görgényi András közleménye foglalkozik.

Az ismétlőüzemű rendszerek egységjele periodikus. A számítási folyamat általában egy periódus ideje alatt lezajlik, s ugyanaz a folyamat ismétlődik, míg a rendszerben valamilyen paramétert meg nem változtatunk.

A megfelelően nagyra választott ismétlési frekvencia következtében a megoldási folyamat oszcilloszkópon álló kép formájában szemléltethető, a paraméterváltozás hatása „azonnal” értékelhető.

A rövid megoldási idő összemérhető a megoldott probléma digitális számítógépen történő futtatásának idejével.

Mivel a paraméterek változtatása digitális vezérléssel, az eredmények kijelzése digitális formában is történhet, kézenfekvő, hogy bizonyos problémák megoldására analóg-digitális hibrid rendszer felhasználása igen előnyös.

A következőkben kétféle, a szinuszos egységjellel és a négyszög egységjellel dolgozó analóg rendszer felhasználását mutatom be.

1. Szinuszos egységjellel dolgozó analóg rendszerek

Rögzített f_0 frekvenciájú, szinuszos jel két jellemzője lehet a számításban felhasznált információ hordozója: az amplitúdó és a fázis.

A kérdéses rendszerek felhasználása elsősorban matematikai kifejezések helyettesítési értékének meghatározásánál, ill. ilyenre visszavezethető problémák megoldásánál jön számításba.

Egy változó esetén a tipikus műveleti elemek:

Keskenysávú RC csatolt összegező és előjelfordító erősítők;

Feszültségosztók;

Egységjel generátor;

Fázisérzékeny egyenirányító;

Kijelző műszer ill. koordináta író.

Természetesen speciális műveleti elemek, mint pl. szorzó és függvényátalakító egységek ugyancsak alkalmazhatók.

Különösen előnyösen alkalmazhatók az ilyen típusú rendszerek komplex számokkal számítandó kifejezésekhez, ez esetben a tipikus műveleti elemek közé sorolhatjuk a fázistolókat is.

Ezeket az elemeket találjuk a polinomegyenletek gyökmeghatározására készített [8] célgépben, ill. [9] program ismertetésben.

Ezeknél egyszerűbb felépítésű rendszert mutatok be az 1. ábrán, amely a Horner elrendezés szerint számítja az

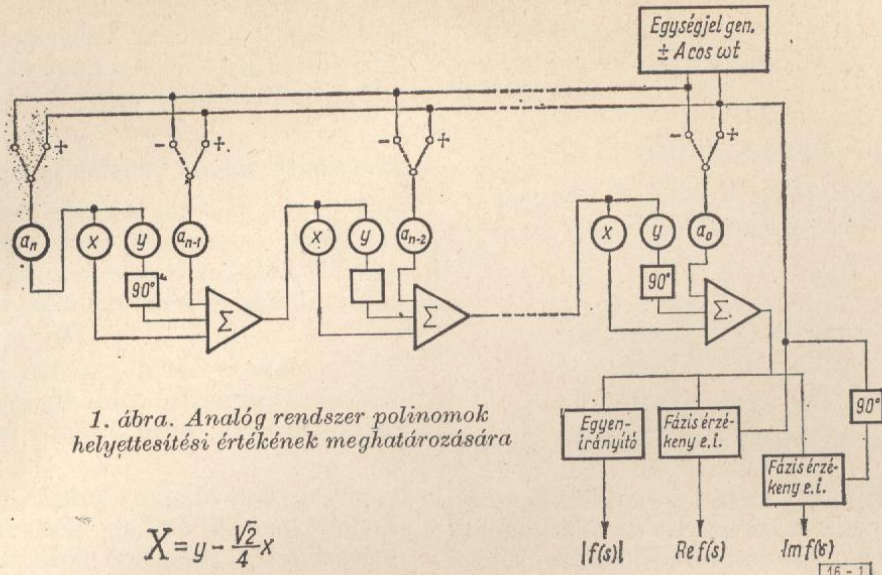
$$f(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0$$

polinom helyettesítési értékét

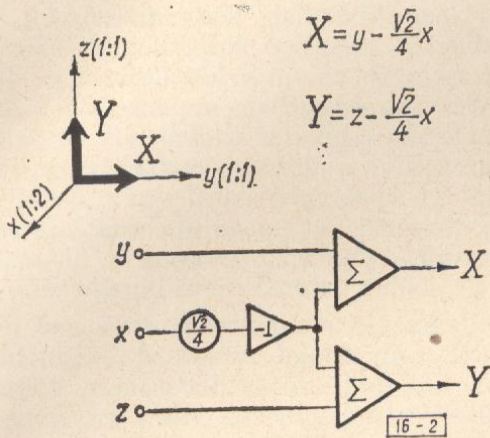
az $s = x + jy$ ($|x| \leq 1$, $|y| \leq 1$) helyeken. Ha az 1. ábrán látható rendszert úgy módosítjuk, hogy az x és y -nal való szorzást elektronikus szorzóval végezzük és x , ill. y értékét f_i frekvenciájú periodikus függvény szerint ($f_i \ll f_0$) változtatjuk, akkor az $s = x + jy$ valamelyik valós értékű függvényét pl. a $z = |f(s)|$ -et oszcilloszkópon, axonometrikus leképzéssel is vizsgálhatjuk. Axonometrikus kép előállítására alkalmas rendszert a 2. ábra mutat. Elektronkapcsoló segítségével a koordináta tengelyek, valamint a koordináta síkokon keletkező vetületek axonometrikus képe is láthatóvá tehető (3. ábra).

A polinom egység sugarú körön belüli gyökeinek elhelyezkedése is láthatóvá tehető, ha az oszcilloszkóp vízszintes eltérítő jele x , a függőleges y , a sugár kioltásáról pedig a $z = |f(s)| > \varepsilon \approx 0$ feltételre működő komparátort alkalmazunk.

Ha a polinom együtthatói valamely w paraméter lineáris függvényei, a gyökök elhelyezkedése w értékétől függ. A gyökhelygörcbe [9], [10] az előbb leírt módon szemléltethető.



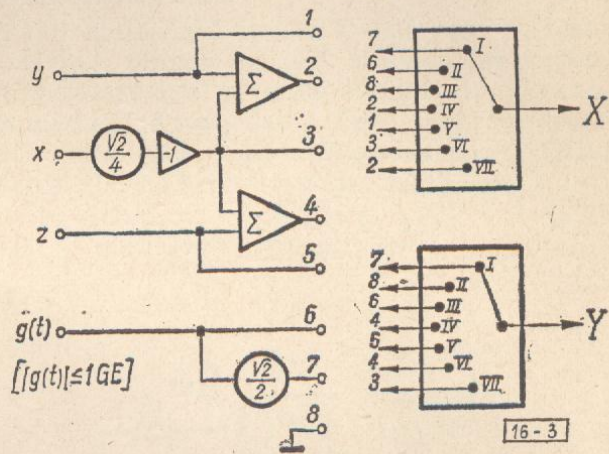
1. ábra. Analóg rendszer polinomok helyettesítési értékének meghatározására



2. ábra. Axonometrikus leképzést megvalósító rendszer

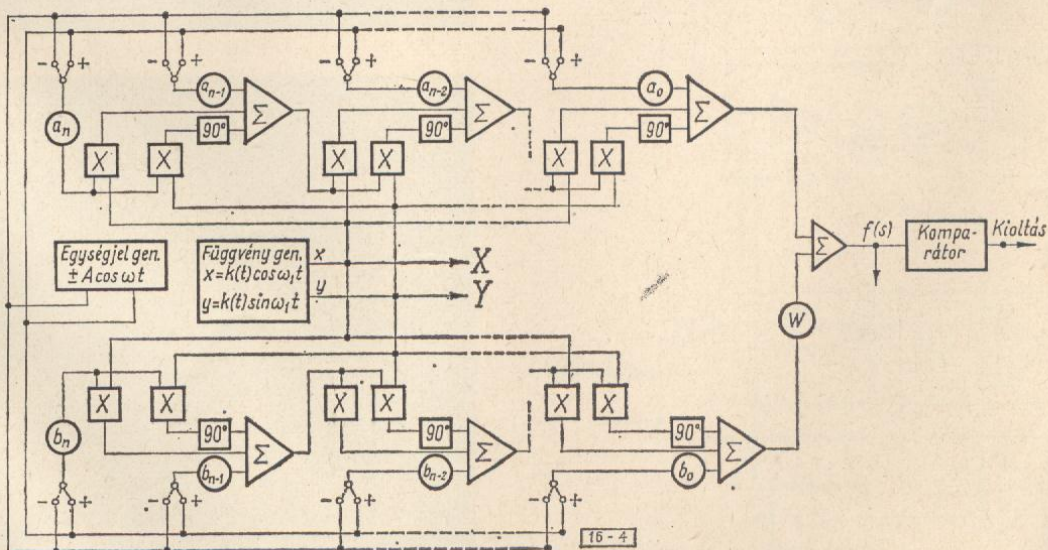
Az $f(s, w) = a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0 + w [b_n s^n + \dots + b_1 s + b_0]$ polinom s változóját $s = k(t) \cdot e^{j\omega_1 t}$, [$k(t) = k(t + T_2)$, $0 \leq k(t) \leq 1$], vagy más az egységkör területét kellő sűrűséggel befutó periódikus függvény szerint változtatva, a w értéktől függő $|f(s, w)| < \epsilon$ feltételnek eleget tevő s értékeknek megfelelő pontokban lesz az ernyőn fény. Ilyen rendszert mutat a 4. ábra.

Az áramkörök egyszerű és üzembiztos felépítése miatt az analóg célgépeket sok esetben célszerű ezzel a szinuszos rendszerrel készíteni.



- I: x tengely
- II: y tengely
- III: z tengely
- IV: térgörbe
- V: vetület az y-z síkon
- VI: vetület a z-x síkon
- VII: vetület az x-y síkon

3. ábra. Koordináta tengelyek és vetületek leképzése elektronkapcsolóval



4. ábra. Gyökhelygörbe szemléltető rendszer

Ha a szükséges speciális áramkörök rendelkezésre állnak, akkor az ilyen jellegű vizsgálatok univerzális analóg számítógéppel is megoldhatók [9].

2. Négyzög egységjellel dolgozó analóg rendszerek

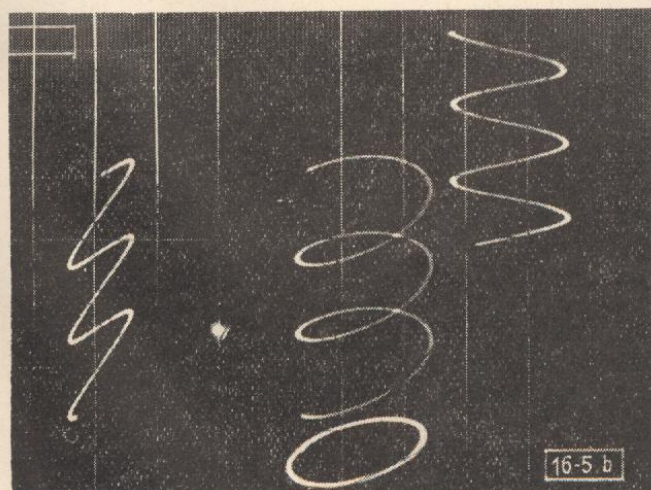
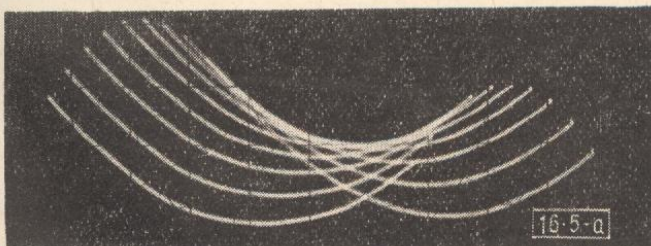
A tipikus műveleti elemek leírását a már idézett [1]...[6] irodalomban részletesen megtalálhatjuk. Ehhez képest a műveleti erősítők RC csatlakozásából eredő áramköri egyszerűsítések ill. változások jelentenek újat [7].

Ki kell emelnem néhány, a megszokott analóg számítógépeknél nem alkalmazott egység fontosságát, amivel a gyors ismétlő üzemi előnyei jobban szembetűnnek.

Az állandók beállítására szolgáló potenciométerek ill. fokozatkapcsolók mellett ill. azok helyett elektronikus léptékváltók építhetők a rendszerbe, ezeknek az átviteli tényezője az egymást követő megoldási ciklusokban meghatározott értékeken változhat, az átkapcsolás mindig a megoldási ciklust követő szünetben történik, a működtetés történhet külső, vagy belső vezérléssel. Ez lehetővé teszi paraméteres görbesereg oszcilloszkópos megfigyelését, ill. a kérdéses paraméter változásának hatása közvetlenül értékelhetővé válik.

Több bemenetű elektronkapcsoló alkalmazásával különböző pontokon lejátszódó folyamatok egyszerűen összehasonlíthatók, több kép vagy vetület egyszerre válik oszcilloszkópon láthatóvá. Erre mutatok példákat az 5. ábrán.

Az oszcilloszkópos értékelés mellett mintavevő áramkör, mérőpontválasztó kapcsoló, digitális feszültségmérő ill. koordináta író berendezés a megszokott értékelési lehetőségeket, sőt annál többet is biztosíthat.



5. ábra. a) Hiperbolikus paraboloid síkmetszetei, b) Csavarvonal és vetületei axonometrikus leképzéssel

A továbbiakban az ilyen egységekkel rendelkező ismétlőüzemű analóg számítógép felhasználásával foglalkozom.

2.1. Parciális tolerancia vizsgálat

Valamely vizsgált T mennyiség adott w_i paraméterre vonatkozó érzékenysége [10], [11], [12], [13]

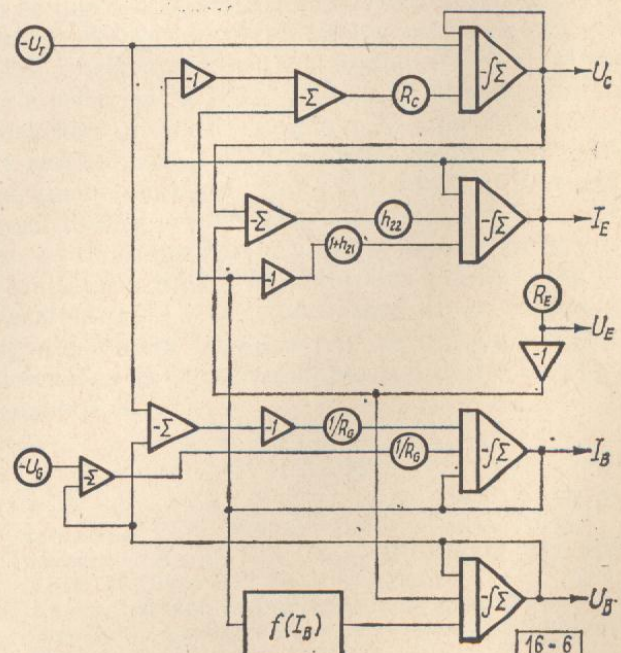
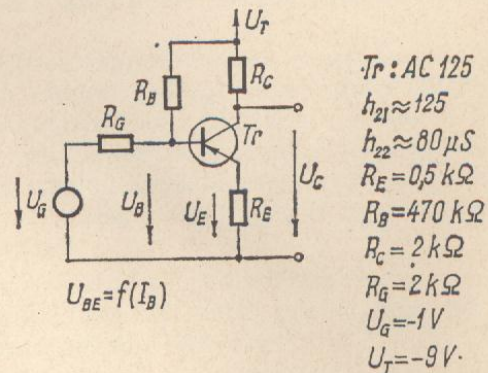
$$S_{w_i}^T = \frac{\partial \ln T}{\partial \ln w_i} = \frac{\frac{\partial T}{T}}{\frac{\partial w_i}{w_i}} \approx \frac{\frac{\Delta T}{T}}{\frac{\Delta w_i}{w_i}}$$

Válasszunk $a = \frac{\Delta w_i}{w_i} = 0,1$ értéket, ami az áramköri

paraméterekben gyakran előforduló 10%-os toleranciának és az analóg számítógépeken egyszerűen beállítható értékváltozásnak egyaránt megfelelő összehasonlítási alap.

A változtatás kézi úton és 1—0,9, vagy 1—0,9—1,1 átviteli tényezőket adó elektronikus léptékváltó beiktatásával egyaránt elvégezhető, T változása mérhető. A vizsgálat a $T(w_i)$ függvény ismeretét tételezi fel. Hálózatfüggvények vizsgálata esetén a $T(s, w_i)$ helyett a $T(j\omega, w_i)$ ill.

$$a) \quad a(\omega, w_i) = c \log \frac{T(j\omega, w_i)}{T(j\omega_0, w_{i0})}$$



6. ábra. Tranzisztoros erősítőfokozat és analóg modellje

és $b) b(\omega, w_i) = \arctan T(j\omega, w_i)$

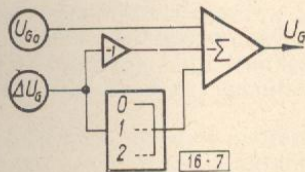
változása vizsgálható $\omega = kt$, ill. $\omega = \frac{1}{kt}$ helyettesítéssel.

A frekvenciafüggés figyelmen kívül hagyása esetén az áramkör matematikai modellje is vizsgálható. Erre mutatok példát a 6. ábrán. Az analóg rendszer az áramkört leíró egyenletek alapján épül fel, oly módon, hogy a megoldás a működési ciklus végén olvasható le [14].

Az alkalmazott léptékek: $10 \text{ V} \div 1 \text{ GE}$ (gépi egység), $10 \text{ mA} \div 1 \text{ GE}$. Vizsgálható U_c, I_E, U_E, I_B és U_B függése az ábrán felsorolt, adott értékű paramétereiktől, közvetett úton azonban az $A_{uG} = \frac{\Delta U_G}{\Delta U_G}$ is vizsgálható.

Állítsuk elő ugyanis a generátor feszültséget a 7. ábra szerinti kapcsolással, elektronikus léptékváltó segítségével

$U_G = U_{G0} \pm \Delta U_G$ alakban, ahol ΔU_G értékét a vizsgálat folyamán állandó értéken tartjuk, akkor ΔU_G , a kimeneti jel képeinek „szélessége” a feszültségerősítéssel arányos. Szeretnék rámutatni arra a tényre, hogy a 6. ábrán látható program az $U_{BE} - I_B$ összefüggést, mint nemlineáris függvény transzformátor segítségével előállított összefüggést veszi figyelembe, ez a módszer „nemlineáris” áramkörök esetén előnyösen alkalmazható.



7. ábra. $U_{G0} \pm \Delta U_G$ alakú feszültség előállítása léptékváltóval

Az azonos 10%-os alappal végzett parciális toleranciavizsgálat lehetővé teszi a legnagyobb érzékenységet okozó paraméterek kiválasztását, de ugyanaz a program folyamatosan változtatható potencióméter felhasználásával az adott tolerancia-érzékenységhez tartozó Δw_i meghatározására is felhasználható.

Megemlítem még, hogy bonyolultabb áramkörök-nél a frekvenciafüggvények megfelelő formában történő előállítása problémát okozhat, míg a hálózati függvényből az időfüggvény előállítására szolgáló analóg számológépes program egyszerű algoritmus szerint állítható össze.

2.2. Összetett vizsgálatok

A valóságban nem egyetlen paraméter, hanem egyidejűleg többnek a változásával kell számolnunk. Az analóg számológépes modell ezt a lehetőséget is biztosítja, számítási ciklusonként újabb és újabb paraméterek értékét változtathatjuk és érzékelhetjük a változások hatását.

A paraméter változtatás programja a vizsgálat céljának megfelelően készíthető: például az áramkörü paraméterek toleranciahatáraival képezett összes kombináció vizsgálható. Ha a paraméterek száma n , akkor a kombinációk száma 2^n [ill. 3^n , ha a névleges értékeket is számításba vesszük]. Ha a számítógép ismétlési ideje pl. 40 ms és $n=10$, akkor a vizsgálat elvileg 41 s alatt elvégezhető Gyakor-

latilag a paraméterek kézi változtatása, a mérési eredmények rögzítése több órát vesz igénybe. Elektronikus léptékváltók, digitális vezérlésű feszültségosztók és nyomtató vagy lyukasztó berendezések használatával, lyukszalagról vagy digitális számítógépen keresztül alkalmazott program-vezérléssel az elméleti időtartam valóban megközelíthető. Hasonlóan rövidül a „futtatási idő” más szempontok szerint készített kombinációs vizsgálatoknál is, s a kapott eredményeket digitális számítógépen közvetlenül is fel lehet dolgozni.

Érdekes vizsgálati lehetőség kibábkozik akkor, ha az egyes paraméter toleranciák sűrűség függvényét ismerjük. A toleranciákból mintavétellel képezhetünk kombinációkat, mivel a kombinációk sűrűségfüggvénye egyszerűen számolható és az analóg rendszer a kimeneti mennyiség toleranciáját szolgáltatja, jó közelítéssel meghatározható a vizsgált jellemző tolerancia sűrűségfüggvénye. Típus áramkörök nagysorozatú gyártásánál ennek eredményei jól hasznosíthatók.

Hasonlóan jól használhatók az analóg-digitális gépkombinációk lineáris, vagy nemlineáris optimalizálási feladatok megoldásánál.

2.3. Kombinált analóg-digitális számítórendszerek

Az előbb tárgyalt lehetőségek kihasználására több mód is kínálkozik, ezekből kettőt érdemes kiemelni:

A meglevő ismétlőüzemű, vagy ismétlőüzemre alkalmas analóg számológépek kiegészítése digitális berendezésekkel: digitális vezérléssel beállítható átviteli tényezőjű elemekkel, mintavevő áramkörökkel, analóg-digitális átalakítókkal, lyukszalagolvasóval, szalaglyukasztóval és megfelelő vezérlő berendezéssel.

Ekkor a vezérlő program készítése és az eredmények feldolgozása a hibrid géptől független digitális számítógépen történhet.

Másik lehetőség: ismétlőüzemű analóg számológép és digitális számítógép közvetlen összekapcsolása. Itt elsősorban olyan analóg számológép jöhet szóba, amely már konstrukciójánál fogva alkalmas erre a célra [pl. a BME Műszer és Méréstechnikai Tanszéken működő, Görgényi András által tervezett ismétlőüzemű gép] és olyan digitális számítógép, amely analóg-digitális átalakítókon keresztül érkező mérési eredmények fogadására és értékelésére is alkalmas [pl. a Lukács József és Iványi Gyula által a KFKI Elektronikus Főosztályán kifejlesztett TPA]. Gondolni lehet olyan kapcsolat megvalósítására is, amelyben az analóg program kidolgozása és összekapcsolása is a digitális géppel végezhető el.

TRODÁLOM

- [1] Korn, G.—Korn, T.: Electronic Analog Computers. New York, McGraw-Hill Company, 1956.
- [2] Huskey—Korn, G.: Computer Handbook. New York, McGraw-Hill Book Company.
- [3] Kogan: Analog Számológépek és alkalmazásuk az önműködő szabályozások vizsgálatára. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1962.
- [4] Nagy, I.: Analog számológépek. Budapest, Tankönyvkiadó, 1964.

- [5] *Benyó, Z.—Gyürki, J.*: Villamos analóg számológépek. Budapest, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, 1966.
- [6] *Nagy, I.*: Analog számológépek. Budapest, Tankönyvkiadó, 1967.
- [7] *Görgényi, A.*: Váltakozófeszültségű tranzisztoros analóg műveleti áramkörök. Mérés és Automatika XII (1964), 4—5, 109—114.
- [8] *Levinge, R. W.—Thewlis, D.*: An Electric Root Solver. Electronic Engineering 1963, január, 16—20 old.
- [9] *Gyürki, J.—Szücs, B.*: Gyök-helygörbék meghatározásának egy lehetősége analóg számológépen. Mérés és Automatika XIII (1965), 2—3, 81—84.
- [10] *Géher, K.*: Érzékenységi módszerek a hálózatelméletben. Híradástechnika, XIX (1968) december, 353—364 old.
- [11] *Scultéty, L.*: Pólusérzékenység minimalizálás elektronikus áramkörökben különös tekintettel negatív visszacsatolt erősítőkre. Híradástechnika, XIX (1968) február, 40—50 old.
- [12] *Scultéty, L.*: Elektronikus műszeráramkörök tervezése a toleranciaérzékenység figyelembevételével. Mérés és Automatika XV (1967), 3, 85—90.
- [13] *Roska, T.*: Elektronikus áramkörök tervezése digitális számítógéppel. Mérés és Automatika XVI (1968), 7—8, 277—283.
- [14] *Kálmán, R.*: Lineáris algebrai egyenletrendszereket megoldó analóg modellek. Mérés és Automatika, XIII (1965), 11, 325—329.

Иванѣш Л.: Возможности применения аналоговых вычислительных машин с режимом повторения

Автор показывает применимость аналоговых вычислительных машин с режимом повторения — с синусоидальным и прямоугольным сигналом — с помощью примеров, связанных с исследованием электронных схем.

Далее описывает аналоговую систему, работающую по схеме Хорнера для определения корней уравнений — многочленов и для представления кривой расположения корней; затрагивает вопрос определения чувствительности к погрешностям аналоговых систем с режимом повторения, показывает пример построения модели транзисторной схемы на аналоговой вычислительной машине, указывает на возможности использования аналого-цифровых гибридных вычислительных машин.

Iványos, L.: Die Anwendungsmöglichkeiten der Repetier-Analog-Rechensysteme.

An Anwendungsbeispielen, die aus dem Gebiete der Untersuchung elektronischer Stromkreise genommen sind, wird die Anwendbarkeit der Repetier-Analog-Rechensysteme mit Sinus- und Rechteck-Einheitssignal dargestellt.

Ein Analogsystem, welches auf Grund des Horner-schen Schemas rechnet, wird beschrieben zur Bestimmung der Wurzel der Polynomgleichungen und zur Veranschaulichung der Wurzelortskurve. Die Bestimmung der Toleranzempfindlichkeit wird erörtert und ein Beispiel für das Modell des Transistorkreises am Analogrechner gezeigt. Die Anwendungsmöglichkeiten der AD-Hybridmaschinen werden erörtert.

Iványos, L.: The Application Possibilities of Repetitive Analog Computer Systems.

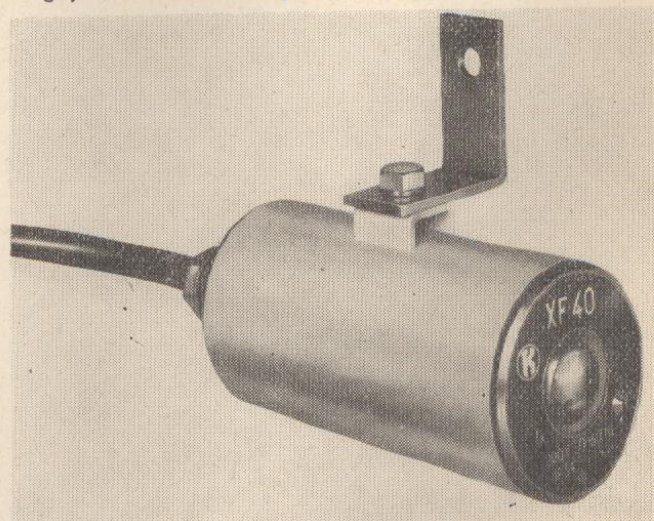
The applicability of repetitive analog computer systems working with sinusoidal and rectangular unit signals is shown on examples connected with testing electronic circuits.

An analog system calculating on the basis of the Horner Scheme is presented, which is suitable for determining the roots of polynomial equations and for demonstrating the root-locus. The determination of the tolerance sensitivity is discussed, and an example is given for the analog computer model of a transistor circuit. The possibilities of the application of analog-digital hybrid computers are demonstrated.



XF—40 típusú közvilágítás kapcsoló

Az XF—40 kapcsoló a közvilágítás automatikus be- és kikapcsolását szolgálja, a természetes megvilágítás változásától függően.



Műszaki adatok:

- Hálózati feszültség .. 220 V $\pm 10\%$ 50—60 Hz
 —15%
- Érzékenység 5—10 Lx vagy 50—100 Lx (megrendelés szerint)
- Kapcsolóképesség .. 6 A, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,7$
- Csatlakozókábel max. 4x2,5 mm²
- Súly kb. 1 kg
- Méretezés \varnothing 65x165 mm, magasság szerelőkönyökkel, 125 mm

