

FILTRE CU CAPACITATI COMUTATE

1. Introducere

Scopul lucrării îl constituie cunoașterea funcționării filtrelor cu capacități comutate și determinarea performanțelor acestor filtre.

1.1. Filtre cu capacități comutate

Prin comutarea suficient de rapidă a unui condensator între două puncte aflate la potențiale diferite se poate simula o rezistență a cărei valoare depinde de capacitate și de frecvența de comutație. Sînt cunoscute următoarele două configurații:

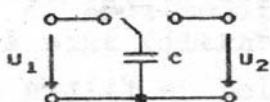


fig. a VARIANTA NEECHILIBRATA

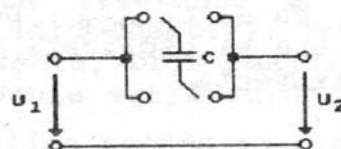


fig. b VARIANTA ECHILIBRATA

Capacitatea (C), comutată, cu o armătură la masă (fig. a), o are pe cealaltă la contactul "mobil" al unui comutator. Presupunem contactele fixe ale acestui comutator (terminalele rezistorului echivalent) aflate la potențialele practic fixe (sau variabile mult mai lent față de ritmul comutării), V_1 și V_2 . La fiecare pereche de comutări, C se încarcă succesiv cu sarcina $V_1 \cdot C$ și cu sarcina $V_2 \cdot C$, deci într-o perioadă T_ϕ a comutării, între terminalele de potențiale V_1 și V_2 curge curentul mediu

$$(V_1 - V_2) \cdot C / T_\phi.$$

Asadar rezistența medie echivalentă (raportul tensiunii și curentului) este :

$$R_{ech.} = \frac{1}{f_\phi \cdot C} ;$$

- aceasta configurație are dezavantajul unui curent instantaneu diferit la un capăt al rezistenței echivalente față de celălalt. De aceea, cu prețul unei perechi de comutatoare în plus, se

recurge la solutia efectiv utilizată în montajul de laborator, cea a variantei echilibrate din fig. b

Avînd în vedere faptul că rezistența simulată depinde de frecvența de comutație, (capacitatea fiind fixă), rezultă posibilitatea realizării unor filtre cu caracteristica programabilă din frecvența de comutație.

Celula de baza folosita la implementarea filtrelor active este integratorul diferential. Schema de baza si implementarea acesteia cu capacitati comutate sint redade in figurile urmatoare: (fig.c si fig.d)

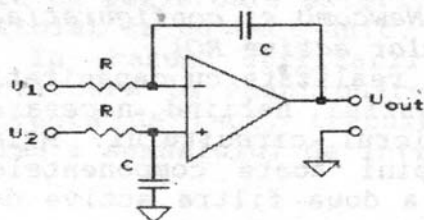


fig. c INTEGRATOR DIFERENTIAL

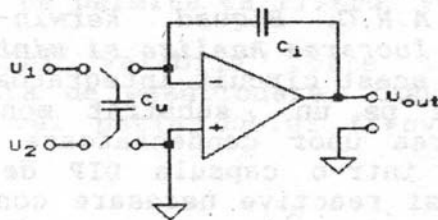


fig. d INTEGRATOR DIFERENTIAL
CU CAPACITATI COMUTATE

Ecuatia de functionare a integratorului diferential este:

$$U_{out} = \frac{1}{j\omega RC} \cdot (U_2 - U_1) \quad , \text{ adică } u_{out}(t) = \frac{1}{R \cdot C} \int (u_1 - u_2) dt$$

iar a implementării cu capacități comutate

$$u_{out}(t) = \frac{f C_u}{C_1} \int (u_1 - u_2) dt .$$

In fig.e si fig.f este prezentat un filtru activ in configuratie SK-1 si implementarea acestuia cu capacitati comutate.

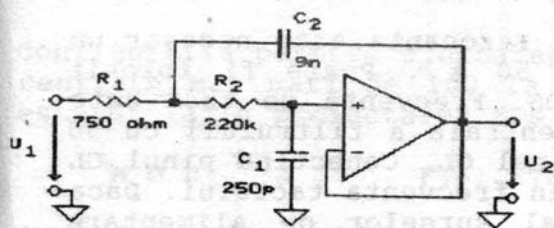


fig. e
FILTRU ACTIV SK-1

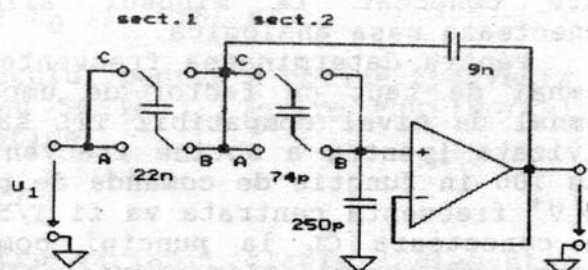


fig. f
FILTRU ACTIV SK-1
CU CAPACITATI COMUTATE

1.2. Circuitul MF 10

Blocul monolitic de filtrare activa MF10 este un dispozitiv CMOS care poate fi utilizat la implementarea filtrelor active de ordin mare, nefiind necesare componente reactive exterioare.

Configuratia folosita pentru implementarea unei celule de filtrare de ordinul 2 se intilneste si in lucrarea care prezinta analiza si sinteza filtrelor active RC cu ajutorul calculatorului.

(vezi F.A.R.C. Biquad, Kerwin-Huelsman-Newcomb si configuratia PP2 din lucrarea *Analiza si sinteza filtrelor active RC*)

La acest circuit integratoarele sint realizate cu capacitati comutate pe un substrat monolitic, astfel nefiind necesara conectarea unor condensatoare in exteriorul circuitului. MF10 contine intr-o capsula DIP de 20 de pini toate componentele active si reactive necesare construirii a doua filtre active de ordin 2.

Descrierea circuitului

Pentru a fi cit mai flexibil in aplicatii, iesirea fiecărei sectiuni a fiecărui filtru este disponibila la pini. Aceasta permite proiectarea a cinci tipuri de filtre : trece jos, trece sus, trece banda, opreste banda si trece tot. Avind la dispozitie doua sectiuni independente de ordinul 2, cascadinu-le se poate obtine usor un filtru de ordin 4.

De asemenea circuitul permite implementarea filtrelor in oricare din aproximariile clasice : Butterworth, Bessel, Cebisev sau Cauer.

Intre iesire primului AO sumator si intrarea primului integrator se afla un sumator cu trei intrari la care doua din intrari sint scazute din a treia. Una din intrarile care se scad este disponibila la pin si serveste ca semnal de intrare pentru diferitele configuratii de filtre. Cealalta intrare care se scade este conectata printr-un comutator intern fie la iesirea FTJ, fie la masa in functie de implementarea dorita. Acest aspect este comun ambelor sectiuni si este controlat de nivelul de tensiune corespunzator intrarii $S_{A/B}$. Cind este conectat la plusul alimentarii, comutatorul intern conecteaza iesirea FTJ, iar cind este conectat la minusul alimentarii, comutatorul intern conecteaza masa analogica.

Pentru determinarea frecventei de rezonanta este necesar un semnal de tact cu factor de umplere 50 % . Poate fi folosit semnal de nivel compatibil TTL sau MOS. Frecventa de tact este divizata (pentru a obtine frecventa centrala a filtrului) cu 50 sau 100 in functie de comanda de pe pinul CL. Conectind pinul CL la V^+ frecventa centrata va fi 1/50 din frecventa tactului. Daca se conecteaza CL la punctul comun al surselor de alimentare (masa, in cazul alimentarii simetrice) se obtine frecventa centrata egala cu 1/100 din frecventa tactului. MF10 poate functiona cu semnal de tact pina la 1 MHz. Efectul utilizarii tactului cu 50 sau 100 pentru a centra frecventa se manifesta in

numarul de trepte ce apar in forma semnalului de iesire. Numarul de esantioane preluate intr-o perioada a frecventei centrate este egal cu numarul de perioade de tact cuprinse in acest interval (se preia un esantion la o perioada de tact). Pentru majoritatea aplicatiilor audio precum si peste 20 KHz, efectul la iesire datorat treptelor si componentei cu frecventa tactului sint neglijabile. Pentru a obtine la iesire o forma de unda curata se poate adauga la iesire un FTJ RC . Unele aplicatii care vor fi prezentate permit alterarea tactului, cu un grup rezistiv, pentru a obtine o frecventa centrata diferita 1/50 sau 1/100 din frecventa tactului. Pentru aplicatii cu mai multe etaje, frecventa centrata poate fi stabilita pentru fiecare etaj in parte cu rezistoare exterioare, ceea ce permite ca filtrul sa fie controlat cu un tact unic.

In cazul utilizarii MF10 sint valabile toate legile referitoare la esantionare. Frecventa de esantionare, respectiv frecventa de tact, trebuie sa fie cel putin dublul frecventei maxime a semnalului de intrare.

Configuratii de baza

Pentru circuitul MF10 exista 6 configuratii de baza (sau moduri de lucru) pentru o sectiune de ordin 2. In nici una din configuratii nu sint necesare capacitati exterioare. Proiectarea se reduce la dimensionarea citorva rezistente pentru a stabili banda dorita, factorul de calitate si cistigul in banda. Fiecare sectiune de ordinul 2 poate fi tratata individual referitor la frecventa centrata, factor de calitate si cistg, atunci cind se folosesc doua sau mai multe sectiuni pentru filtre de ordin mai mare.

M O D 1 A FTB-neinversoare; FTB-inversoare; FTJ; .

Necesita numai trei rezistori si este util in aplicatii FTJ si FTB cu factor de calitate mic.

M O D 1 FOB; FTB; FTJ;

Cu adaugarea unui singur rezistor fata de modul 1A se imbunatateste dinamica la iesire si permite proiectarea unor FTB cu factor de calitate mult mai mare.

M O D 2 FOB ($f_n \leq f_0$);, FTB; FTJ;

Configuratia permite ajustarea tactului pentru a obtine frecvente centrate mai mari de 100 la 1 sau 50 la 1. Iesire FOB (Notch) este utila la proiectarea FTS eliptice.

M O D 3 FTS; FTB; FTJ;

Aceasta configuratie este un filtru variabil clasic implementat cu numai 4 rezistori exteriori. Este cel mai flexibil mod de lucru deoarece tactul de centrare a frecventei poate fi ajustat

din exterior atit sub cit si peste 100 la 1 sau 50 la 1. Configuratia este potrivita pentru implementarea filtrelor Cebisev cu mai multe etaje controlate de un singur tact.

M O D 3 A FTS; FTB; FTJ; FOB;

Fata de configuratia 3 se mai constituie o iesire FOB (Notch) Prin insumare iesirilor FTS si FTJ intr-un AO exterior. Pentru proiectarea etajelor eliptice fiecare etaj combina o pereche de poli complex conjugati (la f_0) cu o pereche de zerouri (la f_n), ceea ce permite ajustarea fiecareia dintre aceste frecvente pentru orice fel de filtru. Daca se cascadeaza mai multe etaje AO exterior este necesar numai la iesirea ultimului etaj, sumatoarele intermediare realizindu-se cu intrarile inversoare ale AO interne.

M O D 4 FTT; FTB; FTJ;

Folosind semnalul de la terminalul S_{1A} , (S_{1B}) ca semnal de intrare, se poate obtine functia trece tot. Un filtru trece tot poate furniza o variatie liniara cu frecventa a modificarilor de faza, ceea ce determina o constanta de intirziere constanta. Configuratia impune un cistig unitar la iesirea trece tot.

M O D 5 Zerouri complexe; FTB; FTJ;

In acest mod se poate realiza o proiectare imbunatatita fata de modul 4 pentru un FTT. Astfel la iesirea CZ (zerouri complexe) amplitudinea este mai aproape de o constanta in raport cu frecventa. Frecventele polilor si zerourilor se stabilesc prin rezistori exteriori.

M O D 6A Pol real; FTS; FTJ;

Pentru aceasta varianta de lucru se foloseste un singur integrator din structura interna si este util la implementarea filtrelor in cascada de ordin impar. Se genereaza un pol real la o frecventa determinata de frecventa de tact. Frecventa de rezonanta a sectiunii de ordin 2 urmareste polul real. Frecventa de taiere se ajusteaza prin rezistori exteriori.

M O D 6B Pol real; FTJ (inversor, neinversor);

Ca si in precedenta configuratie se foloseste un singur integrator pentru un pol real de FTJ si AO in conexiune inversoare, pentru a dispune de o iesire neinversoare FTJ. Configuratia este utila in proiecta de FTJ de ordin impar.

Aplicatie

Cu circuitul integrat MF 10 s-a implementat pentru macheta de laborator un filtru trece jos de 1 KHz, Butterworth de ordin 4 (80 dB/decada) folosind modul 1 de lucru. Schema machetei este reprezentata in fig.7 .

2. Desfășurarea lucrării

Aparate necesare

Macheta de laborator - Filtre cu Capacități Comutate
Sursa multiplă de tensiune
Generator de semnal (dreptunghi, triunghi, sinus)
se recomanda generatorul POF1 - Polonia
Generator de impulsuri
se recomanda generatorul ORION EMG-1153
Versatester
se recomanda tipul E 0502 IEMI - Romania
Osciloscop
se recomanda tipul E 0102 IEMI - Romania

* Se alimenteaza filtrul la tensiunile indicate pe macheta.

* Se furnizeaza semnal de intrare de la generatorul de semnal (initial cu amplitudine mica) si semnal de tact (CLK) de la generatorul de impulsuri. Se regleaza frecventa de tact in jur de 100 KHz si amplitudine 2-3 V

* Se verifica functionarea unui etaj (o celula de ordinul 2) in diverse moduri:

- functionarea in mod 1 -

* se verifica functionarea conectind sonda osciloscopului in urmatoarele puncte:

FTB - la iesirea primului integrator
FTJ - la iesirea celui de-al doilea integrator
FOB - la iesirea primului AO

* se verifica relatiile de calcul pentru: f_o , f_n , Q si H

$$f_o = f_n = \frac{f_{CLK}}{100}$$

$$Q = \frac{R_3}{R_2}$$

$$H_{FTJ} = - \frac{R_2}{R_1}$$

$$H_{FTB} = - \frac{R_3}{R_1}$$

$$H_{FOB} = - \frac{R_2}{R_1}$$

- functionare in modul 2 -

* Se face conexiunea corespunzatoare cu un "călăreț"

* Se verifica functionarea conectind sonda osciloscopului in urmatoarele puncte:

FOB - la iesire primului AO
 FTB - la iesirea primului integrator
 FTJ - la iesire celui de-al doilea integrator

* Se verifica relatiile de calcul:

$$f_0 = \frac{f_{CLK}}{100} \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_4}} \quad f_n = \frac{f_{CLK}}{100}$$

$$Q = \sqrt{1 + \frac{R_2}{R_4} \cdot \frac{R_3}{R_2}}$$

$$H_{FTJ} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_2}{R_4}} \quad H_{FTB} = -\frac{R_3}{R_1} \quad H_{FOB1} = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_2}{R_1}} ; \quad f \rightarrow 0$$

$$H_{FOB2} = -\frac{R_2}{R_1} ; \quad f \rightarrow \frac{f_{CLK}}{2}$$

- functionarea in mod 3 -

* Cu ajutorul comutatorului de pe macheta se comanda corespunzator pozitia celui intern.

* Se verifica functionarea conectind sonda osciloscopului in urmatoarele puncte:

FTS - la iesirea primului AO
 FTB - la iesirea primului integrator
 FTJ - la iesire celui de-al doilea integrator

* Se verifica relatiile :

$$f_0 = \frac{f_{CLK}}{100} \sqrt{\frac{R_2}{R_4}} \quad Q = \sqrt{\frac{R_2}{R_4} \cdot \frac{R_3}{R_2}}$$

$$H_{FTS} = -\frac{R_2}{R_1} \quad H_{FTB} = -\frac{R_3}{R_1} \quad H_{FTJ} = -\frac{R_4}{R_1}$$

- functionarea in modul 6A -

- * Se comanda corespunzator pozitia comutatorului intern
- * Se verifica functionarea conectind sonda osciloscopului in urmatoarele puncte :

FTS - la iesirea primului AO
FTJ - la iesirea primului integrator

- * Se verifica relatiile :

$$f_c \text{ (taiere)} = \frac{f_{CLK}}{100} \quad H_{FTJ} = - \frac{R_3}{R_1} \quad H_{FTS} = - \frac{R_2}{R_1}$$

* Se verifica functionarea filtrului trece jos (1 KHz.) Butterworth de ordin 4 implementat cu cele doua celule ale circuitului MF 10.

* Exploataind posibilitatea de a comanda banda FTBa (mod 1A) cu un semnal de tact, acest filtru poate fi folosit pentru a face analiza spectrala a unui semnal. In acest scop se furnizeaza un semnal de intrare (diferit de sinus) de frecventa fixa si se modifica frecventa tactului, urmarind pe osciloscop maximele de amplitudine .

* Se face analiza unui semnal dreptunghiular cu factor de umplere 10 - 20 %. (se recomanda o frecventa in jur de 400 Hz.)

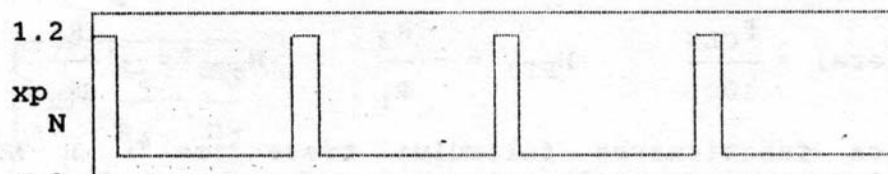
- se variaza frecventa de tact pornind de la o valoare in jur de 4 KHz. ($f_{CLK} = 100 \cdot f_0$)
- se urmaresc pe osciloscop (in mod X-Y) maximele de amplitudine citind pe un versatester frecventa si amplitudinea corespunzatoare acestor maxime, ele reprezentind componentele spectrale ale semnalului dreptunghiular aplicat la intrare.
- se urmaresc formele de unda desfasurate in timp si se compara cu cele din figurile de mai jos:

3. Intrebari

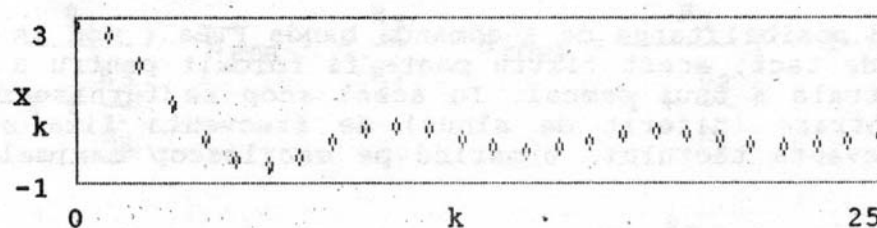
- a) Deduceti expresia rezistentei echivalente a unei capacități comutate pentru varianta neechilibrată si pentru cea echilibrată.
- b) Ce se întâmplă dacă filtrul cu capacități comutate are semnalul de comutatie f_0 de frecvență prea mică ?
- c) Explicati formele de unda obtinute la analiza spectrala a impulsurilor dreptunghiulare.
- d) Desenati schema bloc a unui analizor spectral cu filtre cu capacitati comutate.
- e) Propuneti scheme de filtre adaptive cu FCC si PLL.


```
n := 0 .. 511      x := if(n < 64, 1, 0)      N := 0 .. 2047
```

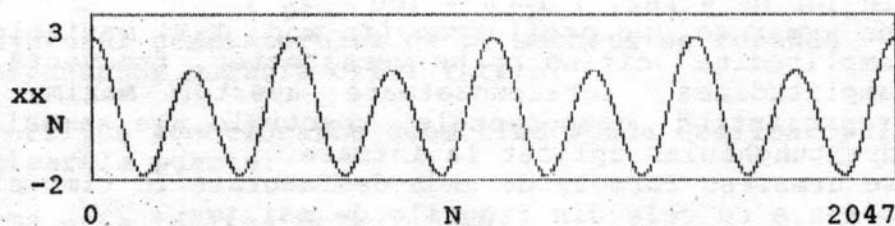
```
xp_N := if [N - 512 floor [N/512] < 64, 1, 0]
```



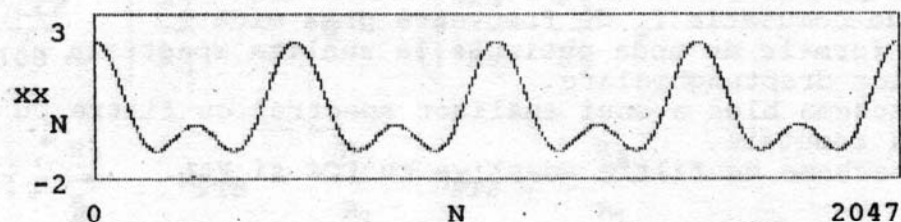
```
k := 00 .. 255      X := fft(x)      2047
```



```
xx_N := 0.2 X_1 cos [2 pi N/512] + X_2 cos [4 pi N/512]
```



```
xx_N := 0.5 X_1 cos [2 pi N/512] + 0.5 X_2 cos [4 pi N/512]
```



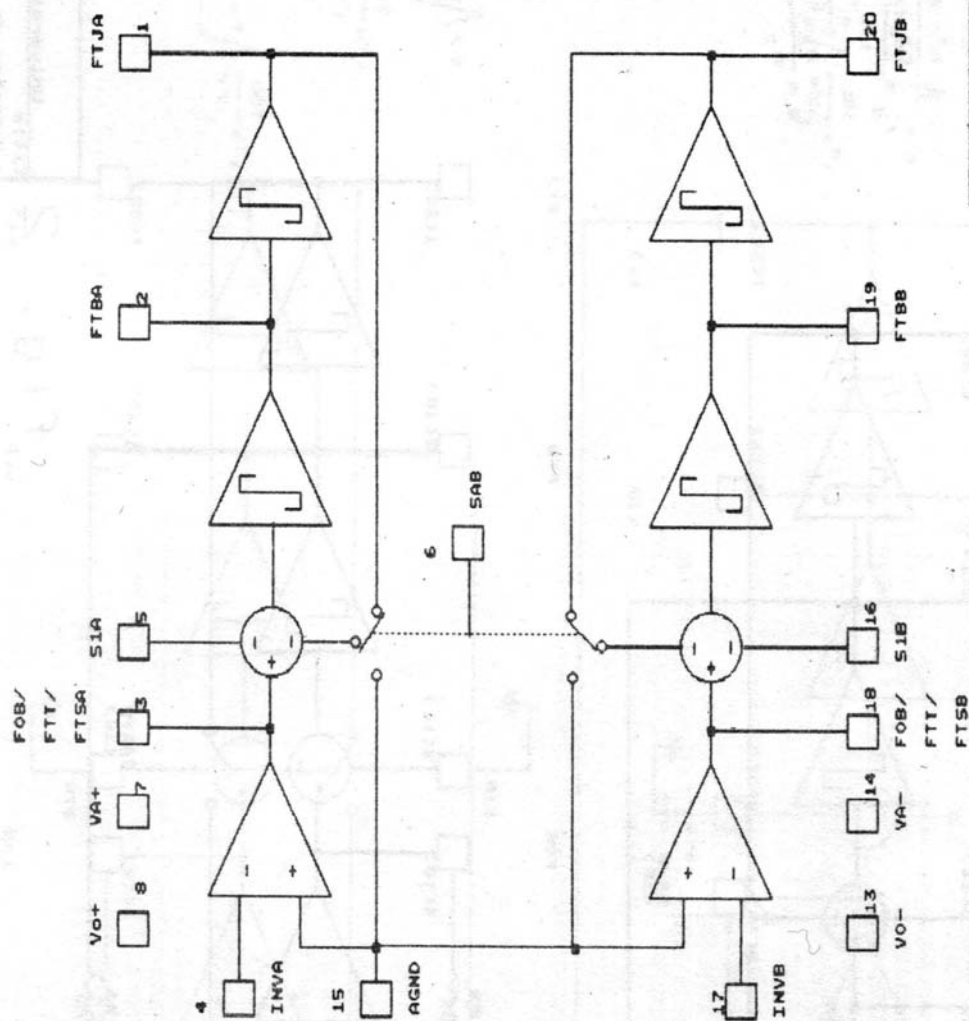
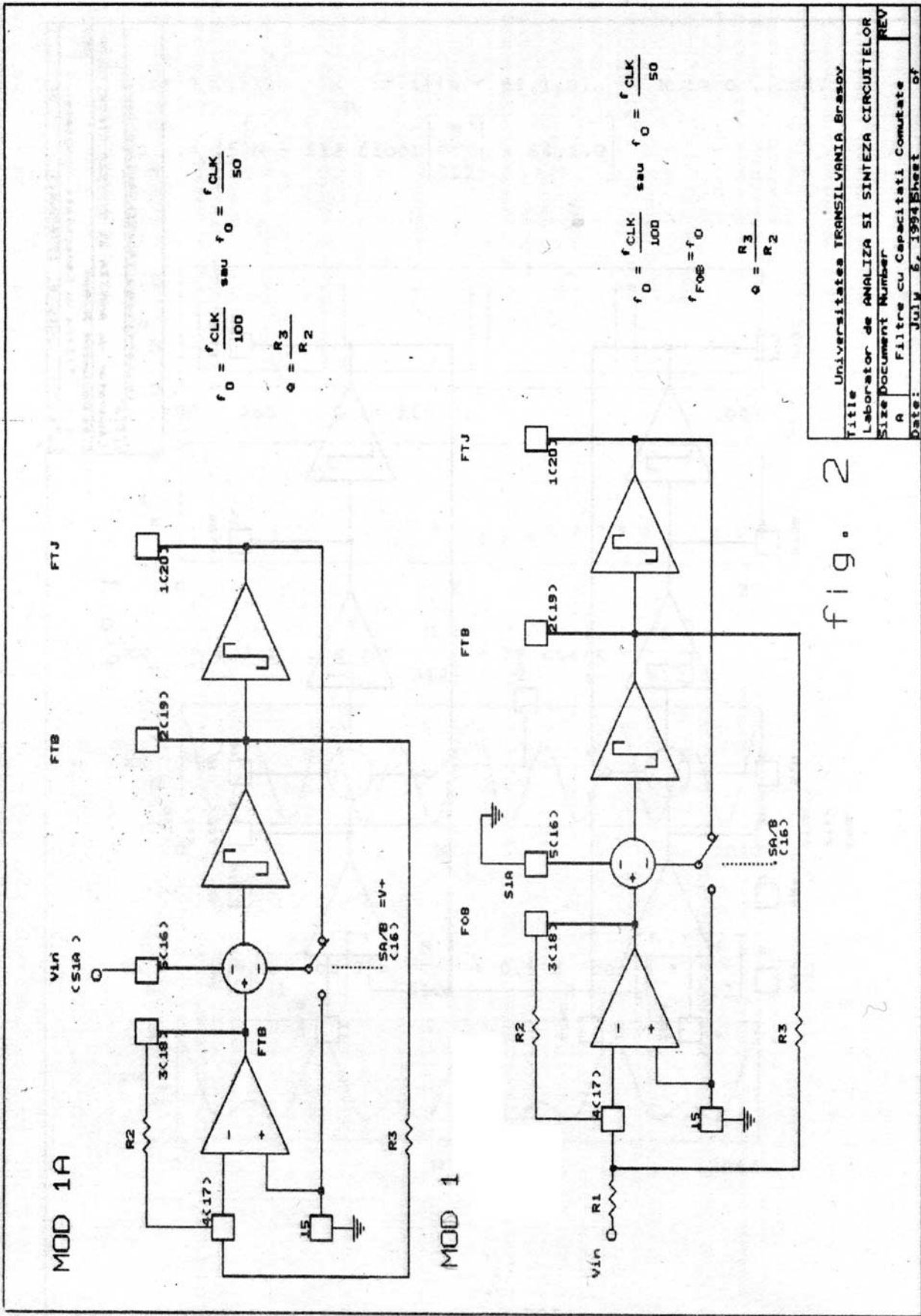
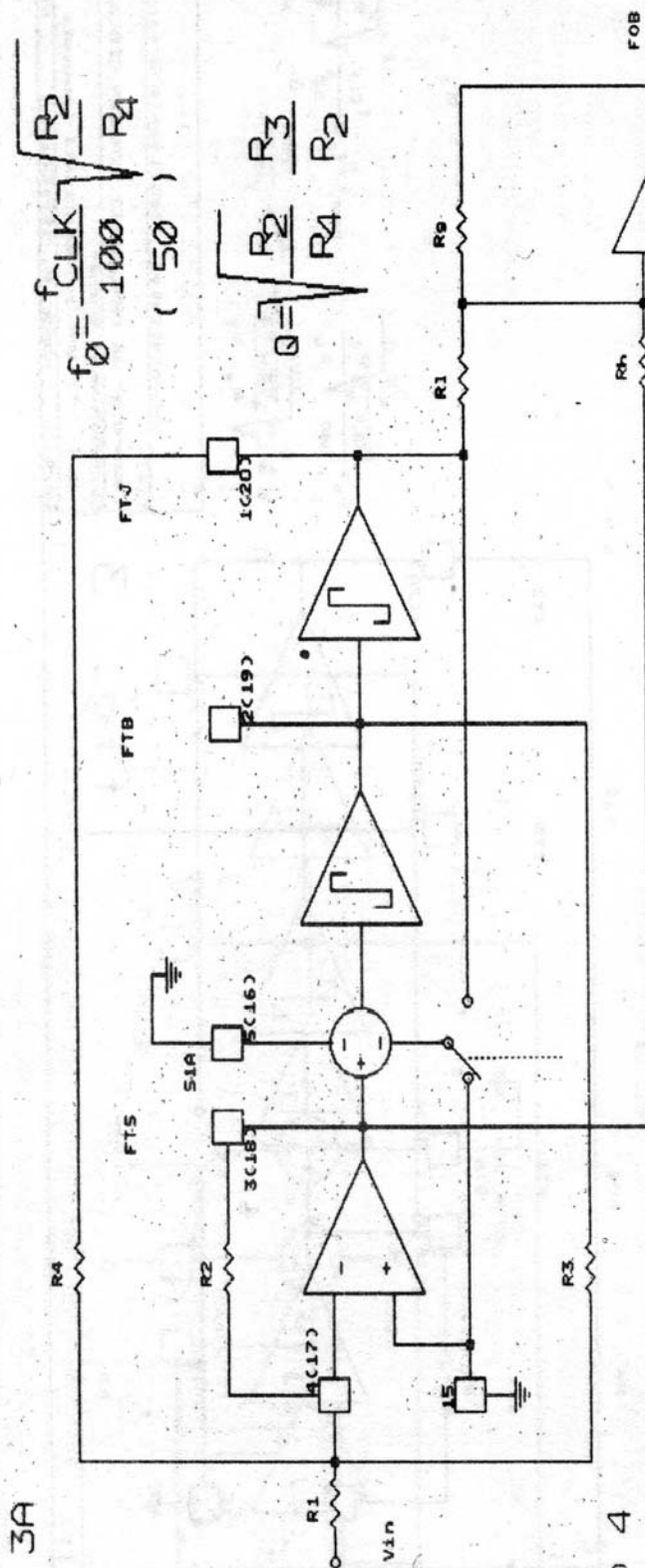


fig. 1

Universitatea TRANSILVANIA Braşov			
Laborator de ANALIZA SI SINTEZA CIRCUITELOR			
Site Document Number			
A Filtre cu Capacitati Comutate			
REV			
Date: July 6, 1994			
Sheet of			



MOD 3A



MOD 4

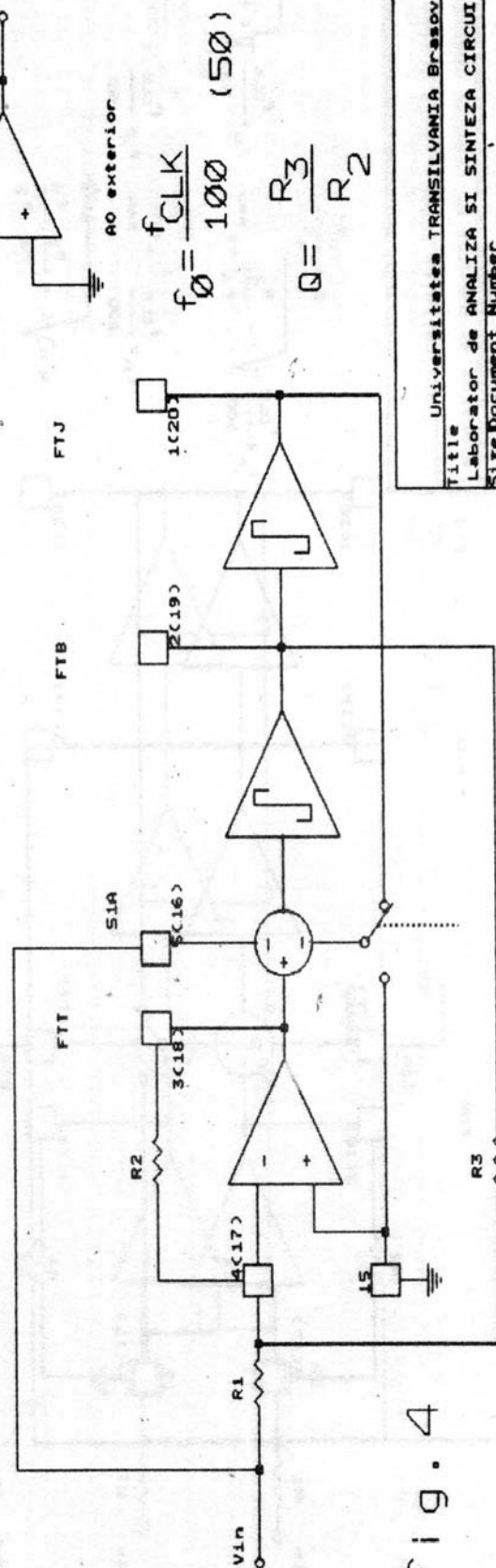
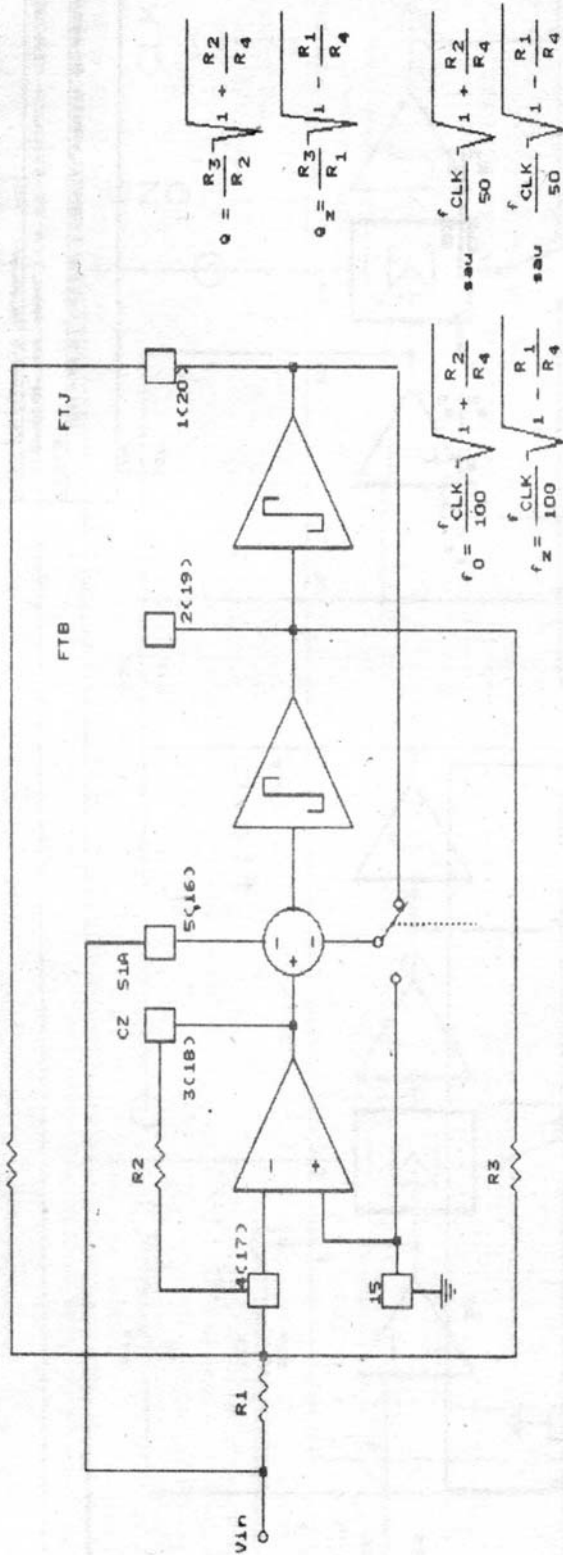


fig. 4

MOD 5



MOD 6A

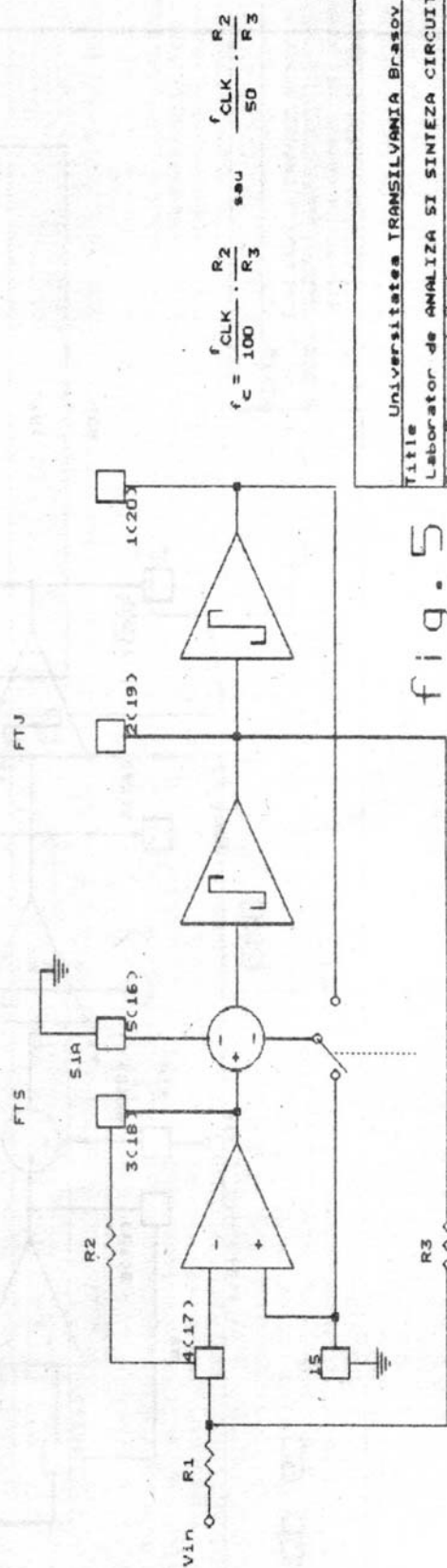
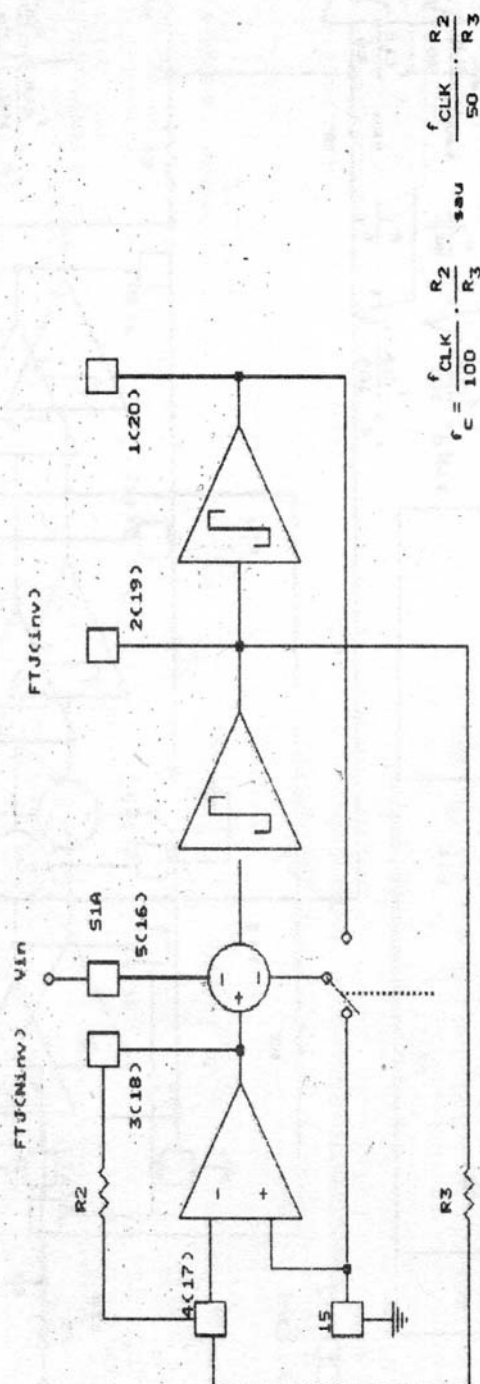


fig. 5

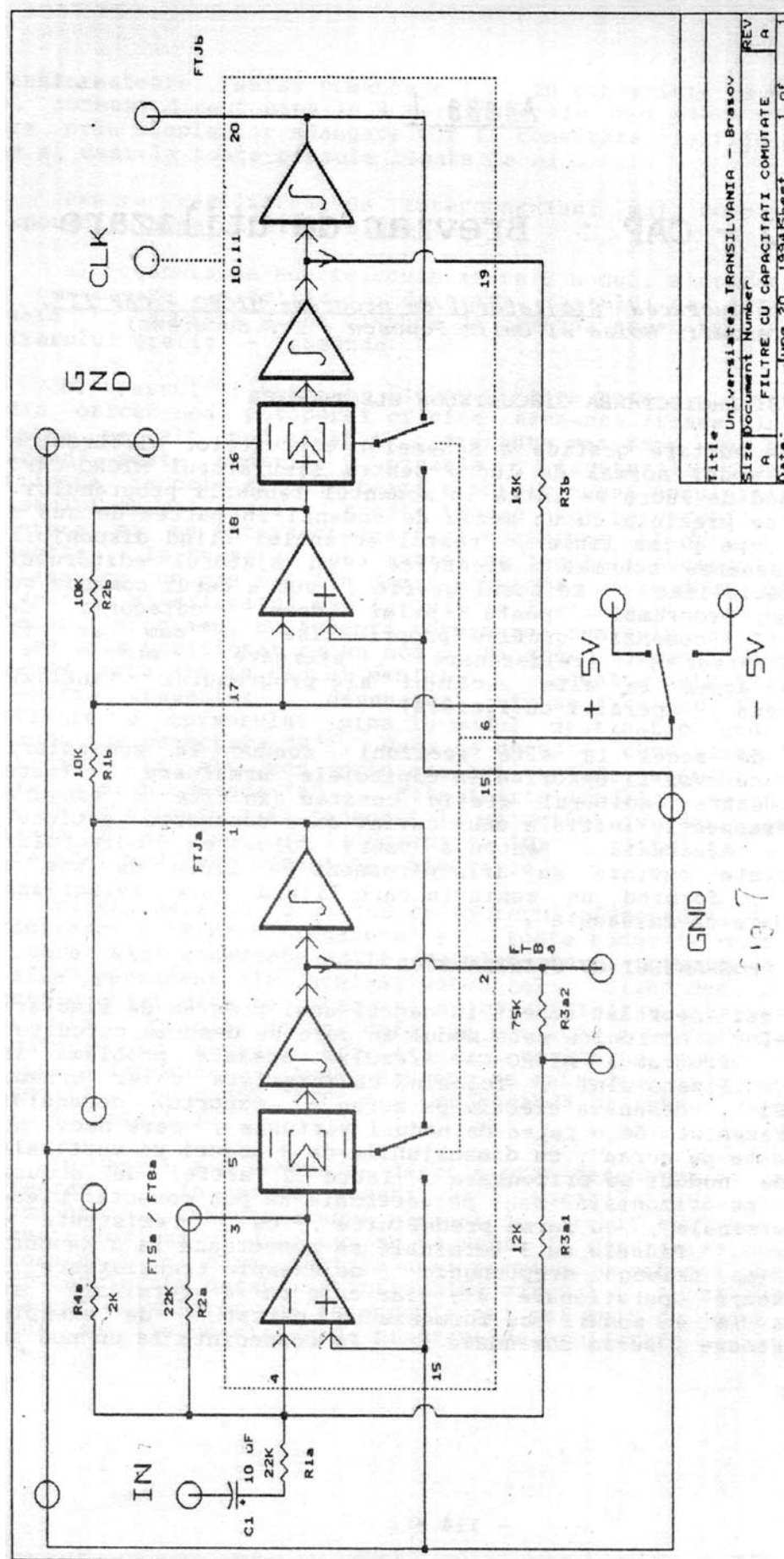
MOD 6B



$$f_c = \frac{f_{CLK}}{100} \cdot \frac{R_2}{R_3} \quad \text{sau} \quad f_{CLK} \cdot \frac{R_2}{50} \cdot \frac{R_2}{R_3}$$

fig.6

Universitatea TRANSILVANIA Brasov	
Title	
Laborator de ANALIZA SI SINTEZA CIRCUITELOR	
Size Document Number	
A	Filtre cu Capacitati Comutate
Date:	July 6, 1994
Sheet	of



GND

Fig 7

Title	Universitatea TRANSILVANIA - Brasov
Size	Document Number
REV	A
FILTRE CU CAPACITATI COMUTATE	A
Date:	June 20, 1994
Sheet	1 of 1