

Nagyfrekvenciás hibrid integrált áramkörök

DR. SONKOLY AURÉL,
DR. SZÁRAZ GYÖRGY,
DR. ZSOLDOS BÉLA
Mikroelektronikai Vállalat

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a nagyfrekvenciás hibrid integrált áramkörök néhány tervezési kérdésével foglalkozik. Röviden bemutat egy módszert egy két-fokozatú komplementer kaszkád széles sávú erősítő tervezésére, optimalizációt használva az áramkörü elemek meghatározására. A cikk a vékony- és a vastagréteg technika lehetőségeiről hasznos ismereteket ad.

Bevezetés

A hibrid technológia felhasználása az elektronika számos területén óriási haszonnal jár, de ez különösen igaz a nagyfrekvenciás alkalmazásokra. A kisméretű hibrid alkatrészek szórt kapacitása és szórt induktivitása csekély, így kiváló minőségű aktív és passzív nagyfrekvenciás áramkörök építhetők segítségükkel. A vékonyréteg technológiával előállított elosztott paraméterű csillapítók 18 GHz-ig kiváló áramkörü paraméterekkel rendelkeznek. Egyszerűen gyártható a nagyteljesítményű (25 W) illesztett lezáró, amelynek az állóhullám aránya 1 GHz-ig kisebb, mint 1 : 1,1.

A nagyfrekvenciás áramköröknél gyakran előfordul, hogy a vékony- és a vastagréteg technológia együtt kerül alkalmazásra. A vastagréteg technológia termelékenyebb és olcsóbb, ezért ha a feladat azzal megoldható, akkor azt kell alkalmazni. Az igényesebb helyeken azonban még nem mindig megfelelő a vastagréteg technológia által adott felbontás, ilyen esetben a vékonyréteg technológiát kell bevethetni. Funkcionális egységeknél, pl. egy 370 MHz-es, +12 dBm kimeneti szintű, nagysebességű BPSK modulárnál ésszerűen kombinálható a két technológia, így az áramkör minden szempontból optimális. Nagyfrekvenciás erősítők egy részénél a munkapont beállítása azonos jellegű, ezért a munkapontbeállító áramkört érdemes külön elkészíteni vastagréteg technológiával, és azt, mint „alkatrészt” felhasználni a vékonyréteg áramköröknél.

Az alkatrészgyártók az SMD technika széles körű elterjedése miatt számos új alkatrészt is gyártanak hibrid célokra is felhasználható tokozással. Ez további hibrid integrált áramkörök fejlesztésére ad lehetőséget. A kor követelményeinek megfelelő áramköröket csak korszerű módszerekkel lehet tervezni. A nagyfrekvenciás áramkörök tervezésénél nagyon jól alkalmazhatók a gyors áramkörü analízisre épülő optimalizálási eljárások, hiszen az aktív nagyfrekvenciás alkatrészek főleg



DR. SONKOLY
AURÉL

A BME Villamosmérnöki Karán 1972-ben végzett. Ugyanitt szerzett digitális rendszertervezői szakmérnöki diplomát 1978-ban és doktori foko-

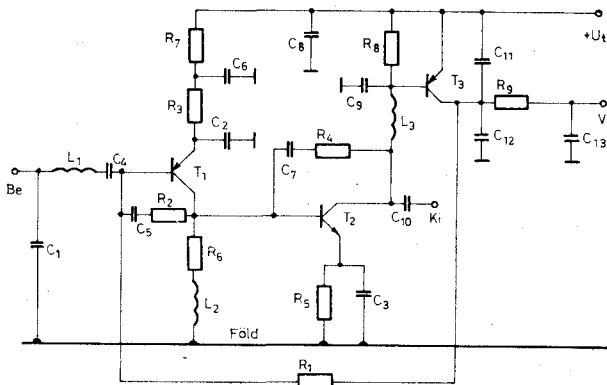
zatot 1983-ban. A HIKI-ben 1972 óta dolgozik, jelenleg a MEV Hibrid Szakág nagyfrekvenciás osztályát vezeti, ahol hibrid integrált áramkörök tervezésével és mérésével foglalkozik.

a mért paramétereikkel jellemezhetők. A következőkben egy széles sávú erősítő tervezésének néhány alapvető lépése következik.

Nagyfrekvenciás erősítő tervezése

A nagyfrekvenciás technikában gyakran van szükség a kis jelek megfelelő szintre történő erősítésére. A kis teljesítményű nagyfrekvenciás végfokozatoknál pl. külön előnyt jelent, ha az erősítő kis szintű vezérlő jellel kikapcsolható. Az áramkör védelme szempontjából fontos lehet, hogy az erősítő túlmelegedés hatására önműködően csökkentse a disszipációját, így elkerülhető a hőmegfűtás. A tervezési módszer bemutatására tervezünk egy olyan erősítőt, amely a 20–250 MHz-es frekvenciasávban 30 dB erősítéssel rendelkezik, a hullámellenállása 50 ohm, a kimeneti szintje kb. +23 dBm! Az előzőekben felsorolt összes kedvező tulajdonságokkal rendelkezik az 1. ábrán látható struktúrájú áramkör [1].

Az erősítő tulajdonképpen két-fokozatú földelt emitteres, komplementer kaszkád elrendezésű. Az egyes fokozatok önmagukban párhuzamos fe szűltségs- és soros áramvisszacsatolással rendelkeznek.



H345-1

1. ábra. Két fokozatú, komplementer kaszkád elrendezésű széles sávú erősítő

Beérkezett: 1987. V. 21.



DR. SZÁRAZ GYÖRGY

A Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Kara híradástechnika szakán 1965-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet, majd ezt követően a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékén tanársegédként dolgozott.

1969-től a Soproni Postaigazgatóság Fejlesztési Osztályán az új rendszerű távbeszélőközpontok üzembeállításával foglalkozott. 1974-től a volt Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetbe került, ahol elsősorban az integrált áramkörök vizsgálatára szolgáló mérőautomaták nagysebességű analóg részeinek kifejlesztésén dolgozott. Ehhez a munkához kapcsolódóan 1980-ban védte meg „Nagysebességű, analóg feszültség-komparátorok tervezése” címmel műszaki doktori disszertációját. 1983-tól a MEV Híbridáramkör Szakágazatán nagysebességű hibridáramkörök kidolgozásával foglalkozik.

Ezzel az elrendezéssel nagyon jól beállítható a megfelelő hullámellenállás és az adott erősítés [2]. A T_3 tranzisztor kisfrekvenciás típus, csak a munkapontbeállítást és a vezérlést végzi. Magasabb környezeti hőmérséklet esetén a T_3 tranzisztor bázis-emitter feszültsége csökken, lecsökkenti a T_1 és T_2 nagyfrekvenciás tranzisztorok áramát, így ez az egyszerű kapcsolás önműködően megvédi az áramkört. A V jelű pontot földre zárva működik az erősítő, szakadással lezárva, vagy tápfeszültségre kötve ezen pontot az áramkör kikapcsol. A V pont pl. nyitott kollektoros TTL-el, vagy CMOS-sal is vezérelhető. Az áramkör tervezésénél először az egyes tranzisz-

torok DC munkapontjait a kivezélhetőségnek, és a nagyfrekvenciás tulajdonságoknak megfelelően kell meghatározni. Jelen esetben a T_1 tranzisztor BFT 93 típusú, az $U_{CE} = -6$ V, $I_C = -20$ mA. A T_2 tranzisztor BFQ 64 típusú, az $U_{CE} = 10$ V, $I_C = 100$ mA.

Ezután ezen tranzisztorok szórásai paramétereit az adott munkapontban nagyfrekvenciás hálózat analízátorral meg kell mérni. A mért tranzisztor paraméterekkel és a külső alkatrészekkel az erősítőt áramkörileg modellezni kell, majd megfelelően választott módszerrel a teljes erősítőt optimalizálásnak kell alávetni. Az 1. ábra szerinti kapcsolási elrendezésből származtatható áramköri modell a 2. ábrán látható.

A DC munkapont beállításból és az erősítő alsó határfrekvenciájából az R_1 , R_6 , L_2 és L_3 kiadódó értékek, így nem vesznek részt az optimalizációban. Az optimalizálandó alkatrészek a 2. ábrán csillaggal vannak jelölve.

Az első és a második fokozat tervezett erősítése legyen 15–15 dB! Az egyes fokozatokat először érdemes külön-külön optimalizálni, majd a teljes áramkört egy újabb optimalizálással egymáshoz „fésülni” úgy, hogy a bemeneten egy aluláteresztő jellegű impedancia illesztő (L_1 , C_1), is szerepel.

Az első fokozatot egy adott elemérték sorról indítva, a következő kezdeti szórásai paraméterek adódnak (amplitudóval és fázissal, a frekvencia MHz-ben).

Az optimált áramköri elemek értéke:

$$R_2 = 44 \text{ ohm}, R_3 = 6,5 \text{ ohm}, R_5 = 7,1 \text{ ohm}$$

$$C_1 = 6 \text{ pF}, C_2 = 71 \text{ pF}, C_3 = 64 \text{ pF}$$

$$L_1 = 23 \text{ nH}$$

Frekv.	S_{11}			S_{12}			S_{21}			S_{22}	
	Ampl.	Fok	dB	Fok	dB	Fok	dB	Fok	Ampl.	Fok	
20	0,226	— 6,8	—20,41	1,8	15,51	177,3	0,357	— 0,4			
100	0,243	—40,7	—20,15	7,6	15,63	166,6	0,345	—11,6			
250	0,285	—93,1	—19,79	15,9	15,62	147,4	0,255	—32,3			

A 32. iteráció után a szórásai paraméterek nagymértékben javultak:

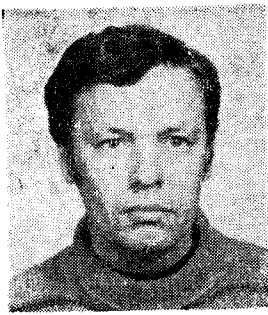
Frekv.	S_{11}			S_{12}			S_{21}			S_{22}	
	Ampl.	Fok	dB	Fok	dB	Fok	dB	Fok	Ampl.	Fok	
20	0,024	—36,4	—19,1	1,3	14,99	177,2	0,144	3,5			
100	0,096	—97,1	—19,04	4,7	15,09	166,3	0,133	— 5			
250	0,216	—135,4	—19,37	12,6	14,98	147,2	0,063	—12,3			

A kezdeti optimalizált elemértékek a következők:

$$R_2 = 410,12 \text{ ohm}, R_3 = 5,63 \text{ ohm}, C_2 = 64,35 \text{ pF}$$

Mellőzve a második fokozat optimalizációját, a teljes áramkör optimalizált szórásai paraméterei a következők:

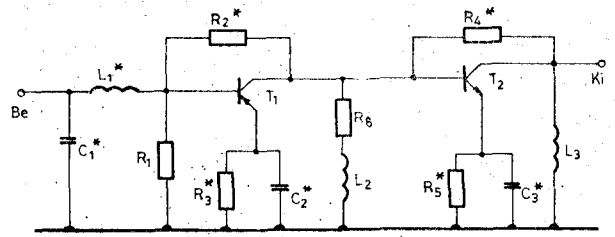
Frekv.	S_{11}			S_{12}			S_{21}			S_{22}	
	Ampl.	Fok	dB	Fok	dB	Fok	dB	Fok	Ampl.	Fok	
20	0,024	— 1,6	—37,87	4,4	29,71	—2,8	0,046	— 6,8			
100	0,083	12,2	—37,94	— 7,9	30,20	—42,5	0,018	—18,9			
150	0,116	— 7,1	—38,35	—11,3	30,08	—62,2	0,015	— 0,9			
200	0,152	—30,9	—38,91	—13,6	30,14	—91,1	0,032	37,2			
250	0,175	—50,4	—39,60	—13,9	29,87	—123,7	0,070	47,1			



DR. ZSOLDOS BÉLA

1969-ben végzett az Eötvös Loránd TE Természettudományi Karának vegyész szakán. Doktori értekezését 1971-ben védte meg szilárd anyagok radio-

kémiai módszerekkel történő vizsgálatának tárgyköréből. 1969 óta a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetnek, majd jogutódjának a Mikroelektronikai Vállalatnak dolgozója. Munkaterületei a félvezető anyagok neuronaktivációs elemzéssel történő vizsgálata, nyomtatott huzalozású lemezek technológiája és vizsgálata, valamint vékonyréteg hibrid integrált áramkörökkel kapcsolatos kutatás és fejlesztés. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalat Hibridáramkör Szakágazatnak vékonyréteg technológiai főosztályán osztályvezető.



2. ábra. Az erősítő nagyfrekvenciás modellezése

A szórási paramétereiből látható, hogy az erősítés ingadozása kisebb, mint $\pm 0,3$ dB, és a bemeneti — és kimeneti reflexiók is kellően kicsinyek.

A vizsgálatok szerint az áramkör feltétlenül stabil tehát nincs olyan passzív bemeneti —, vagy kimeneti lezáró impedancia, amelynél az erősítő begerjed.

A megvalósítás során természetesen az alkatrészek értéke megfelelően kerekíthető. Hibrid integrált realizációban persze az ellenállások értéke bármilyen adott ellenállásra betrimmelhető, nem kell alkalmazkodni semmilyen szabványos sorhoz sem. Vastagréteg hibrid technológiával elkészítve az 1. ábrán látható áramkört, az pl. a következő főbb jellemzőkkel rendelkezik:

A frekvenciatartomány: 20—250 MHz

A generátor és terhelő imp.: 50 ohm

A bemeneti és kimeneti állóhullámarány: $\dot{A}HA < < 1 : 1,5$

Az erősítés: $G_{tr} \cong 30$ dB

Az erősítés ingadozása: $\pm \Delta G_{tr} < 0,5$ dB

Az erősítés tápfeszültség érzékenysége: $\Delta G_{tr} / \Delta U_i \cong \cong 0,15$ dB/V

Kimeneti teljesítmény (—1 dB-es erősítés kompresszió): $P_{ki} > + 23$ dBm

Zajtényező: $F < 5$ dB

Tápfeszültség: + 12 V

Áramfelvétel (V pont földelve): ~ 120 mA

Működési hőmérsékleti tartomány: $-20 \dots + 60$ °C

Az áramkör $1/2'' \times 1''$ méretű kerámia lapon helyezkedik el, a hűtéséről kovar hűtőlemez gondoskodik.

Nagyfrekvenciás impulzustechnikai áramkörök

A nagyfrekvenciás hibridáramkörök fejlesztése nemcsak a szinuszos áramkörök családjára korlátozódott. Az utóbbi években jelentős elméleti haladás történt az impulzustechnikai áramkörök, főleg komparátorok, impulzusgenerátorok, jel-formálók területén.

Annak a gyakorlatnak a következményeként, miszerint a differenciálerősítők tranzisztorainak bázis-emitter feszültség változását legfeljebb 100

mV-ig engedjük növekedni, sikerült impulzustechnikai áramkörökben is kiaknázni a nagyobb határfrekvenciájú (néhány GHz-es) tranzisztorok nyújtotta sebességnövekedési lehetőségeket.

A sebességnövekedés (késleltetési idő csökkentés) célját szolgálta a sajátosan kidolgozott áramköri rendszertechnika (nagysebességű visszacsatolás, negatív impedancia konverterek), melynek kiindulása a hátrányos hatások okainak gondos feltárása volt [3]. A matematika nemlineáris analízisének és optimalizáló eljárásainak alkalmazása révén sikerült az alkatrészek nyújtotta maximális lehetőségek kihasználása.

Az elméleti eredmények gyakorlatban történő realizálását a hibrid áramköri technológia fejlesztése biztosítja. Ennek során tovább kell csökkenteni a parazita hatásokat. Ezt rövidebb és keskenyebb vezetékkel, az ellenállások szokásos mértékének csökkentésével ($0,5 \times 0,5$ mm-ig), galvanizált furatok beiktatásával lehet elérni.

Összegezés

Igazán akkor hasznos a hibridáramkörök fejlesztése, ha a felhasználó már a rendszertervezés során felkeresi a hibrid tervezőket és együtt alakítják ki a készüléket. Ezzel elérhető, hogy teljes funkcionális egységeket lehet integrálni úgy, hogy minden áramköri megoldás optimális helyre kerüljön. Ilyen módon a méretek nagymértékben csökkenthetők, és a felesleges szintillesztési problémák is elkerülhetők. Az ilyen fejlesztéseknek még az az előnye, hogy az oly gyakori áramköri specifikáció túlbiztosítás is minimálisra csökkenthető. Jó példa erre a Mechanikai Laboratóriummal közösen fejlesztett, 1000 MHz-ig működő kommunikációs vevőkészülék. A nagyfrekvenciás egység aktív része szinte teljesen hibrid integrált kivitelű. Ezen hibrid áramkörök a gazdaságosan elérhető csúcs-specifikációkkal rendelkeznek.

Az ORION részére kifejlesztett miniatűr vastagréteg hibridek pl. a hordozható szintézeres adó-vevő készülékekben nyernek felhasználást úgy, hogy az áramkörök mindenben alkalmazkodnak a felhasználó igényeihez. A MEV-ben készített nagy pontosságú, nagyfrekvenciás csillapító tagokat a TELMES és az EMG a műszereiben tömegesen alkalmazza.

A MEV-ben gyártott mérőautomaták pin elektro nikájánál előnyösen alkalmazzák az impulzus-

technikai hibrideket, hiszen a szűkös hely kikényszeríti a hibrid technika alkalmazását.

IRODALOM

[1] *Sonkoly Aurél*: Széles sávú erősítők Doktori értekezés, BME 1982.

[2] *Dr. Ripka Gábor*: Vastagréteg integrált áramkörök Műszaki Könyvkiadó, 1985.

[3] *Száraz György*: Nagysebességű, analóg feszültségkomparátorok tervezése Doktori értekezés BME 1979.
