الگوریتم جدید جهت استخراج پارامترهای نویز دو دهانه‌های مایکروویو

عماد حمیدی، عبدالعلی عبدی‌پور و فرخ آرزم

چکیده: یکی از مباحث بسیار مهم در طراحی مدارات مایکروویو، مبحث نویز و استخراج پارامترهای نویز مدار می‌باشد. در این مقاله روش جدیدی در زمینه استخراج پارامترهای نویز معرفی شده است. با استفاده از نتایج اندازه‌گیری مربوط به یک نوع ترانزیستور مایکروویو، نتایج این روش با نتایج یکی از روش‌های معتبر مقایسه شده است.

کلید واژه: عدد نویز، استخراج پارامترهای نویز، اندازه‌گیری نویز و مدارات مایکروویو.

۱- مقدمه

یکی از مباحث اساسی در طراحی مدارات مایکروویو بحث نویز و تاثیر آن در عملکرد کلی مدار می‌باشد. در حالت کلی در مورد یک عنصر دودهانه می‌توان نویز را به صورت شکل ۱ مدل کرد [۱].

جهت بررسی عملکرد نویزی دو دهانه، ماتریس همبستگی نویز در نمایش متوالی (زنجیره‌ای) آن C^A به صورت فرمول (۱) تعریف می‌شود [۱].

$$C^A = \begin{pmatrix} e_n(\omega) \\ i_n(\omega) \end{pmatrix} \overline{\begin{pmatrix} e_n(\omega) & i_n(\omega) \end{pmatrix}^*} = \begin{pmatrix} \overline{e_n^2} & \overline{e_n i_n^*} \\ \overline{i_n e_n^*} & \overline{i_n^2} \end{pmatrix} \qquad (۱)$$

که در آن علامت بار بیانگر متوسط‌گیری مجموعه‌ای می‌باشد.

لذا با توجه به ماتریس فوق دیده می‌شود که جهت ارزیابی دوقطبی چهار کمیت $\overline{e_n^2}$، $\overline{i_n^2}$، $\overline{e_n i_n^*}$ (و یا مزدوج آن $\overline{i_n e_n^*}$) کافی می‌باشد.

معمولاً برای بررسی نویز یک مدار به جای توصیف آن بر حسب منابع نویز از چهار پارامتر به عنوان پارامترهای نویز استفاده می‌کنند [۲]. این چهار پارامتر با فاکتور نویز دوقطبی که یک معیار ارزیابی کلی دوقطبی است به صورت زیر در ارتباط می‌باشد [۲]

$$F = F_{\min} + \frac{4R_n}{z_o} \frac{\left|\Gamma_S - \Gamma_{opt}\right|^2}{\left|1 + \Gamma_{opt}\right|^2 \left(1 - \left|\Gamma_S\right|^2\right)} \qquad (۲)$$

و یا

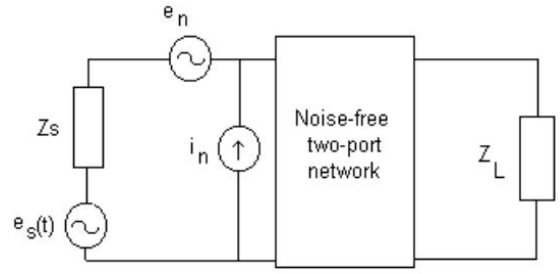
$$F = F_{\min} + \frac{R_n}{G_S}\left[(G_S - G_{opt})^2 + (B_S - B_{opt})^2\right] \qquad (۳)$$
$$Y_S = G_S + jB_S \quad , \quad Y_{opt} = G_{opt} + jB_{opt}$$

این مقاله در تاریخ ۲۲ مهر ماه ۱۳۸۱ دریافت و در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ماه ۱۳۸۲ بازنگری شد.

عماد حمیدی، دانشجوی دکترای دانشگاه تهران، تهران، ایران.

عبدالعلی عبدی‌پور، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، (email: abdipour@aut.ac.ir).

فرخ آرزم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.



شکل ۱: نمایش منابع نویز در یک دو دهانه مایکروویو.

که در آنها F فاکتور نویز، $F_{\min}$ فاکتور نویز می‌نیمم، R_n مقاومت نویز، Γ_S ضریب انعکاس مختلط منبع، Γ_{opt} ضریب انعکاس بهینه منبع، متناظر با $F_{\min}$، Y_s ادمیتانس منبع، Y_{opt} ادمیتانس بهینه منبع متناظر با $F_{\min}$ و $z_.$ امپدانس مشخصه سیستم اندازه‌گیری (معمولاً ۵۰ ohms می‌باشند).

همان‌طور که مشاهده می‌شود در روابط (۲) و (۳) که کاملاً مشابه یکدیگر هستند متغیرها عبارتند از: $F_{\min}$، Γ_{opt}، R_n در رابطه (۲) و $F_{\min}$، Y_{opt}، R_n در رابطه (۳). در نتیجه با داشتن چهار پارامتر، عدد نویز قطعه دودهانه کاملاً مشخص خواهد شد. بنابراین مدت‌هاست تلاش محققین در این راستا قرار گرفته که این پارامترها با روش‌های بهینه از لحاظ زمان، قیمت و میزان دقت تعیین شوند. برخی از الگوریتم‌های ریاضی که در این زمینه استفاده می‌شوند عبارتند از الگوریتم Lane [۳]، الگوریتم M.Lane [۴]، الگوریتم Mitama [۵]، الگوریتم Vasilescu [۶] و الگوریتم Boudiaf [۷] و [۸]. به طور کلی روش‌های فوق از برازش خطی جهت استخراج پارامترهای نویز استفاده می‌کنند.

این مقاله روش جدیدی را در زمینه استخراج پارامترهای نویز معرفی می‌کند. این روش بر مبنای مشتق‌گیری از رابطه (۳) می‌باشد. دربخش بعد به معرفی این روش خواهیم پرداخت و سپس در بخش سوم نتایج روش جدید را با نتایج روش Boudiaf مقایسه خواهیم نمود. در نهایت در بخش چهارم نتیجه‌گیری مقاله ارائه خواهد شد.

۲- معرفی روش جدید

همان طور که ذکر گردید روش جدید بر مبنای مشتق‌گیری از رابطه (۳) می‌باشد. اگر مشتق F نسبت به G_s را محاسبه کنیم. خواهیم داشت

$$\frac{\partial F}{\partial G_s} = R_n \frac{G_s^2 - G_{opt}^2 - (B_s - B_{opt})^2}{G_s^2} \qquad (۴)$$

و پس از ساده‌سازی

$$\frac{\partial F}{\partial G_s} = R_n\left(1 - \frac{(B_s - B_{opt})^2}{G_s^2}\right) - \frac{R_n}{G_s^2} G_{opt}^2 \qquad (۵)$$

حال با فرض معلوم بودن مقدار B_{opt} و همچنین با مفروضات زیر

Archive of SID

www.SID.ir

$$(1-\frac{(B_s-B_{opt})^2}{G_s^2})=c \qquad (6)$$

$$\frac{1}{c_i}\frac{\partial F_i}{\partial G_{si}}=y_i \quad , \quad -\frac{1}{c_i G_{si}^2}=x_i \qquad (7)$$

مشاهده می‌شود که معادله (۵) معادله خطی است که عرض از مبدأ آن R_n و شیب آن $R_n G_{opt}{}^2$ می‌باشد و در این حالت مقدار این دو پارامتر با یک برازش خطی تعیین خواهد شد. البته معادله (۳) را به صورت دیگری نیز می‌توان تغییر داد. در واقع از این معادله نتیجه می‌شود

$$G_s^2\frac{\partial F}{\partial G_s}=R_n(G_s^2-(B_s-B_{opt})^2)-R_n G_{opt}{}^2 \qquad (8)$$

و با فرض

$$G_{si}^2\frac{\partial F_i}{\partial G_{si}}=y_i \quad , \quad (G_{si}^2-(B_{si}-B_{opt})^2)=x_i \qquad (9)$$

معادله (۸) نیز معادله خطی با شیب R_n و عرض از مبدأ $R_n G_{opt}{}^2$ خواهد بود. اکنون به تعیین دو پارامتر دیگر می‌پردازیم. معادله (۳) را به صورت زیر در می‌آوریم

$$\begin{aligned} &F-\frac{R_n}{G_s}(G_s-G_{opt})^2-\frac{R_n}{G_s}B_s^2 \\ &=F_{\min}-2\frac{R_n}{G_s}B_sB_{opt}+\frac{R_n}{G_s}B_{opt}^2 \end{aligned} \qquad (10)$$

با فرض

$$\begin{aligned} &F_i-\frac{R_n}{G_{si}}(G_{si}-G_{opt})^2-\frac{R_n}{G_{si}}B_{si}^2=z_i \\ &-2\frac{R_n}{G_{si}}B_{si}=y_i \quad , \quad \frac{R_n}{G_{si}}=x_i \end{aligned} \qquad (11)$$

معادله به شکل زیر در می‌آید

$$z=F_{\min}+B_{opt}^2x+B_{opt}y \qquad (12)$$

در ادامه سعی می‌کنیم پارامترها را با روش می‌نیمم مربعات تعیین کنیم

$$d^2\underline{\underline{\Delta}}\sum_{i=1}^{N}(z_i-F_{\min}-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i)^2=\min \qquad (13)$$

دقت شود که منظور از علامت "$\underline{\underline{\Delta}}$" این است که متغیر d^2 به این ترتیب تعریف شده است. باید داشته باشیم

$$\frac{\partial d^2}{\partial F_{\min}}=0 \quad \Rightarrow 2\sum_{i=1}^{N}(z_i-F_{\min}-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i)=0 \qquad (14)$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial d^2}{\partial B_{opt}}=0 \\ &\Rightarrow 2\sum_{i=1}^{N}(z_i-F_{\min}-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i)(-2B_{opt}x_i-y_i)=0 \end{aligned} \qquad (15)$$

از رابطه (۱۴) نتیجه می‌شود

$$F_{\min}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(z_i-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i) \qquad (16)$$

ازمعادله (۱۵) خواهیم داشت

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N}(z_i-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i)(-2B_{opt}x_i-y_i) \\ &-F_{\min}\sum_{i=1}^{N}(-2B_{opt}x_i-y_i)=0 \end{aligned} \qquad (17)$$

از طرفی با جاگذاری مقدار $F_{\min}$ از رابطه (۱۶) داریم:

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N}(z_i-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i)(-2B_{opt}x_i-y_i) \\ &-\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(z_i-B_{opt}^2x_i-B_{opt}y_i)\sum_{i=1}^{N}(-2B_{opt}x_i-y_i)=0 \end{aligned} \qquad (18)$$

در معادله فوق، تنها مجهول B_{opt} است؛ پس معادله را بر حسب توان‌های این پارامتر مرتب می‌کنیم

$$\begin{aligned} &(\frac{2}{N}(\sum_{i=1}^{N}x_i)^2-2\sum_{i=1}^{N}x_i^2)B_{opt}^3 \\ &+(\frac{3}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i\sum_{i=1}^{N}y_i-3\sum_{i=1}^{N}x_iy_i)B_{opt}^2 \\ &-\left(\frac{1}{N}(2\sum_{i=1}^{N}z_i\sum_{i=1}^{N}x_i-(\sum_{i=1}^{N}y_i)^2)-\sum_{i=1}^{N}(2z_ix_i-y_i^2)\right)B_{opt} \\ &-(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}z_i\sum_{i=1}^{N}y_i-\sum_{i=1}^{N}z_iy_i)=0 \end{aligned} \qquad (19)$$

با حل معادله فوق، سه مقدار برای B_{opt} به دست می‌آورید. اگر دو عدد از این جواب‌ها مختلط باشند، واضح است که پاسخ مسأله، جواب حقیقی خواهد بود. پس از محاسبه B_{opt} با استفاده از رابطه (۱۶)، $F_{\min}$ را محاسبه خواهیم کرد.

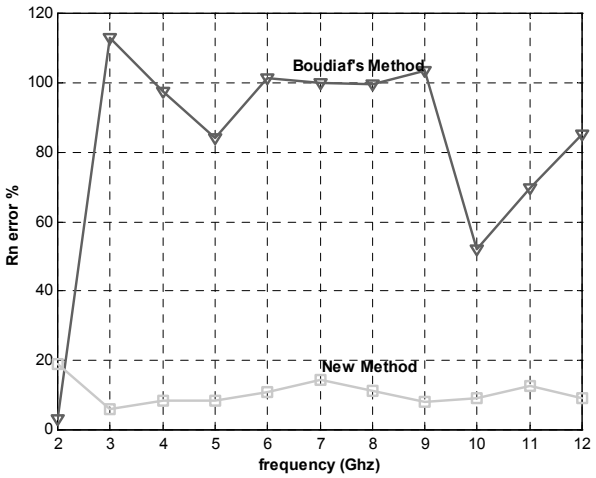
همان طور که مشاهده می‌شود، در این روش در معادله (۶) مقدار B_{opt} را معلوم فرض کرده‌ایم در حالی که در اصل مجهول است. برای حل این مشکل از روش بازگشتی استفاده می‌کنیم؛ به این معنی که ابتدا مقدار اولیه‌ای (مثلا صفر) برای B_{opt} درنظر گرفته، مسأله را حل می‌کنیم و دوباره مقدار B_{opt} را از رابطه (۱۹) تعیین می‌کنیم. سپس مقدار جدید را در رابطه (۶) جایگزین می‌کنیم و دوباره مسأله را حل می‌کنیم و آن قدر این عمل را تکرار می‌کنیم که پاسخ‌ها به مقدارهای ثابتی نزدیک شوند.

۳- نتایج

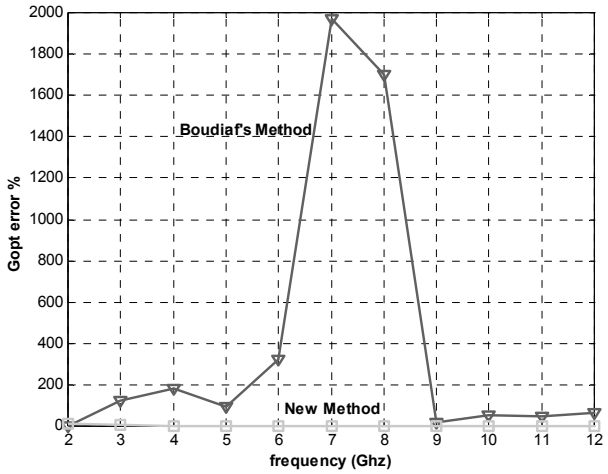
حال سعی می‌کنیم جهت مشخص ساختن میزان کارایی روش جدید، نتایج این روش را با نتایج روش Boudiaf که یک روش بهینه در بدست آوردن پارامترهای نویز می‌باشد مقایسه کنیم. ابتدا از یک شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌کنیم. روش شبیه‌سازی به این صورت است که ابتدا در هر فرکانس در N نقطهٔ فرضی و تصادفی از نمودار اسمیت (B_s و G_s)تصادفی) با استفاده از فرمول عدد نویز مربوط به آن فرکانس، مقدار فاکتور نویز، F، محاسبه می‌شود. حال جهت شبیه‌سازی نویز و خطاهای اندازه‌گیری، مقداری تصادفی با توزیع گاوسی به اطلاعات فرضی (شامل (B_s و G_s و F)) اضافه می‌گردد. در آخرین مرحله، این اطلاعات در اختیار الگوریتم‌ها قرار داده می‌شود تا پارامترهای نویز صحیح را محاسبه کنند. این عملیات، ۱۰۰ بار تکرار شده و میزان متوسط خطاهای نسبی در پارامترها محاسبه شده است. در این مجموعه از شبیه‌سازی‌ها از مشخصات ترانزیستور FHX35LG ساخت شرکت

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: مقایسه نتایج روش Boudiaf با روش جدید در مورد R_n.



شکل ۳: مقایسه نتایج روش Boudiaf با روش جدید در مورد G_{opt}.

جدول ۱: پارامترهای نویز اندازه گیری شده ترانزیستور FHX35X.

Frequency(GHz)	$F_{\min}$ (dB)	R_n (ohm)	R_{opt} (ohm)	X_{opt} (ohm)
۲	۰/۵۰۵	۱۰/۴	۰/۴۹	۱/۳۴
۳	۰/۵۲۲	۵/۹۲	۰/۲۹	۰/۷۱
۴	۰/۶۱۵	۱/۸۹	۰/۲۵	۰/۲۷
۵	۰/۶۸۹	۱/۱۴	۰/۲۷	−۰/۱۱
۶	۰/۷۲۷	۳/۵۴	۰/۳۵	−۰/۴۵
۷	۰/۷۰۱	۷/۱۷	۰/۵۷	−۰/۸۴
۸	۰/۷۴۴	۱۰/۴۵	۱/۲۹	−۱/۲۲
۹	۰/۸۲۵	۱۱/۱۷	۲/۳۳	−۰/۴۵
۱۰	۰/۸۸۸	۹/۷۴	۱/۸۲	۰/۷۵
۱۱	۰/۸۲	۶/۷۲	۰/۸۷	۰/۶۴
۱۲	۱/۰۵۳	۴/۴۳	۰/۶۳	۰/۲۲

FUJITSU استفاده شده است. مشخصات اندازه‌گیری شده این ترانزیستور در جدول ۱ آمده است.

میانگین مقدار تصادفی اضافه شده به عنوان نویز وخطای اندازه‌گیری در تمام حالات، صفر و انحراف استاندارد آن به صورت $\sigma_{Bs} = ۰/۰۱ B_s$ و $\sigma_{Gs} = ۰/۰۱ G_s$ در نظر گرفته شده است. دراین شبیه‌سازی، از معادله (۸) استفاده شده است. جهت مشخص ساختن مشتق F از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$\frac{\partial F}{\partial G_s} = \frac{\Delta F}{\Delta G_s} \quad \text{وقتی: } \Delta G_s \to ۰ \qquad (۲۰)$$

مقدار ΔG_s را برابر $۰/۱ G_s$ در نظر می‌گیریم. تعداد ۳۰ نقطه فرضی جهت اندازه‌گیری عدد نویز در نظر گرفته شده است. عمل شبیه‌سازی برای ۵۰ بار تکرار شده و نتایج متوسط‌گیری شده‌اند.

منظور از خطا در این نمودارها، مقدار متوسط خطای نسبی پارامترهای محاسبه شده توسط الگوریتم‌ها نسبت به پارامترهای اولیه (که اندازه‌گیری‌های فرضی بر مبنای آن ها انجام شده است) می‌باشد. نتایج در مورد پارامتراهای R_n و G_{opt} درشکل‌های ۲ و ۳ آورده شده‌اند. ملاحظه می‌شود که الگوریتم جدید نسبت به روش Boudiaf به نتایج بسیار خوبی منتهی شده است.

همچنین مشاهده می‌شود که روش Boudiaf در برخی فرکانس‌ها کاملا ناپایدار گردیده است.

مراجع

[1] C. A. Snowden (Ed.), *Semiconductor Device Modeling*, Springer-Verlag, 1989.
[2] J. A. Dobrowski, *Introduction to Computer methods for Microwave Circuit Analysis and Design*, Artech House, 1991.
[3] R. Q. Lane, "The determination of device noise parameters," *Proc. IEEE*, vol. 57, pp.1461-1462, Aug. 1969.
[4] L. Escotte, R. Plana, and J. Graffeuil, "Evaluation of noise parameter extraction methods," *IEEE Trans on Microwave Theory Techniques*, vol. 41, no. 3, pp. 382-387, Mar. 1993.
[5] M. Mitama, and H. Katoh, "An improved computational method for noise parameter measurements," *IEEE Trans on Microwave Theory Techniques*, vol. 27, no. 6, pp.612-615, Jun. 1979.
[6] G. I. Vasilescu, G. Alquie, and M. Kim, "Exact computation of two-port noise parameters," *Electronic Letters*, vol. 25, no. 4, pp. 292-293, Feb. 1989.
[7] A. Boudiaf, M. Laporte, J. Dangla, and G. Vernet, "Accuracy improvements in two-port noise parameter extraction methods," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest*, vol. 3, pp. 1569-1572, 1992.
[8] A. Boudiaf, and M. Laporte, "An accurate and repeatable technique for noise parameter measurements," *IEEE Trans. IM.* ,vol. 42, no. 2, pp. 532-537, Apr. 1993.

عماد حمیدی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی مهندس برق الکترونیک و کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات-میدان به ترتیب در سالهای ۱۳۷۹ و ۱۳۸۱ در دانشکده فنی دانشگاه تهران به پایان رسانده و از سال ۱۳۸۱ مشغول به تحصیل در دوره دکترای مهندسی مخابرات میدان در دانشگاه تهران می‌باشد. وی ضمن تحصیل در دوره کارشناسی ارشد، با مرکز تحقیقات مخابرات ایران نیز همکاری داشته‌است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی عبارتند از: بررسی و بهبود عملکرد مدارهای فعال و غیر فعال مایکروویو (شامل بررسی و کاهش اثر نویز، افزایش بهره و عرض باند در تقویت‌کننده‌های مایکروویو و ...) و طراحی مدارهای مجتمع MIC و MMIC.

عبدالعلی عبدی پور در سال ۱۳۶۷ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه تهران دریافت نمود. کارشناسی ارشد را در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه لیموژ فرانسه در رشته مخابرات (مایکروویو واپتیک) به پایان رساند و دکتری خود را در سال ۱۳۷۴ در رشته مخابرات (الکترونیک فرکانس بالا) از دانشگاه پاریس ۱۱ (Supelec) فرانسه اخذ نمود. دکتر عبدی پور از سال ۱۳۷۵ در دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) مشغول به فعالیت گردید وهم اینک دانشیار تمام وقت این دانشکده می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده شامل الکترونیک فرکانس بالا، طراحی مدارات و سیستمهایRF/مایکروویو/موج میلیمتری، مدلسازی ومشخصه‌گذاری قطعات مایکروویو/موج میلیمتری، مدلسازی Global (الکترونیکی-الکترومغناطیسی) ادوات و مدارات مایکروویو/ موج میلیمتری، و اندازه‌گیری مایکروویو/ موج میلیمتری می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

فرخ آرزم مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق و الکترونیک در سال ۱۳۴۹ از دانشکده فنی دانشگاه تهران دریافت کرد و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی مخابرات و مایکروویو در سال ۱۳۵۵ در دانشگاه شفیلد انگلستان به پایان رساند و دکتری خود را در رشته مهندسی مخابرات و مایکروویو در سال ۱۳۵۸ از دانشگاه شفیلد انگلستان اخذ نمود. نامبرده از سال ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۴ به عنوان مربی تحقیقاتی در مرکز تحقیقات مخابرات ایران دانشگاه تهران استخدام شد. از سال ۱۳۵۷ تا کنون در گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی دانشگاه تهران مشغول به تدریس است. همچنین از سال ۱۳۷۹ تا کنون در مرکز تحقیقات مخابرات ایران به عنوان پژوهشگر مشغول فعالیت می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده شامل مسائل الکترومغناطیسی، میدان، امواج و آنتن می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir