

پیاده سازی فیلترهای آنالوگ مد جریانی با استفاده از CDTA

محرم حسین پور و بابک قصاب زاده اهرابی

گروه مهندسی برق الکترونیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

babakahrabi@gmail.com

m.hosseinpour.n@gmail.com

چکیده - در این مقاله یک قطعه ی فعال جدید با دو ورودی جریان و دو نوع خروجی جریان به نام تقویت کننده ی دیفرانسیلی جریان از نوع هدایت انتقالی (CDTA) پیشنهاد شده است. این قطعه، ترکیبی از المان های مشخص CDBA (تقویت کننده بافر دیفرانسیلی جریان) و OTA (تقویت کننده عملیاتی از نوع هدایت انتقالی) می باشد که برای پیاده سازی فیلترهای آنالوگ مد جریانی مورد استفاده قرار می گیرد. در ادامه نیز سیستم مبتنی بر CDTA نشان داده شده و چند مورد کاربردی نیز پیشنهاد شده است.

کلید واژه- CDTA، OTA، فیلتر مرتبه دوم توماس، فیلتر نردبانی

۱- مقدمه

پس به محدوده مطلوبی از مد جریانی نزدیک خواهیم شد. این مقاله دارای ساختار زیر می باشد: در بخش ۲، مدل رفتاری قطعه ی CDTA^۲ به همراه گراف هایی ساده برای مدل سازی آن معرفی شده است. در بخش ۳ نیز برخی از کاربردهای ممکن قطعه ی CDTA با توجه به ساختار فیلترهای مد جریانی مطرح شده و بالاخره در بخش ۴، شبیه سازی فیلترهای پیشنهادی مبتنی بر CDTA ارائه شده است.

۲- CDTA و مدل های آن

شکل (۱) مدل ساده ای از قطعه ی CDTA ایده ال را نشان می دهد. این قطعه نیز مانند CDBA دارای ورودی های جریان دیفرانسیلی p و n می باشد. تفاضل این جریان ها از پایانه z به طرف یک بار خارجی جریان می یابد و ولتاژ حاصل در پایانه z بوسیله هدایت کننده انتقالی g به یک جریان تبدیل می شود که این جریان به صورت یک جفت جریان به پایانه های x منتقل می گردد. بخش نهایی این قطعه همان OTA^۳ (تقویت کننده عملیاتی از نوع هدایت انتقالی^۴) می باشد.

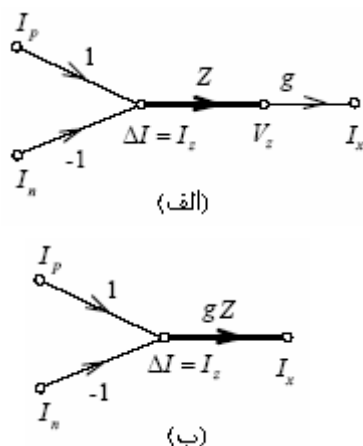
قطعه ی مداری CDBA^۱ (تقویت کننده بافر دیفرانسیلی جریان) در [۱] معرفی شده است. CDBA، جریان جاری شده در جفت ورودی های امپدانس پایین را به یک جریان دیفرانسیلی (تفاضلی) تبدیل می کند که این جریان به پایه ای که z نامیده می شود، وارد شده و منتهی به بار می باشد. ولتاژ حاصل در ترمینال z به وسیله یک بافر بهره واحد داخلی عینا به یک ترمینال امپدانس پایین w انتقال می یابد. فعال کردن ورودی های جریان با جمع ساده ی جریان های ورودی که به وسیله منابع ولتاژ تولید می شوند، صورت می گیرد. به این ترتیب این قطعه برای ترکیبی ویژه از مد ولتاژی مناسب می باشد.

در قطعه ی CDBA اگر بافر ولتاژ را با یک منبع جریانی جایگزین کنیم، به طوری که این منبع به وسیله ولتاژ پایانه z کنترل شود، آنگاه یک مدار با خروجی ها و ورودی های صرفا جریان حاصل خواهد شد. جریان منبع اشاره شده جریانی برگرفته شده از ولتاژ امپدانس متصل به پایانه z خواهد بود و اگر انتخاب صحیحی از سطح امپدانس پایین داشته باشیم، سطوح ولتاژ به مقدار کافی کوچک خواهد بود.

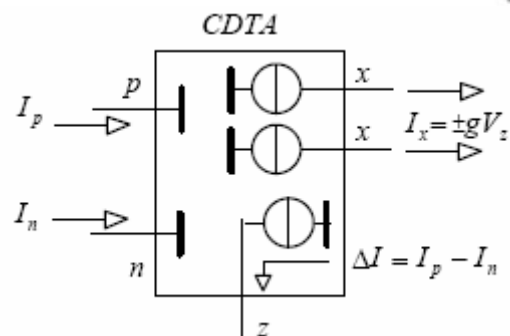
بوسیله ی دو $CCII^+$ مشابه و یک OTA پیاده سازی شده است، را نشان می دهد. در شکل (۲-الف) با علامت گذاری ولتاژ ترمینال های x, n, p, z با سمبل های V_x, V_n, V_p, V_z برای المان $CDTA^+$ معادله زیر صادق می باشد.

$$\begin{pmatrix} I_z \\ I_{x+} \\ I_{x-} \\ V_p \\ V_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_z \\ V_{x+} \\ V_{x-} \\ I_p \\ I_n \end{pmatrix}$$

همان طور که در زیر نشان داده شده، در اغلب کاربردها، پایانه ی Z توسط امپدانس زمین شده ی Z بار می شود. برای تجزیه و تحلیل چنین مدارهایی گراف های سیگنال خاصی مورد استفاده قرار می گیرد که ما آنها را گراف های "IVI" (جریان-ولتاژ-جریان) خواهیم نامید که این گراف ها مشابه گراف های "VIV" (ولتاژ-جریان-ولتاژ) که در [۲] مطرح شده است، می باشند. گراف IVI قطعه ی $CDTA$ در شکل (۳-الف) نشان داده شده است. با توجه به این گراف مشاهده می شود که در اثر تفاضل جریان های I_p و I_n ، جریان تفاضلی ΔI تولید شده است که این جریان همان جریان جاری در امپدانس Z می باشد که باعث ایجاد ولتاژ V_z می گردد. این ولتاژ به وسیله هدایت انتقالی g به جریان I_x تبدیل می شود. هنگامی می توانیم از گراف ساده شده در شکل (۳-ب) استفاده کنیم که لزوما مشاهده کنیم که جریان به ولتاژ معلوم V_z بستگی ندارد.

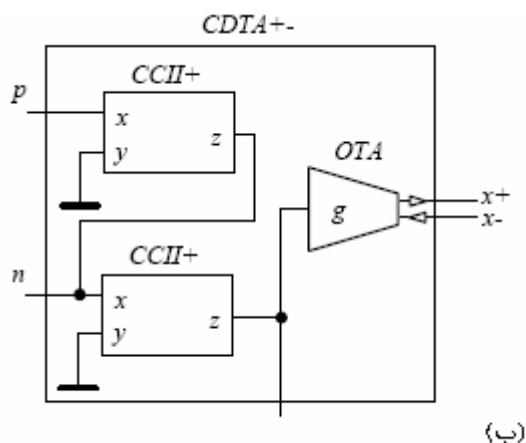
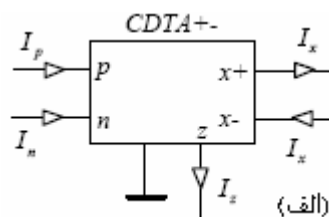


شکل ۳- (الف) گراف IVI قطعه ی $CDTA$ با بار زمین شده متصل به ترمینال (ب) گراف ساده شده بعد از جهش از گره ولتاژ z



شکل ۱- مدل رفتاری المان $CDTA$

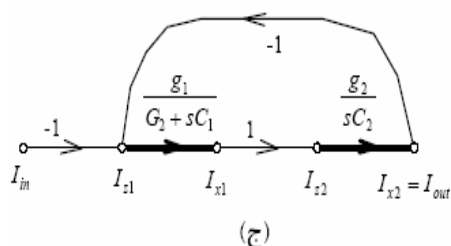
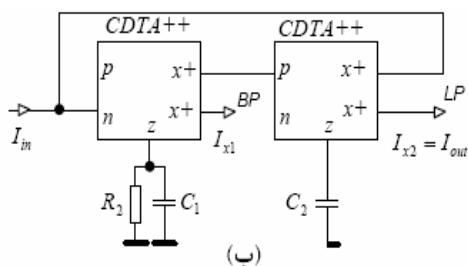
جفت جریان های خروجی از پایانه های x که در شکل (۱) نشان داده شده است ممکن است سه ترکیب از جهت ها را داشته باشند: ۱- هر دو جریان می توانند به طرف بیرون جاری شوند ۲- جریان ها جهت های مختلفی داشته باشند ۳- هر دو جریان به طرف داخل قطعه ی $CDTA$ باشند. به عبارت دیگر منظور ما المان های $CDTA^{++}$ و $CDTA^{+-}$ و $CDTA^{--}$ می باشند. همچنین بهتر است علامت گذاری جهت های جریان در مدار با علامت + (به طرف بیرون) و علامت - (به طرف داخل) به صورت نشان داده شده در شکل (۲-الف) صورت گیرد.



شکل ۲- (الف) نماد قطعه ی $CDTA$ (ب) پیاده سازی $CDTA$ بوسیله ی مبدل های جریان و OTA با دو خروجی جریان

در شکل (۲-الف) نماد پیشنهاد شده $CDTA$ نشان داده شده است. همچنین شکل (۲-ب) نیز یک $CDTA$ که

۳- کاربرد های قطعه ی CDTA

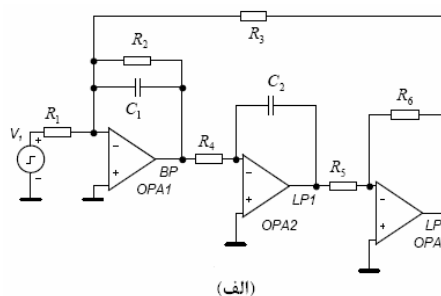


شکل ۴- (ب) پیاده سازی آن بوسیله دو عدد CDTA (ج) گراف IVI ساده شده

وصل کردن یک خازن زمین شده یا خازن و مقاومت موازی زمین شده به ترمینال z ، یک انتگرال گیر جریان ایده آل یا واقعی را حاصل می کند که در نهایت به طور مستقیم مجموع جریان های ورودی ترمینال های p ، n را با امپدانس خروجی کوچک تحویل می دهد. جمع سیگنال های جریان هم به سادگی با اتصال به سیم های متناظر کامل می شود. اکنون یک تقسیم جریان با مقسم های امپدانس می تواند تحقق یابد. با این روش می توان عملکرد تعدادی از مدارهای مرتبه دوم مد ولتاژی را شبیه سازی کرد. قطعه ی CDTA همچنین برای شبیه سازی گره به گره^۷ فیلتر های نردبانی پسیو^۸ (غیر فعال) و نیز برای ترکیبی از معکوس کننده های ادمیتانس^۹ (یا امپدانس) مناسب می باشد. با طراحی توپولوژی مداری بوسیله مفاهیم هدایت انتقالی، می توان اثرات مختلف کنترل الکترونیکی پارامترهای مربوط به فیلتر را بدست آورد. مثال های زیر این امر را توضیح می دهند.

۳-۱- فیلترهای مرتبه ی دوم (درجه ی دوم)

شکل (۴-الف) فیلتر مرتبه دوم توماس^{۱۰} را نشان می دهد [۳]. همچنین در شکل (۴-ب) نیز همین فیلتر با استفاده از دو عدد CDTA نشان داده شده است. OPA_1 همراه با R_1 و R_2 و C_1 یک انتگرال گیر معکوس کننده را تشکیل داده است که این کار در مد جریانی بوسیله یک CDTA، C_1 ، R_2 و جریانی که به ترمینال n وارد می شود انجام شده است. هدایت الکتریکی (conductance) مقاومت های R_1 و R_3 بوسیله هدایت کننده انتقالی g_1 که مربوط به CDTA اولی می باشد جایگزین شده است.

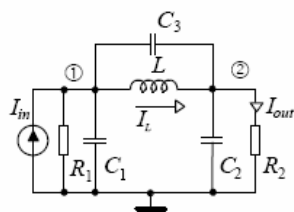


شکل ۴- (الف) فیلتر مرتبه دوم توماس

انتگرال گیر و تقویت کننده وارونگر متشکل از OPA_1 و OPA_2 که در شکل زیر نشان داده شده است تنها با یک CDTA و یک خازن (خازن C_2) طراحی شده است. ارزیابی گراف ساده شده IVI در شکل (۴-ج) توابع انتقالی فیلتر های BP (جریان I_{x1}) و LP (جریان I_{x2}) را نتیجه داده است. همچنین فرکانس ω_0 و فاکتور کیفیت Q به قرار زیر می باشند:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_1 g_2}{C_1 C_2}}, \quad Q = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} R_2 \sqrt{g_1 g_2}$$

نوع غیر وارون گر هم می تواند بوسیله اعمال جریان ورودی به پایانه ی p (به جای پایانه ی n) بدست آید. در شکل (۵-الف) فیلتر های مرتبه دوم LP یا BP که ترکیبی از انتگرال گیرهای فعال و غیر فعال هستند، نشان داده شده است [۴]. شکل (۵-ب) نیز یک فیلتر LP مد جریانی را نشان می دهد که در این فیلتر، انتگرال گیر پسیو (غیر فعال) به وسیله تقسیم جریان ترمینال x بین خازن C_2 و مقاومت R_2 شبیه سازی شده است. این حالت مشابه تقسیم ولتاژ در خروجی OPA_1 بین R_2 و C_2 در شکل (۵-الف) می باشد.



شکل ۶- فیلترهای نردبانی مرتبه سوم

$$gV_1 = g \frac{1}{(sC_1 + G_1)} [I_{in} - I_L]$$

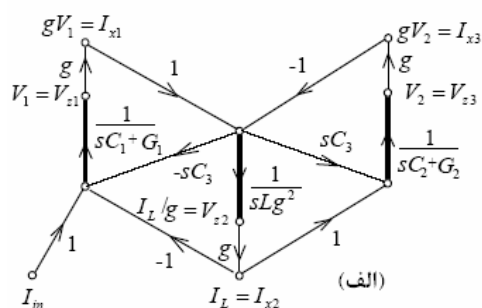
$$gV_2 = g \frac{1}{sC_2 + G_2} I_L$$

(۱)

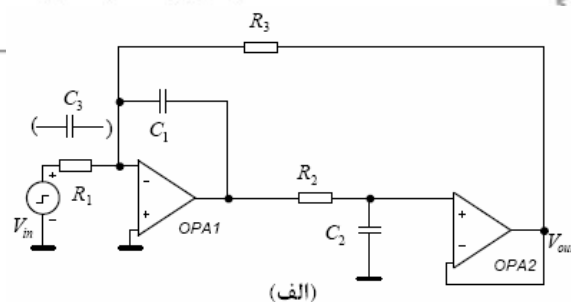
$$I_L = \frac{gV_1 - gV_2}{sLg}$$

نماد g مشخص کننده یک ضریب هدایت معینی می باشد که برای تبدیل ولتاژ گره ها به جریان در معادله ها مطرح شده است. این جریان ها به وسیله ی CDTA ها تولید خواهند شد و ولتاژ پایانه ها نیز از طریق هدایت انتقالی g به جریان ها تبدیل می شوند.

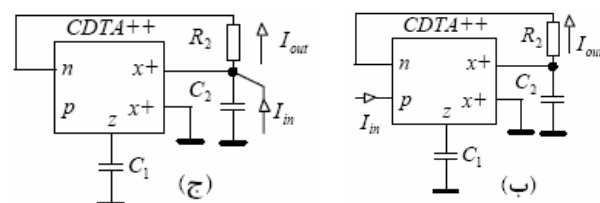
گراف شکل (۷-الف) از روی معادلات (۱) حاصل شده است. در شکل (۷-ب) نیز یک فیلتر مبتنی بر CDTA نشان داده شده است. یک روش ساده برای ایجاد صفر انتقالی^{۱۱} استفاده از خازن C_3 می باشد که هم در گراف IVI فیلتر (شکل ۷-الف) و هم در شماتیک آن (شکل ۷-ب) نشان داده شده است.



شکل ۷- (الف) گراف IVI فیلتر مطابق با معادلات (۱)

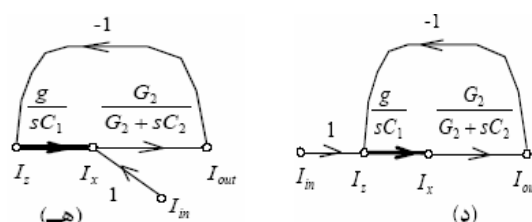


(الف)



(ج)

(ب)



(ه)

(د)

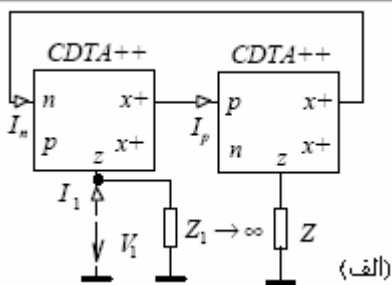
شکل ۵- (الف) فیلتر مرتبه دوم LP (با مقاومت R_1) یا BP (با خازن C_3) (ب) فیلتر LP مبتنی بر CDTA (ج) فیلتر BP مبتنی بر CDTA و (د) و (ه) گراف های ساده شده ی IVI متناظر با آنها

در مورد فیلتر BP (C_3 به جای R_1) با توجه به شکل (۵-الف) ولتاژ ورودی فیلتر به وسیله بهره واقعی C_3/C_1 به خروجی OPA1 منتقل شده است. ورودی جریان فیلتر مبتنی بر CDTA نمی تواند به داخل پایانه ی p منتهی شده باشد (به خاطر انتگرال گیر بودن)، بلکه این جریان به سادگی به پایانه x منتهی شده و با جریان خروجی OTA جمع خواهد شد. این حالت با توجه به گراف شکل (۵-ه) متناظر با تساوی خازن های C_1 و C_3 می باشد ($C_1=C_3$). در این صورت پارامترهای Q و ω_0 به صورت زیر خواهند بود:

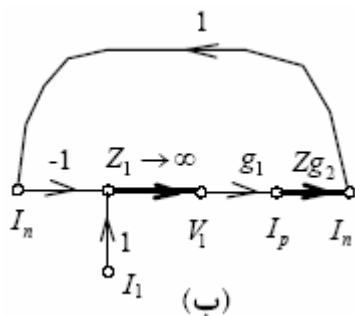
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{R_2 C_1 C_2}}, \quad Q = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \sqrt{R_1 g}$$

۲-۳- شبیه سازی فیلترهای نردبانی غیر فعال

برای فیلتر نردبانی شکل (۶)، معادلاتی برای ولتاژ گره های V_2 و V_1 می نویسیم و در آنها ظرفیت خازن C_3 را در نظر نمی گیریم.



(الف)



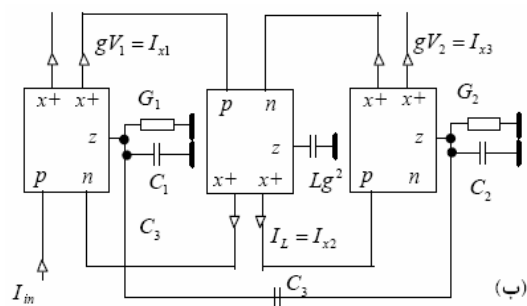
(ب)

شکل ۹- (الف) معکوس کننده ی امپدانس با دو CDTA (ب) گراف IVI متنظر با آن

۴- شبیه سازی های کامپیوتری

برای شبیه سازی های کامپیوتری ابتدا یک مدل SPICE از المان CDTA درست می کنیم که این مدل دارای دو بخش می باشد. بخش اول شامل منبع جریان کنترل شده با جریان تفاضلی ($I_p - I_n$) است که به وسیله بخشی از قطعه ی CDBA مدل می شود [۵] و بخش دوم نیز شامل تقویت کننده ی هدایت انتقالی می باشد که در SPICE با تقویت کننده ی تجاری MAX435, 275MHz مدل می شود.

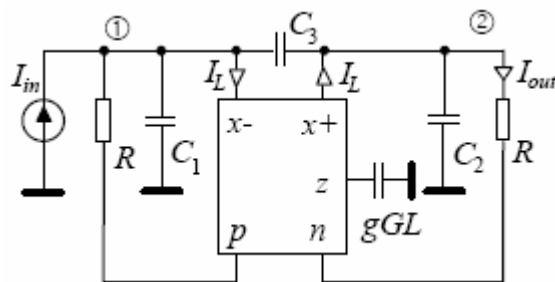
با شبیه سازی مدارهای بخش ۳ عملکرد آنها تا ده ها مگا هرتز بررسی شده است. پهنای باند OTA هنگامی کاهش می یابد که جریان های خروجی در امپدانس های پایین کار نمی کنند. از این رو به نظر می رسد که ساختار فیلترهای توماس (شکل ۴-ب) و نردبانی (شکل ۷-ب) از فیلترهایی که با سلول های RC درست می شوند (شکل ۵-ب) بهتر عمل کنند. زیرا در فیلترهای مذکور از تقسیم امپدانس روی جریان خروجی OTA استفاده می شود.



(ب)

شکل ۷- (ب) فیلتر مربوط به سنتز ۱۲ گراف IVI آن

ورودی های متقارن برای یک فیلتر نردبانی ($R_1=R_2=R$) پیاده سازی ساده ای از $CDTA+$ را فراهم می کند که در شکل (۸) نشان داده شده است. برای پیاده سازی ورودی های غیر متقارن می توان از تقسیم جریان در مقاومت ها استفاده نمود.



شکل ۸- یک شبیه سازی با صرفه از فیلتر نردبانی شکل (۶) با ورودی های متقارن

۳-۳- معکوس کننده های امپدانس مبتنی بر CDTA

معکوس کننده های امپدانس را می توان با یک جفت OTA تحقق بخشید [۳]. قاعده ی مشابهی در مدار شکل (۹-الف) پیاده سازی شده و در شکل (۹-ب) نیز گراف IVI متناظر با آن نشان داده شده است که در آن Z_1 امپدانس موازی با بار می باشد. با بررسی گراف IVI روابط شناخته شده ای برای بدست آوردن امپدانس ورودی و امپدانس وارون گر خواهیم داشت:

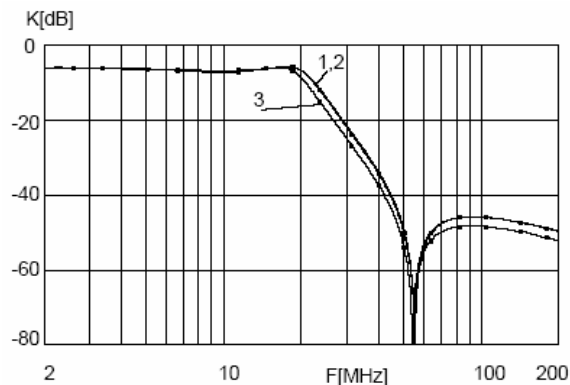
$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{Z_1}{1 + g_1 g_2 Z_1 Z} \xrightarrow{Z_1 \rightarrow \infty} \frac{1}{g_1 g_2 Z}$$

سپاسگذاری

در پایان جا دارد از راهنمایی های راه گشای استاد عزیزمان جناب آقای مهندس فضلعلی پور که ما را در تهیه این مقاله بسیار یاری نموده اند تشکر و قدردانی کنیم.

مراجع

- [1] C. Acar, S. Ozoguz, "A New Versatile Building Block: Current Differencing Buffered Amplifier", Microelectronics Journal 30 (2002), pp.157-160.
- [2] D. Biolek, V. Biolkova, "Modelling and Optimization of Active Filters by Hybrid "VIVMMC"-graphs", Systems and Control: Theory and Applications, World Scientific, Electrical and Computer Engineering Series, 2003, pp.381-386.
- [3] R. Schaumann, M. S. Ghausi, K. R. Laker, "Design of Analog Filters", Prentice Hall, 2004.
- [4] K. Hajek, J. Sedlacek, "A New Second Order Building Block with Minimised Parasitic Transfer Zero Influence", In: ECCTD'99. Stresa, Italy, 2005, pp. 811-814.
- [5] I. Iatzenberg, K. Vrba, D. Biolek, "Bipolar Current Differencing Buffered Amplifiers and its Application", IASTED-SIP2004 Int. Conference, Honolulu, Hawaii, pp. 376-379.



شکل ۱۰- پاسخ فرکانسی فیلتر نردبانی شکل ۶ (۱) و پاسخ شبیه سازی شده ی مبتنی بر CDTA با ساختار گره به گره شکل ۷ (ب) و شکل ۸ (۳)

در شکل (۱۰) نتیجه ی شبیه سازی فیلترهای اکتیو شکل ۷ (ب) و شکل (۸) نشان داده شده است. این فیلترها به صورت یک فیلتر LP کائور^{۱۳} با رپیل 1dB، فرکانس قطع 20MHz و با یک تضعیف در بهره ی 40dB در فرکانس 50MHz طراحی شده اند. فیلتر نردبانی شکل (۶) دارای پارامترهای زیر می باشد:

$$C_1=C_2=151\text{pF}, \quad C_3=11.5\text{pF}, \quad L=719\text{nH}, \\ R_1=R_2=100\Omega$$

بهره ی ادمیتانسی OTA در 10mS تنظیم می گردد.

۵- نتیجه گیری

CDTA پیشنهادی می تواند به سادگی در انتگرال گیرهایی که دارای چند ورودی جریان می باشند، استفاده شود. همچنین به نظر می رسد که در آینده به عنوان بلوک اصلی فیلترهای حالت جریانی نیز معرفی شود.

در حالت ایده ال چنین فیلترهایی تنها از CDTA ها ساخته می شوند که توانایی تبدیل جریان به ولتاژ وابسته به فرکانس را دارند.

مقایسه بین CDTA و CDDBA نشان می دهد که اگر از CDTA در ساختارها استفاده شود، نیازی به مبدل های جریان به ولتاژ و بر عکس نخواهیم داشت.

-
- 1-Current Differencing Buffered Amplifier
 - 2-Current Differencing Transconductance Amplifier
 - 3-Operational Transconductance Amplifier
 - 4-Transconductance
 - 5-Current Conveyors Second Generation
 - 6-Flow Graphs
 - 7-Leapfrog
 - 8-Passive Ladder Filters
 - 9-Immittance
 - 10-Tow-Thomas Biquad Filter
 - 11-Transfer Zero
 - 12-Syntheiz
 - 13-Cauer LP Filter