

## فیلتر یونیورسال تنظیم شونده مد جریان با استفاده از CCCII+

احسان فغفوری

محمد رضا ملک التجاری

باشگاه پژوهشگران جوان تبریز

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

[e\\_faghfoury@yahoo.com](mailto:e_faghfoury@yahoo.com)[m\\_malekoltajari@yahoo.com](mailto:m_malekoltajari@yahoo.com)

چکیده - در این مقاله به بررسی و طراحی فیلتر یونیورسال الکتریکی مد جریانی با استفاده از نوع مثبت نسل دوم حامل های کنترل جریان (CCCII+) و خازنهای زمین شده خواهیم پرداخت. مدار پیشنهاد شده می تواند همزمان عملیات مختلف فیلتری اعم از بالاگذر، میانگذر و پائین گذر را با امپدانس خروجی بالا نشان دهد. برای تحقق پاسخ ناچ به المانهای فعال زیادی نیاز نیست. مدار از کنترل جریان مستقل از پارامترهای  $\omega_0/Q$  و  $\omega_0$  برخوردار است. هیچ عنصر تطبیق دهنده شریطی استفاده نشده و حساسیت اکتیو و پسیو برای دو پارامتر یاد شده پائین می باشد.

کلید واژه- کنترل جریان ، فیلترهای مد جریان

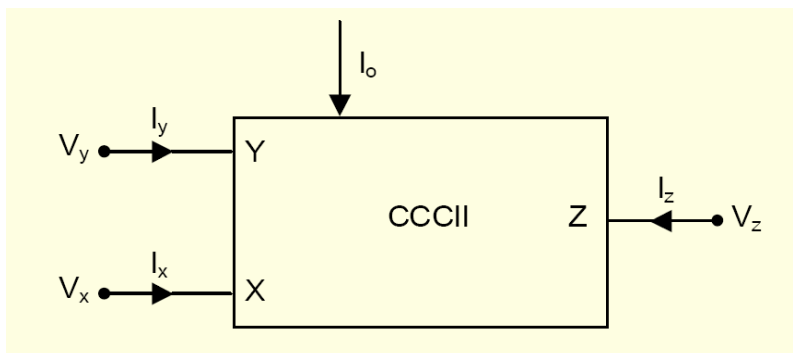
## 1- مقدمه:

های کنترل جریان (CCCII : Second Generation Current Controlled Conveyor) (که توسط Fabre معرفی شد [13])، باعث توسعه کاربرد حامل های جریان به عنوان توابع تنظیم پذیر الکترونیکی شده است و این در حالی است که مدارات ارائه شده در مراجع [9] و [11] از CCCII بهره می گیرند و به دلیل استفاده از هر دو نوع خروجی مثبت و منفی نسل دوم حامل کنترل جریان که شبیه سازی فیلتر را با مشکلات عدیده ای روبرو می سازد، زیاد مورد توجه واقع نشده اند. [14] همچنین تحقق پاسخ های بالا گذر در مراجع [9] و [11]، متناسفانه دارای خروجی امپدانس بالا نیستند. از طرف دیگر مدار ارائه شده در مرجع [12]، اگرچه دارای تمامی پاسخهای بالاگذر و میانگذر و پائین گذر در خروجی امپدانس بالا هستند ولی به خاطر استفاده از هر دو نوع مثبت و منفی نسل دوم حامل کنترل جریان در ساختار فیلتر، باز دچار مشکل هستند. در این مقاله ما در مدار ارائه شده در مرجع [12]، تغییراتی را با استفاده از نوع مثبت نسل دوم حامل کنترل جریان که در پیاده سازی مدارات مجتمع بسیار مزیت دارند، ایجاد کردیم تا یک فیلتر یونیورسال کنترل جریان - مد جریان - را پیشنهاد کنیم.

فیلترهای مد جریانی که با استفاده از نسل دوم حامل جریان (CCII : Second Generation Current Conveyor) تحقق یافته اند، به علت پهنای باند بالا، خطی بودن عملکرد و محدوده دینامیکی وسیع آنها در مقایسه با تقویت کننده های عملیاتی مشابه خود [1]، شدیداً مورد توجه واقع شده اند. بر این اساس تعداد زیادی از فیلترهای مد جریان یونیورسال بر اساس CCII تا به حال ارائه شده است. [2]، [12]

فیلترهای یونیورسال قادر هستند که بایک توپولوژی بیش از یک عملیات فیلتری را بطور همزمان انجام دهند. توپولوژیهای ارائه شده را می توان از نظر تعداد عناصر اکتیو و پسیو (Active & Passive) (زمین شده یا شناور)، تعداد عملیات همزمان و امکان تحقق عملیات فیلتری مختلف (البته با ایجاد یک تغییر جزئی در مدار)، دسته بندی کرد بصورتیکه فاکتورهای کیفیت، حساسیت های اکتیو و پسیو و امپدانس خروجی تغییر نکنند. از نظر تئوری امپدانس خروجی فیلتر مد جریان بالا می باشد.

بیشتر مدارهایی که در مراجع [2]، [8] ارائه شده اند فاقد تنظیمات الکترونیکی هستند. استفاده از نسل دوم حامل



شکل 1: نمای ظاهری یک CCCII

در مدار شکل (2) اگر  $I_{O5}$  را زیاد کنیم پنجمین CCCII به عنوان CCII عمل می کند که در این حالت  $R_{X5}$  کم خواهد بود  $R_{X5}$  مقاومت ورودی در ترمینال X حامل جریان (است).

روابط انتقالی مدار پیشنهاد شده بصورت زیر داده می شود :

$$\frac{I_{LP}}{I_{in}} = \frac{\frac{\alpha_1 \alpha_2}{R_{x1} C_1 C_2 (R_{x2} + R_{x3})}}{S^2 + \frac{R_{x1} + R_{x4}}{R_{x1} R_{x4} C_1} S + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{R_{x1} C_1 C_2 (R_{x2} + R_{x3})}} \quad (3)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{in}} = \frac{-\frac{\alpha_4}{R_{x4} C_1} S}{S^2 + \frac{R_{x1} + R_{x4}}{R_{x1} R_{x4} C_1} S + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{R_{x1} C_1 C_2 (R_{x2} + R_{x3})}} \quad (4)$$

$$\frac{I_{HP}}{I_{in}} = \frac{\frac{\alpha_5 C_3}{C_1} S^2}{S^2 + \frac{R_{x1} + R_{x4}}{R_{x1} R_{x4} C_1} S + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{R_{x1} C_1 C_2 (R_{x2} + R_{x3})}} \quad (5)$$

که  $R_{xi}$  و  $\alpha_i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) به ترتیب مقاومتهای ورودی ترمینال X و خطای تعقیب جریان i امین CCCII است.

بنابراین، این فیلتر قادر است بطور همزمان پاسخ های بالاگذر، پائین گذر و میانگذر را تحقق بخشد. از روابط (3)، (4) و (5) می توان مشاهده کرد که بهره پاسخ بالاگذر، میانگذر و پائین گذر بصورت زیر خواهد بود :

$$G_{BP} = \frac{-\alpha_4 R_{x1}}{R_{x1} + R_{x4}} \text{ و } G_{LP} = \frac{\alpha_3}{\alpha_2} \quad (6)$$

$$G_{HP} = \frac{\alpha_5 C_3}{C_1} \text{ و}$$

با مدار پیشنهاد شده می توان به طور همزمان عملیات فیلتری پایین گذر، میانگذر و بالاگذر را البته با امپدانس خروجی بالا تحقق بخشید. در تحقق یک تابع ناچ (Notch function : bandpass reject) نیاز به حامل های جریان اضافی نخواهیم داشت. به سادگی می توان با اتصال مناسب گره ها، این تابع را تحقق بخشید. در این مدار، کنترل جریان مستقل از پارامترهای  $\omega_0/Q$  و  $\omega_0$  است.

## 2- مدار پیشنهاد شده :

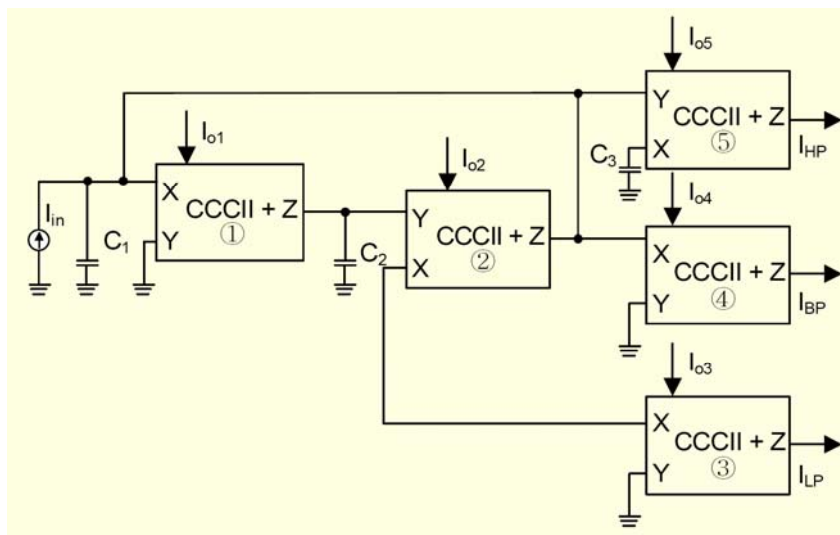
روابط ترمینال های CCCII همانگونه که در (شکل 1) نشان داده شده، بصورت زیر تشریح می شود:

$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_x & 0 \\ 0 & \pm \alpha & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

که علامت مثبت، حامل کنترل جریان مثبت (CCCII+)، علامت منفی، حامل کنترل جریان منفی (CCCII-) و  $\alpha = 1 - \lambda$  (که  $|\lambda| < 1$ ) خطای تعقیب جریان (Current Tracking Error) را نشان می دهد و :

$$R_x = \frac{V_T}{2I_0} \quad (2)$$

$R_x$  مقاومت ورودی ترمینال X است،  $V_T$  ولتاژ ترمینال  $I_0$  جریان بایاس CCCII است. فیلتر یونیورسال پیشنهاد شده از پنج CCCII+ و سه خازن زمین شده ساخته شده است (شکل 2). کاربرد خازنها خصوصاً برای پیاده سازی مدارات مجتمع بسیار قابل توجه است. [15]



شکل 2: بلوک دیاگرام فیلتر یونیورسال پیشنهاد شده بر اساس CCCII

تحلیل حساسیت نشان می دهد که :

$$S_{R_{x1}}^{\omega_0} = S_{C_1}^{\omega_0} = S_{C_2}^{\omega_0} = -S_{I_{o1}}^{\omega_0} = -S_{\alpha_1}^{\omega_0} = -S_{\alpha_2}^{\omega_0} = -1/2$$

$$S_{R_{x4}}^{\omega_0} = S_{C_3}^{\omega_0} = S_{\alpha_3}^{\omega_0} = S_{\alpha_4}^{\omega_0} = S_{\alpha_5}^{\omega_0}$$

$$= S_{R_{x2}}^{\omega_0/Q} = S_{R_{x3}}^{\omega_0/Q} = S_{C_2}^{\omega_0/Q} = S_{C_3}^{\omega_0/Q} = 0$$

$$S_{\alpha_1}^{\omega_0/Q} = S_{\alpha_2}^{\omega_0/Q} = S_{\alpha_3}^{\omega_0/Q} = S_{\alpha_4}^{\omega_0/Q} = S_{\alpha_5}^{\omega_0/Q} = 0$$

$$S_{R_{x2}}^{\omega_0} = -S_{I_{o2}}^{\omega_0} = -\frac{R_{x2}}{2(R_{x2} + R_{x3})}$$

$$S_{R_{x3}}^{\omega_0} = -S_{I_{o3}}^{\omega_0} = -\frac{R_{x3}}{2(R_{x2} + R_{x3})}$$

$$S_{R_{x1}}^{\omega_0/Q} = -S_{I_{o1}}^{\omega_0/Q} = -\frac{R_{x4}}{2(R_{x1} + R_{x4})}$$

$$S_{R_{x4}}^{\omega_0/Q} = -S_{I_{o4}}^{\omega_0/Q} = -\frac{R_{x1}}{2(R_{x1} + R_{x4})}$$

بنابراین تمامی حساسیت های پسیو و اکتیو پائین هستند.

### 3- نتایج شبیه سازی :

برای بررسی صحت تجزیه و تحلیل نظری، مدار پیشنهادی در شکل (2) را با استفاده از Hspice شبیه سازی کردیم. همینطور CCCII+ را با استفاده از نمای شماتیکی که در شکل (3) نشان داده شده شبیه سازی نموده و با استفاده از یک منبع تغذیه ولتاژ  $\pm 2.5V$  پیاده سازی کردیم. در پیاده سازی CCCII+ از ترانزیستورهای NPN و PNP با

با اضافه کردن جریان های خروجی  $I_{HP}$  و  $I_{LP}$  و به ازای  $C_1 = C_3$  می توان یک فیلتر ناچ قابل تنظیم را به وجود آورد. با توجه به اینکه صفر و قطب ها می توانند مقادیر مختلفی داشته باشند بنابراین فیلتر های ناچ پائین گذر و ناچ بالا گذر را به ترتیب با شرایط  $C_1 < C_3$  و  $C_1 > C_3$  می توان بدست آورد. پارامترهای  $\omega_0/Q$  و  $\omega_0$  را به صورت زیر می توان به دست می آیند:

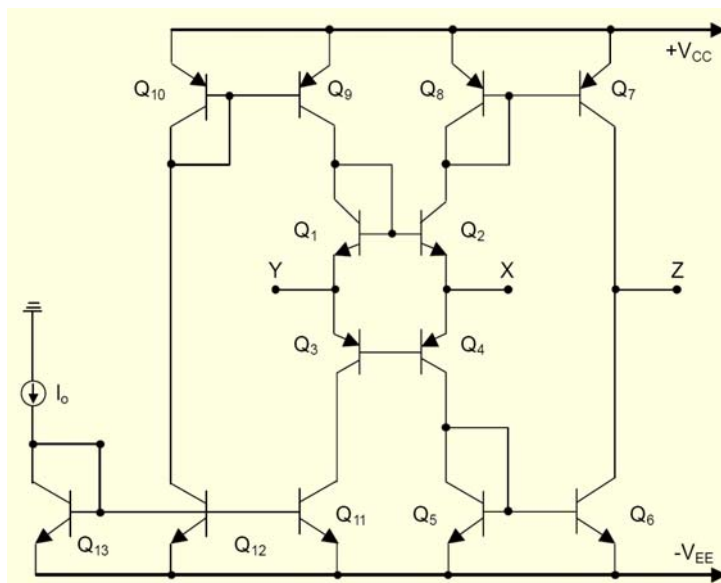
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \alpha_2}{R_{x1} C_1 C_2 (R_{x2} + R_{x3})}} \quad (7)$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{R_{x1} + R_{x4}}{R_{x1} R_{x4} C_1} \quad (8)$$

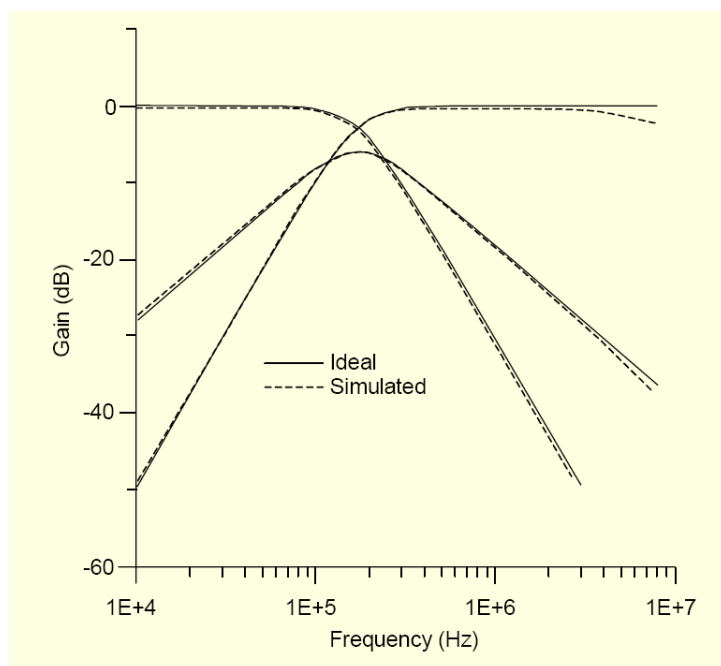
از روابط (2) و (7) و (8) مشاهده می کنیم که  $\omega_0$  بوسیله تطبیق جریان بایاس  $I_{o2}$  یا  $I_{o3}$  بدون بهم زدن پارامتر  $\omega_0/Q$  کنترل می شود. علاوه بر این، پارامتر  $\omega_0/Q$  با تطبیق جریان بایاس  $I_{o4}$ ، بدون بر هم زدن پارامتر  $\omega_0$  کنترل می شود.

خازن  $C_3$  و مقاومت ورودی  $R_{x5}$  در ترمینال X پنجمین CCCII، در قطب موثر، پاسخ بالاگذر را نتیجه می دهند که این هم رنج فرکانس فیلتر را محدود می کند. ماکزیمم فرکانس عملیاتی فیلتر بصورت زیر محاسبه می شود :

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi R_{x5} C_3} \quad (9)$$



شکل 3: تحقق مدار یک CCCII+



شکل 4: پاسخ های مدار در حالت ایده آل و شبیه سازی شده برای پائین گذر، میان گذر و بالاگذر

$$I_{O1} = I_{O4} = 10\mu A \quad I_{O2} = I_{O3} = 40\mu A \quad I_{O5} = 600\mu A$$

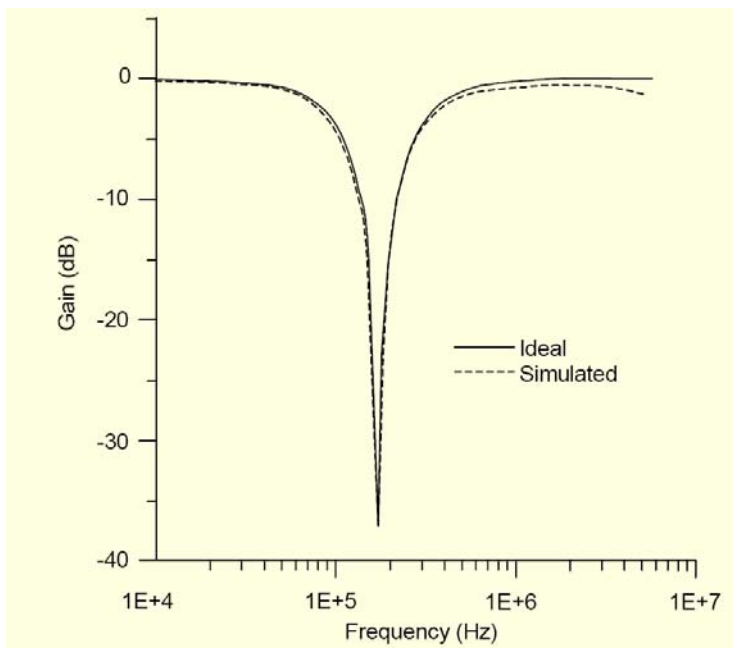
$$C_1 = C_2 = C_3 = 1nF$$

شکل (5) پاسخ فیلتر ناچ را با همان مقادیر نشان می دهد. نتایج شبیه سازی کاملاً مشابه نتایج تحلیل نظری است. تفاوتی که در ناحیه فرکانس بالای پاسخ بالاگذر مشاهده می شود، ناشی از صفر نبودن مقاومت  $R_{x5}$  است.

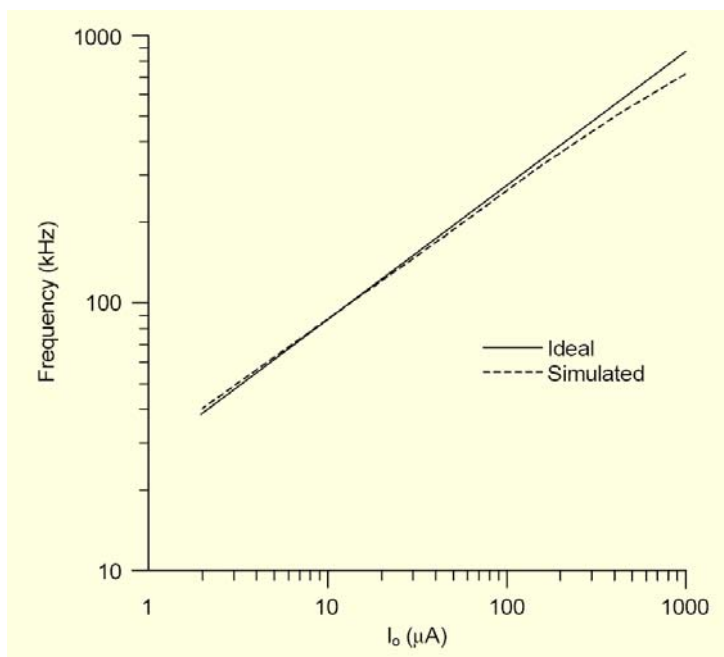
پارامترهای دوقطبی PR100N و NR100N و همینطور از مقادیر زیر استفاده شد تا پاسخ پائین گذر، میان گذر و بالا گذر ( که در شکل (4) نشان داده شده است)، بدست آید. [16]

$$f_o = 1731.1 \text{ KHz}$$

$$\text{Pole - quality factor of } Q = 0.707$$



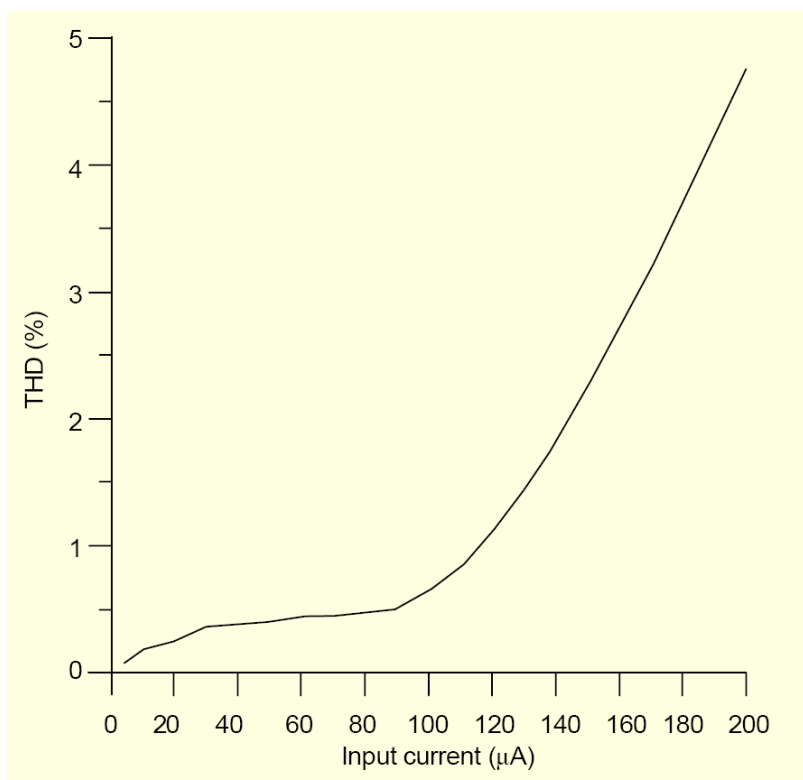
شکل 5: پاسخ ناچ در حالت ایده آل و شبیه سازی شده



شکل 6: تغییرات فرکانس طبیعی  $f_0$  با جریان بایاس  $I_{o2} = I_{o3} = I_o$  در فیلتر میان گذر

وابستگی اعوجاج هارمونیکهای خروجی پاسخ میانگذر به دامنه سیگنال ورودی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در شکل (7) نشان داده شده است.

تغییرات فرکانس طبیعی  $f_0$  برحسب جریان بایاس  $I_{o3} = I_{o2} = I_o$  برای پاسخ میانگذر در شکل (6) نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که مدار رنج تنظیم بالایی دارد. برای مطالعه رفتار مدار در حالت سیگنال بزرگ،



شکل 7: وابستگی اعوجاج هارمونیک خروجی فیلتر میان گذرنسبت به دامنه سیگنال ورودی

جدول 1) وابستگی جریان خروجی فیلتر میان گذر به بار مقاومتی  $R_L$  برای سیگنال ورودی با دامنه  $I_{in(peak)} = 50\mu A$  و فرکانس  $f = 173.1\text{KHz}$

$R_L$	$I_{out(peak)}$	THD(%)
$100\Omega$	$24.88\mu A$	0.82
$1k\Omega$	$24.85\mu A$	0.8
$10k\Omega$	$24.73\mu A$	0.75
$50k\Omega$	$23.88\mu A$	0.59
$100k\Omega$	$22.16\mu A$	1.11
$120k\Omega$	$19.9\mu A$	2.5

$$V_{out} = I_{out} \times R_L \quad (10)$$

توجه داشته باشید که مدار حتی در فرکانس  $f=173.1\text{KHz}$  که در آن اعوجاج هارمونیک در محدوده قابل قبولی باقی می ماند، ولتاژ خروجی بیشتر از  $V_{out} = 19.9\mu A \times 120k\Omega = 2.38V$  تولید خواهد کرد. توان مصرفی مدار  $17.1\text{ mW}$  است.

در شکل (7) می توان مشاهده کرد که اگر سیگنال ورودی زیاد شود (بیش از  $150\mu A$ )، اعوجاج هارمونیک بسرعت در CCCII مورد نظر زیاد می شود. برای سیگنالهای ورودی کمتر از  $150\mu A$  اعوجاج هارمونیک کل در حدود  $THD = 2.5\%$  (که قابل قبول است)، بدست می آید. نتایج نشان می دهند که مدار حتی در سیگنالهای بزرگتر از  $150\mu A$  هم بسیار خوب کار می کند.

وابستگی جریان خروجی فیلتر به مقاومت بار  $R_L$  در سیگنال ورودی  $I_{in(peak)} = 50\mu A$  و فرکانس سیگنال  $f = 173.1\text{ KHz}$  برای پاسخ میان گذر شبیه سازی شده است. نتایج در جدول 1 آمده است.

از جدول 1 می توان به راحتی مشاهده کرد که مقدار جریان خروجی بدون وابستگی به مقدار مقاومت بار ثابت باقی می ماند. هنگامی که CCCII در ناحیه خطی عمل می کند با افزایش مقاومت بار ولتاژ خروجی نیز به صورت خطی افزایش می یابد.

#### 4- نتیجه

ما یک فیلتر جدید یونیورسال کنترل جریان یا مد جریان با یک ورودی و سه خروجی پیشنهاد دادیم. در مدار پیشنهاد شده از حامل کنترل جریان استفاده شده است که این مدار مزایای زیر را دارا است:

- 1- فقط از نوع مثبت حامل کنترل جریان استفاده می کند.

- 2- تحقق همزمان عملیات فیلتری پائین گذر، میانگذر و بالاگذر بودن بدون تغییر در توپولوژی مدار.
- 3- تحقق پاسخ ناچ بدون نیاز به المانهای اکتیو اضافی.
- 4- کنترل جریان مستقل از پارامترهای  $\omega_0$  و  $Q/\omega_0$ .
- 5- استفاده از خازنهای زمین شده برای ترکیب و مجتمع سازی.
- 6- حساسیتهای پائین با توجه به اکتیو و پسیو بودن عناصر.

#### مراجع :

- [1] G.W. Roberts and A.S. Sedra, "All Current-Mode Frequency Selective Circuits," *Electronics Lett.*, vol. 25, 1989, pp. 759-761.
- [2] C.M. Chang, "Universal Active Current Filter with Single Input and Three Outputs Using CCIIs," *Electronics Lett.*, vol. 29, 1993, pp. 1932-1933.
- [3] C.M. Chang, "Novel Universal Current-Mode Filter with Single Input and Three Outputs Using Only Five Current Conveyors," *Electronics Lett.*, vol. 29, 1993, pp. 2005-2007.
- [4] A. Fabre and M. Alami, "Universal Current Mode Biquad Implemented from Two Second Generation Current conveyors," *IEEE Trans. Circuits Syst. -I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 42, 1995, pp. 383-385.
- [5] S. Özoğuz and C. Acar, "Universal Current-Mode Filter with Reduced Number of Active and Passive Components," *Electronics Lett.*, vol. 33, 1997, pp. 948-949.
- [6] S. Özoğuz, A. Toker, and O. Çiçekoğlu, "New Current-Mode Universal Filters Using Only Four (CCII+)'s," *Microelectronics J.*, vol. 30, 1999, pp. 255-258.
- [7] R. Senani, "A Simple Approach of Deriving Single-Input Multiple-Output Current-Mode Biquad Filters," *Frequenz*, vol. 50, 1996, pp. 124-127.
- [8] R. Senani, "New Current-Mode Biquad Filter," *Int'l J. Electronics*, vol. 73, 1992, pp. 735-742.
- [9] M.T. Abuelma'atti and N.A. Tasadduq "New Current-Mode Current-Controlled Filters Using the Current-Controlled Conveyor," *Int'l J. Electronics*, vol. 85, 1998, pp. 483-488.
- [10] M.T. Abuelma'atti and N.A. Tasadduq "Universal Current-Controlled Current-Mode Filter Using the Multiple-Output Translinear Current Conveyor," *Frequenz*, vol. 52, 1998, pp. 252-254.
- [11] M.T. Abuelma'atti and N.A. Tasadduq "A Novel Single-Input Multiple-Output Current-Mode Current-Controlled Universal Filter," *Microelectronics J.*, vol. 29, 1998, pp. 901-905.
- [12] S. Minaei and S. Türköz "New Current-Mode Current-Controlled Universal Filter with Single Input and Three Outputs," *Int'l J. Electronics*, vol. 88, 2001, pp. 333-337.
- [13] A. Fabre, O. Saaïd, F. Wiest, and C. Boucheron "Current Controlled Bandpass Filter Based on Translinear Conveyors," *Electronics Lett.*, vol. 31, 1995, pp. 1727-1728.
- [14] M. Higashimura and Y. Fukui "Universal Filter Using Plus-Type CCIIs," *Electronics Lett.*, vol. 32, 1996, pp. 810-811.
- [15] K. Pal and R. Singh "Inductorless Current Conveyor Allpass Filter Using Grounded Capacitors," *Electronics Lett.*, vol. 18, 1982, p. 47.
- [16] D.R. Frey "Log-Domain Filtering: an Approach to Current-Mode Filtering," *IEE Proc. -G, Circuits, Devices and Systems*, vol. 140, 1993, pp. 406-416.