

# سیستمهای رابط ورودی - خروجی دیفرانسیل و منفصل از زمین

دکتر محمد ربیعی

استاد دانشگاه پاریس

چکیده:

در این مقاله یک ترکیب منبع جریانی از یک سیستم رابط ورودی - خروجی دیفرانسیل منفصل از زمین ارائه و تحت بررسی قرار گرفته است. این سیستم توسط دو ضریب حذف سیگنال مشترک شناخته می‌شود:  $(CMRR)_{in}$  و  $(CMRR)_{out}$ . یک تقویت کننده عملیاتی MOS از نوع هایبرید و یک طرح CMOS به صورت مدار مجتمع نیز در این مقاله ارائه گردیده‌اند.

## Differential Input - Differential Output Floating Interface

Mohammad Rabii, Ph.D.

Professor of Electrical Eng. Dept.  
Paris 6 University - France

### ABSTRACT

*A current - sources configuration of a differential input - differential output floating interface system is presented and analysed. This system is characterized by two common mode rejection ratios:  $(CMRR)_{in}$  and  $(CMRR)_{out}$ . An hybrid MOS/Op. Amp. and a CMOS integrated designs are also presented.*

(۱) مقدمه

زمین بوده و در عین حال دارای پهنای باند فرکانسی بسیار وسیعی که تا فرکانس صفر (سیگنال پیوسته) نیز امتداد دارد، می‌باشد. به منظور جدا کردن خروجیها از ورودیها، سیستمهای یکپارچه‌ای به صورت Isolation Amplifiers طرح ریزی شده‌اند [۱-۲] که اصول کار آنها بر مبنای ارتباط نوری (Optocouplers) و یا استفاده از ترانسفورماتور فرکانس بالا می‌باشد (شکل شماره ۲).

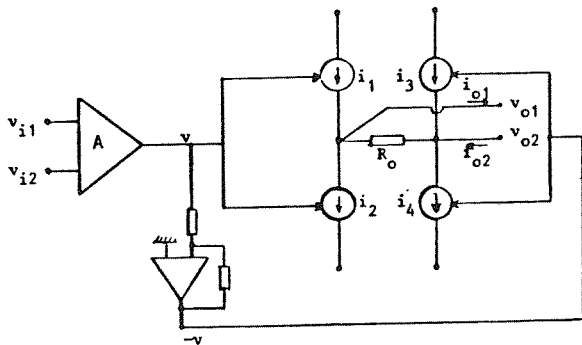
در این مقاله اصول سیستمهای الکترونیکی با ورودی و خروجی دیفرانسیل منفصل از زمین و امکانات طراحی در قالب مدارهای یکپارچه (IC) مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در سیستمهای اندازه‌گیری و یا کنترل کمیت‌های فیزیکی غالباً لازم است که اتصال مابین مبدلها (۱) و پروسسورهای آنالوگ یا دیجیتال به وسیله مدارهای رابطی (۲) از نوع ورودی-خروجی دیفرانسیل صورت گیرد. چنین طرحی که به صورت عمومی شکل (۱) معرفی می‌شود، شامل دو ورودی  $V_{i1}$ ،  $V_{i2}$  و دو خروجی  $V_{o1}$ ،  $V_{o2}$  همگی منفصل از زمین و یا به عبارت دیگر با امپدانس بسیار بالا نسبت به زمین می‌باشند، به نحوی که

$$V_{o1} - V_{o2} = V_o = G_d(V_{i1} - V_{i2}) = G_d V_i$$

این مدار بدین ترتیب مشابه ترانسفورماتوری است که اتصالات اولیه و ثانویه آن کاملاً مجزا از یکدیگر و منفصل از

یک از ورودیها نسبت به زمین و همچنین امپدانس دیفرانسیل بین دو ورودی مقادیر بسیار بالایی دارند. خروجی این مدار (به صورت  $v$  و  $-v$ ) منابع جریان  $i_1, i_2, i_3$  و  $i_4$  را کنترل می نمایند. بدین ترتیب امپدانس خروجیهای دیفرانسیل  $V_{o2}, V_{o1}$  نیز نسبت به زمین بسیار بالا بوده در حالی که امپدانس دیفرانسیل خروجی  $R_o$  می تواند بسیار ضعیف اختیار شود.



شکل ۳- طرح کلی سیستم با ورودیهای  $V_{i1}, V_{i2}$  و خروجیهای  $V_{o1}, V_{o2}$

۲-ب) محاسبه مشخصه های ورودی و خروجی چنانچه  $G_{oc}$  و  $G_{od}$  به ترتیب بهره ولتاژ دیفرانسیل و بهره ولتاژ مشترک مدار  $A$  باشد، داریم:

$$V = G_{od}(V_{i1} - V_{i2}) + G_{oc}(V_{i1} + V_{i2}) / 2 \quad (1)$$

سیگنال  $V$  جریانهای  $i_1, i_2$  و سیگنال  $-V$  جریانهای  $i_3$  و  $i_4$  را کنترل می نمایند به طوری که:

$$i_1 = I_o + K_1 V$$

$$i_2 = I_o - K_2 V \quad (2)$$

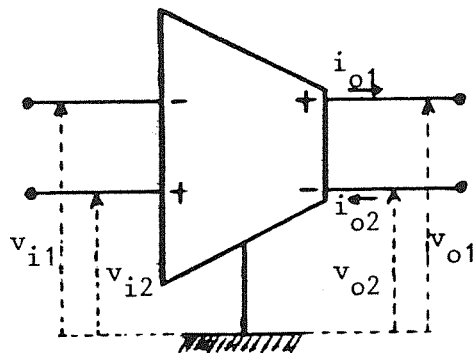
$$i_3 = I_o - K_3 V$$

$$i_4 = I_o + K_4 V$$

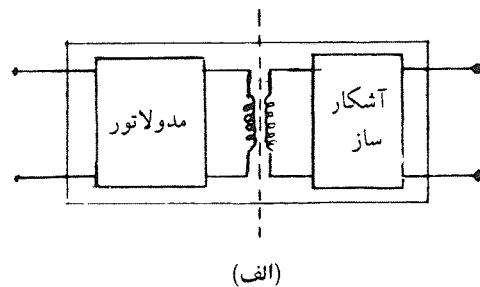
در حالت تقارن کامل سیستم، یعنی در شرایط مطلوبی که منابع جریان کاملاً یکسان و ولتاژهای فرمان دقیقاً به صورت  $v, -v$  باشند، داریم:

$$K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = K$$

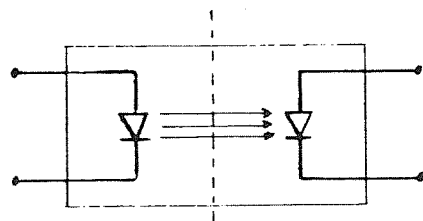
در حالت کلی، سیگنالهای خروجی  $V_{o1}, V_{o2}$  را میتوان به صورت زیر بیان نمود:



شکل ۱- نمای عمومی یک سیستم ورودی - خروجی دیفرانسیل منفصل از زمین



(الف)



(ب)

شکل ۲- جداسازی ورودی و خروجی: استفاده از ترانسفورماتور فرکانس بالا (الف) - ارتباط نوری (ب)

## ۲) اصول سیستمهای رابط ورودی - خروجی دیفرانسیل

۲-الف) شکل شماره (۳) اصول کلی چنین سیستمی را نشان می دهد. قسمت  $A$  یک Instrumentation Amplifier استاندارد با ورودی دیفرانسیل است، به نحوی که امپدانس هر

۲-ج) ضرائب مشخصه سیستم ورودی - خروجی دیفرانسیل با توجه به روابط (۴)، ضرائب اصلی چنین سیستمی بشرح زیر خواهند بود:

$$G_d = \left[ \frac{V_{o1} - V_{o2}}{2V_i} \right] \begin{matrix} v_{i1} = -v_{i2} = v_i \\ i_{o1} = i_{o2} = 0 \end{matrix}$$

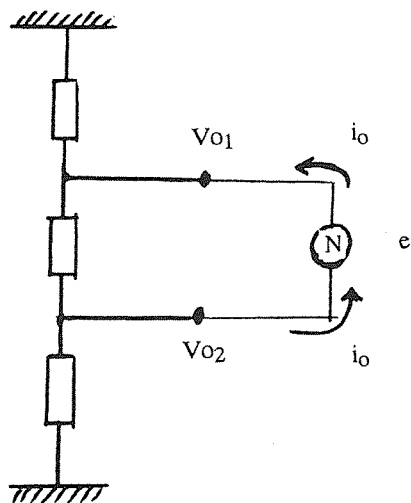
بهره ولتاژ مشترک (خروجیها باز):

$$G_c = \left[ \frac{V_{o1} - V_{o2}}{2V_i} \right] \begin{matrix} v_{i1} = v_{i2} = v_i \\ i_{o1} = i_{o2} = 0 \end{matrix}$$

مقاومت دیفرانسیل خروجی (با ورودیها اتصال کوتاه به زمین):

$$R_d = \left[ \frac{V_{o1} - V_{o2}}{i_o} \right] \begin{matrix} v_{i1} = v_{i2} = 0 \\ i_{o1} = i_{o2} = -i_o \end{matrix}$$

در شرایطی که  $v_{i1} = v_{i2} = 0$  باشند، کلیه منابع جریان یا ولتاژ وابسته در مدار حذف شده و خروجی صورت عمومی زیر را خواهد داشت:



(e منبع ولتاژ خارجی منفصل از زمین)

شکل ۴

$$\alpha = \left[ \frac{V_{o1} - V_{o2}}{i_o} \right] \begin{matrix} v_{i1} = v_{i2} = 0 \\ i_{o1} = -i_{o2} = i_o \end{matrix}$$

$$V_{o1} = \frac{G(i_1 - i_2 + i_3 - i_4 - i_{o1} + i_{o2}) + (g_3 + g_4)(i_1 - i_2 - i_{o1})}{D} \quad (3)$$

$$V_{o2} = \frac{G(i_1 - i_2 + i_3 - i_4 - i_{o1} + i_{o2}) + (g_1 + g_2)(i_3 - i_4 + i_{o2})}{D}$$

که در آن  $G = 1/R_o$ ،  $g_4, g_3, g_2, g_1$  به ترتیب برابر معکوس مقاومتهای معادل منابع جریان خروجی  $i_4, i_3, i_2, i_1$  و  $D = G(g_1 + g_2 + g_3 + g_4) + (g_1 + g_2)(g_3 + g_4)$  می باشد.

با توجه به روابط (۱) و (۲) و (۳)، سیگنال دیفرانسیل خروجی  $(V_{o1} - V_{o2})$  و سیگنال مشترک خروجی  $(V_{o1} + V_{o2})/2$  را می توان به صورت توابعی از  $(V_{i1} - V_{i2})/2$ ،  $(V_{i1} + V_{i2})/2$ ،  $(i_{o1} - i_{o2})/2$  و  $(i_{o1} + i_{o2})/2$  تعریف نمود:

$$V_{o1} - V_{o2} = G_d (V_{i1} - V_{i2}) + G_c (V_{i1} + V_{i2})/2 \quad (4)$$

$$-R_d (i_{o1} + i_{o2})/2 + \alpha (i_{o1} - i_{o2})$$

$$(V_{o1} + V_{o2})/2 = G'_d (V_{i1} - V_{i2}) + G'_c (v_{i1} + v_{i2})/2$$

$$+ \alpha' (i_{o1} + i_{o2})/2 - R_m (i_{o1} - i_{o2})$$

سیستم فوق بدین ترتیب با هشت پارامتر اصلی زیر مشخص می گردد [۳].

$$G_d = \frac{G_{od}}{D} [(g_1 + g_2)(K_3 + K_4) + (g_3 + g_4)(K_1 + K_2)]$$

$$G_c = \frac{G_{oc}}{D} [(g_1 + g_2)(K_3 + K_4) + (g_3 + g_4)(k_1 + k_2)]$$

$$R_d = \frac{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}{D}$$

$$\alpha = \frac{(g_1 + g_2) - (g_3 + g_4)}{2D} \quad (5)$$

$$G'_d = \frac{G_{od}}{D} [(G + \frac{g_3 + g_4}{2})(K_1 + K_2)$$

$$- (G + \frac{g_1 + g_2}{2})(K_3 + K_4)]$$

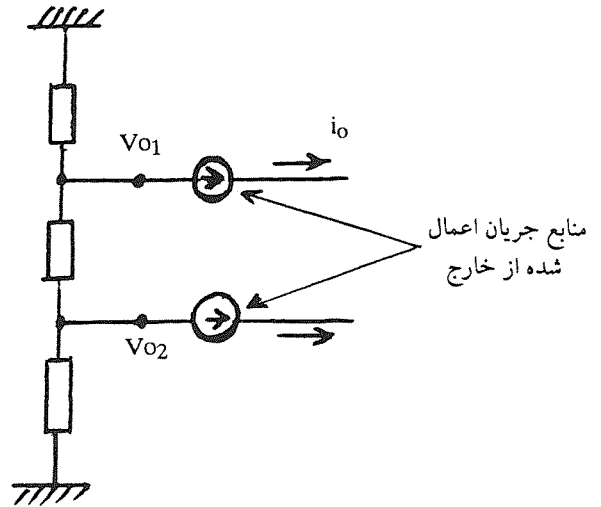
$$G'_c = \frac{G_{oc}}{D} [(G + \frac{g_3 + g_4}{2})$$

$$(K_1 + K_2) - (G + \frac{g_1 + g_2}{2})(K_3 + K_4)]$$

$$\alpha' = \frac{g_1 + g_2 - (g_3 + g_4)}{2D} = \alpha$$

$$R_m = \frac{G}{D} + \frac{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}{4D}$$

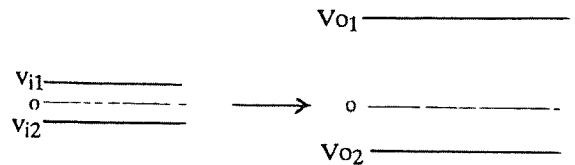
مطابق شکل زیر، پارامتر  $\alpha$  عدم تقارن امپدانس خروجیها نسبت به زمین را نشان می‌دهد.



شکل ۵

$$G'_d = \left[ \frac{(V_{o1} + V_{o2})/2}{2V_i} \right] \begin{matrix} V_{i1} = -V_{i2} = V_i \\ i_{o1} = i_{o2} = 0 \end{matrix}$$

ضریب  $G'_d$ ، مطابق شکل زیر، عدم تقارن ولتاژهای خروجی را هنگامیکه ورودیها متقارن باشند نشان می‌دهد.

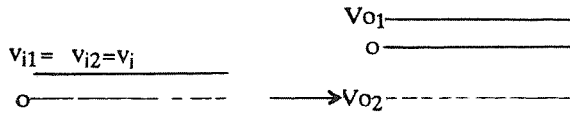


شکل ۶

$$G'_c = \left[ \frac{(V_{o1} + V_{o2})/2}{V_i} \right] \begin{matrix} V_{i1} = V_{i2} = V_i \\ i_{o1} = i_{o2} = 0 \end{matrix}$$

ضریب  $G'_c$ ، میانگین ولتاژهای خروجی نسبت به زمین را هنگامیکه ورودیها یکسان باشند نشان می‌دهد (شکل ۷).

$$\alpha' = \left[ \frac{(V_{o1} + V_{o2})/2}{-i_o} \right] \begin{matrix} V_{i1} = V_{i2} = 0 \\ i_{o1} = i_{o2} = -i_o \end{matrix}$$



شکل ۷

ضریب  $\alpha'$  میانگین ولتاژهای خروجی نسبت به زمین را نشان می‌دهد در شرایطی که ورودیها اتصال کوتاه به زمین شده و منبع خارجی  $e$  مطابق شکل (۴) در خروجی برقرار شده باشد.

$$R_m = \left[ \frac{(V_{o1} + V_{o2})/2}{i_o} \right] \begin{matrix} V_{i1} = V_{i2} = 0 \\ i_{o1} = -i_{o2} = i_o \end{matrix}$$

بر مبنای شکل (۵)،  $R_m$  امپدانس متوسط خروجیها نسبت به زمین و یا میزان انفصال از زمین را نشان می‌دهد. بر مبنای نتایج فوق، ضریب حذف سیگنال مشترک ورودی (۳) خواهد بود:

$$(CMRR)_{in} = G_d/G_c = G_{od}/G_{oc} = (CMRR)_A \quad (۶)$$

در حالیکه ضریب حذف سیگنال مشترک (۴) خروجی نوشته می‌شود:

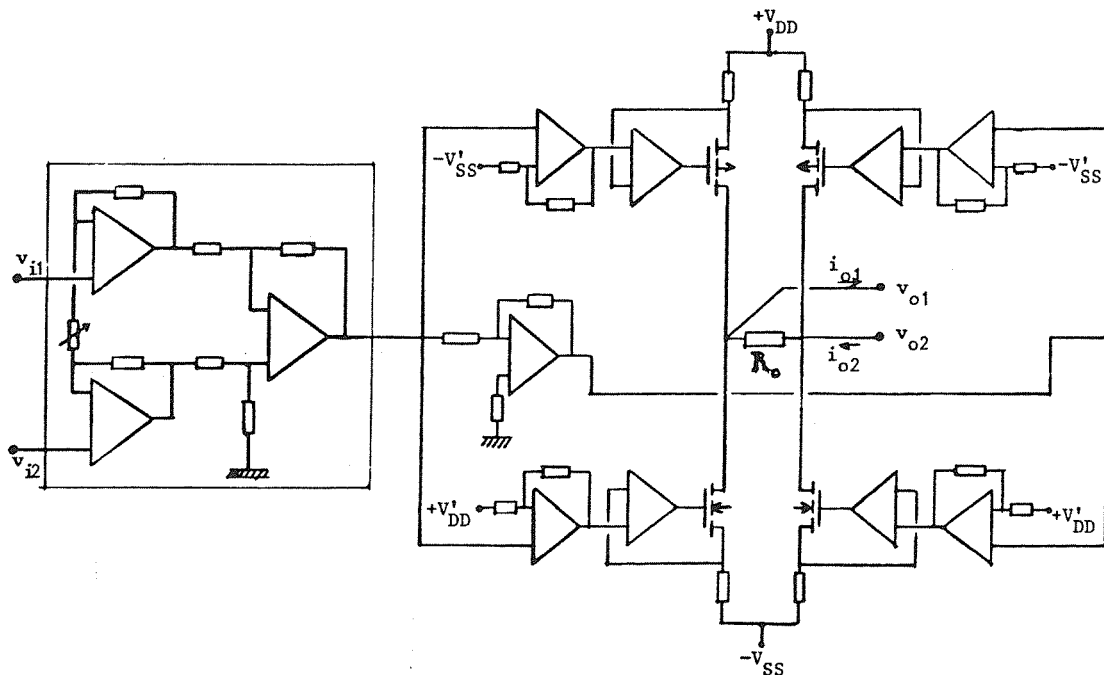
$$(CMRR)_{out} = \left( \frac{\text{سیگنال مشترک خروجی}}{\text{سیگنال دیفرانسیل خروجی}} \right) = R_m/R_d \quad (۷)$$

ورودیها متصل به زمین و  
خروجی  $V_{o2}$  باز ( $i_{o2} = 0$ )

مشخصه  $(CMRR)_{out}$  را می‌توان به صورت "ضریب عدم وابستگی ولتاژ دیفرانسیل خروجی به ولتاژ مشترک خروجی" تعریف نمود.

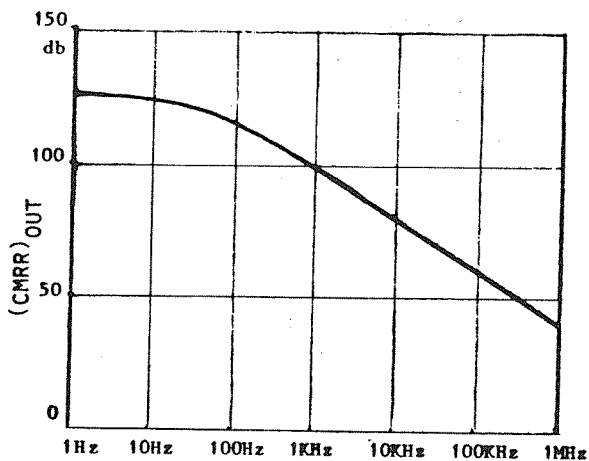
۳) طراحی سیستم به کمک تقویت‌کننده‌های عملیاتی و ترازبستورهای MOS

شکل شماره (۸) یک نمونه از طراحی چنین سیستمی را نشان می‌دهد. از آنجا که امپدانس معادل منابع جریان خروجی حاصل از MOS در فرکانسهای پایین بیش از  $1000 \text{ M}\Omega$  است، داریم  $g \ll G = \frac{1}{R_o}$  و لذا مشخصه‌های اصلی سیستم به صورت زیر قابل بیان می‌باشند:



شکل ۸ - طراحی سیستم به کمک تقویت کننده‌های عملیاتی و ترانزیستورهای VMOS

را نشان می‌دهد.



شکل ۹ - مشخصه  $(CMRR)_{out}$  بر حسب فرکانس

مربوط به سیستم شکل (۸)

$$(CMRR)_{in} = \frac{G_{od}}{G_{oc}} = (CMRR)_A$$

$$(CMRR)_{out} = \frac{G}{(g_1 + g_2 + g_3 + g_4)} \quad (A)$$

$$R_d = R_o$$

$$R_m = \frac{1}{(g_1 + g_2 + g_3 + g_4)}$$

مشخصه‌های نهایی حاصله به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

$$G_d > 60 \text{ db} \text{ بهره ولتاژ دیفرانسیل}$$

$$(CMRR)_{in} \approx 100 \text{ db}$$

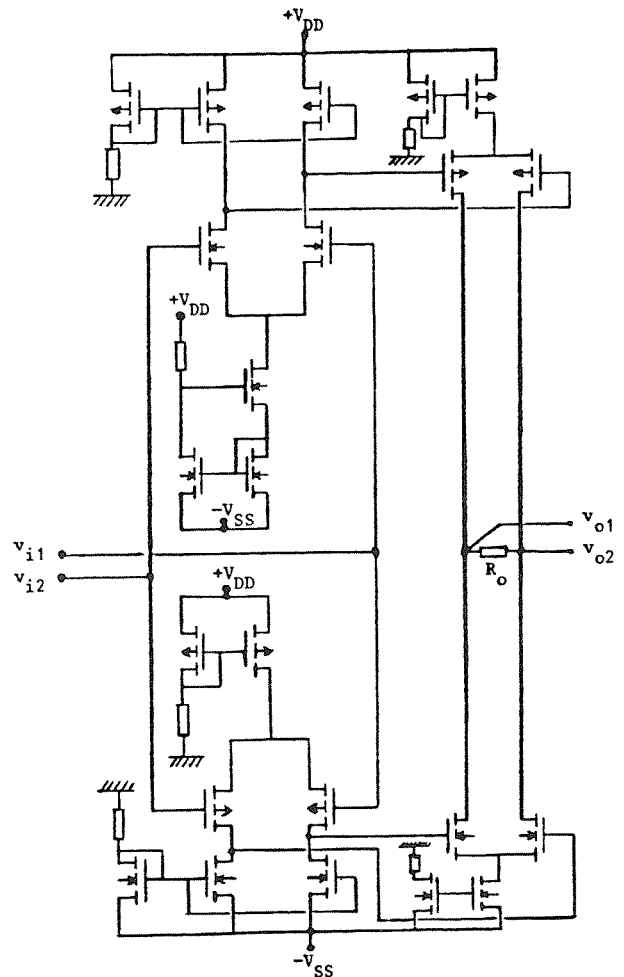
$$(CMRR)_{out} > 120 \text{ db}$$

امپدانس تلفاتی یا انفصال (و یا Isolation) خروجی نسبت به زمین بیش از  $250 \text{ M}\Omega$  در فرکانسهای پایین اندازه‌گیری شده است.

شکل شماره (۹) مشخصه  $(CMRR)_{out}$  بر حسب فرکانس

#### ۴) طرح یکپارچه سیستم ورودی - خروجی دیفرانسیل منفصل از زمین (۵)

شکل شماره (۱۰) طرح یکپارچه چنین سیستمی را با استفاده از عناصر MOS نشان می‌دهد. مشخصات این مدار از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری و امکانات اجرایی طرح یکپارچه (IC) در دست بررسی است.



شکل ۱۰ - طرح یکپارچه با عناصر CMOS

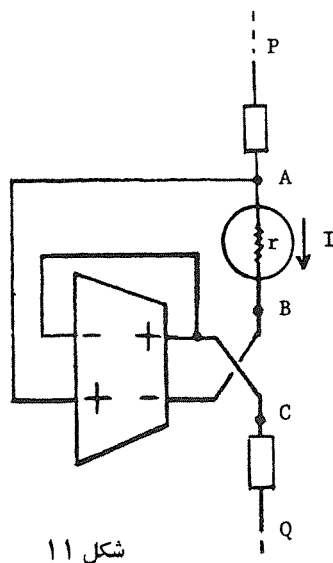
#### ۵) نتیجه

در این مقاله تحلیلی از سیستمهای رابط ورودی - خروجی دیفرانسیل و منفصل از زمین و همچنین چندین طرح مربوطه در قالب مدارهای یکپارچه ارائه شده و دو ضریب (CMRR)<sub>out</sub> و (CMRR)<sub>in</sub> به عنوان مشخصه‌های اصلی سیستم معرفی گردیده‌اند. امپدانس Isolation خروجی نسبت به زمین در حد فوق‌العاده بالایی قرار دارد (بیش از ۲۵۰ MΩ در فرکانسهای پایین). از این سیستم علاوه بر کاربردهای ارتباطی، در مدارهای اندازه‌گیری و به منظور جبران اثرات ناشی از آنها می‌توان استفاده نمود. به عنوان مثال اگر I مدار اندازه‌گیری جریان در مسیر PQ و Ω مقاومت داخلی آن باشد، ادغام سیستم فوق بصورت ترکیب زیر موجب حذف اثر مقاومت داخلی آمپرتر خواهد شد (شکل شماره ۱۱).

چنانچه  $G_d$  بهره ولتاژ دیفرانسیل سیستم باشد (و با صرف نظر کردن از  $G_c$ ) خواهیم داشت:

$$V_a - V_c = I / (G_d + 1)$$

افت ولتاژ ناشی از مدار اندازه‌گیری جریان عملاً به صفر رسیده و مقاومت معادل بین A و C مقدار بینهایت ضعیف  $R_c = I / (G_d + 1)$  را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱

#### پاورقی‌ها:

- 1- Transducers
- 2- Interface
- 3- Input Common Mode Rejection Ratio

- 4- Output Common Mode Rejection Ratio
- 5- Differential input - Differential output Floating MOS Integrated System

#### منابع:

1. "Data Conversion Components", Datel Databook, PP. 4-42, 4-45, 1986.
2. Burr-Brown Product Databook, PP. 3-1, 3-51, 1982.

3. J. Moncassin, M. Rabii, and H. Benoit, IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol. 36, No. 2, Feb. 1989.