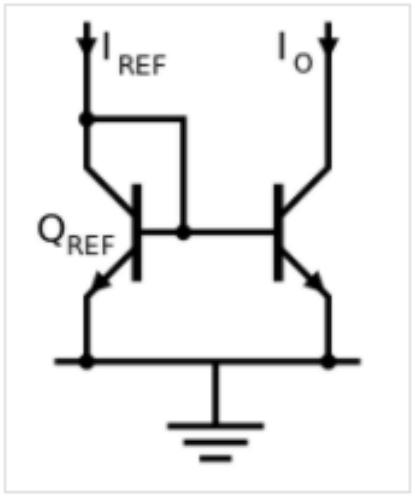
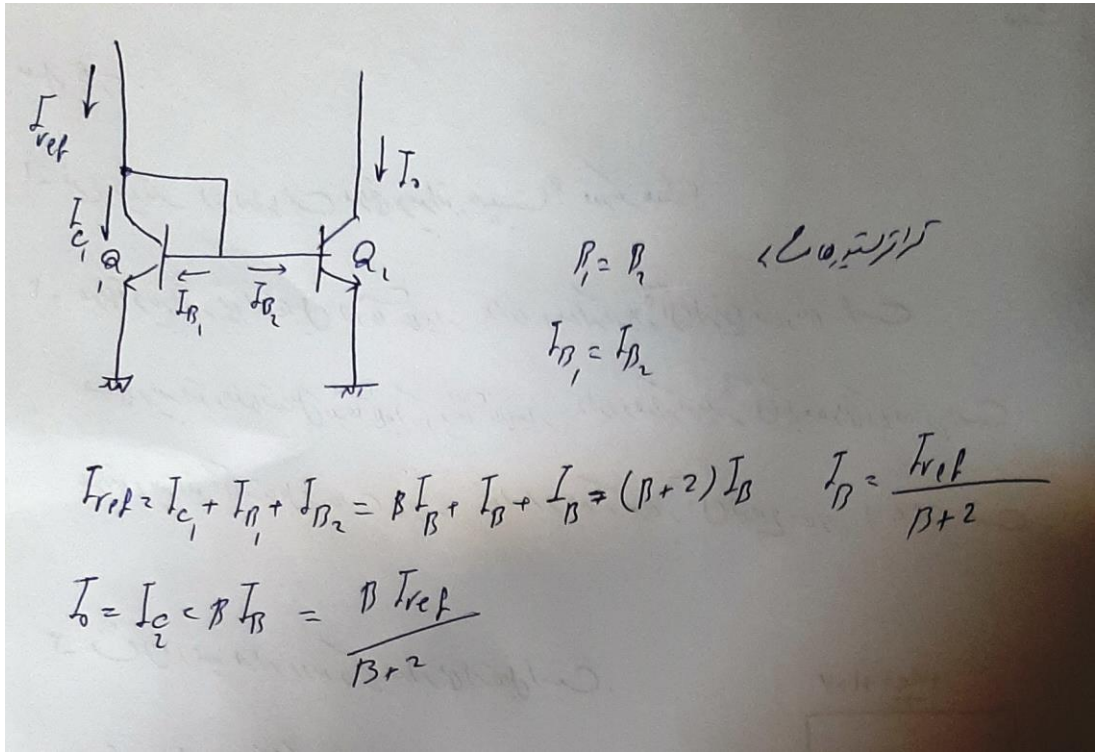


آینه جریان BJT ساده

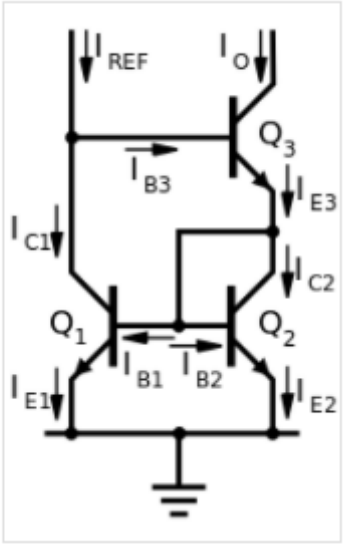


معادلات جریان در آینه جریان ویلسون

به منظور عملکرد صحیح در یک مدار آینه جریان، شرایط زیر باید برقرار باشد:

۱. ترانزیستورهای Q۱ و Q۲ کاملا مشابه باشند. پس جریان کلکتور (Collector) آن‌ها برای یک جریان بیس (Base) یکسان برابر است.

۲. هر سه ترانزیستور دارای بهره جریان امیتر مشترک (Common-Emitter) یکسانی (β) باشند.



آینه جریان ویلسون

از آنجا که Q۱ و Q۲ دارای ولتاژهای امیتر (متصل به زمین) و بیس (متصل به یکدیگر) یکسانی هستند، پس جریان بیس آنها یکسان خواهد بود. به این جریان I_B می‌گوییم:

$$I_{B1} = I_{B2} = I_B \qquad (1)$$

از معادله بالا می‌توان گفت که جریان کلکتور در Q۱ و Q۲ یک مقدار یکسان خواهند بود:

$$I_{C1} = I_{C2} = I_C \qquad (2)$$

حال از معادلات پایه مربوط به ترانزیستور BJT جریان بیس مربوط به ترانزیستور Q۳ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{B3} = \frac{I_O}{\beta} \quad (3)$$

همچنین برای مقدار جریان امیتر داریم:

$$I_{E3} = \frac{\beta + 1}{\beta} I_O \quad (4)$$

با استفاده از KCL در مدار آینه جریان ویلسون، معادله زیر را به دست می‌آوریم:

$$I_{E3} = I_{C2} + I_{B1} + I_{B2} \quad (5)$$

با جایگذاری معادلات اول و دوم در معادله بالا داریم:

$$I_{E3} = I_C + 2I_B \quad (6)$$

با توجه به $I_C = \beta I_B$ که از شرط دوم و معادلات پایه ترانزیستور BJT به دست آمده است:

$$I_{E3} = I_C + 2\frac{I_C}{\beta} = I_C \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) = I_C \left(\frac{2+\beta}{\beta}\right) \quad (7)$$

با جایگذاری معادله چهارم در معادله بالا داریم:

$$I_O \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) = I_C \left(\frac{2+\beta}{\beta}\right) \quad (8)$$

برای به دست آوردن I_C معادله بالا را بازنویسی می‌کنیم:

$$I_C = I_O \left(\frac{\beta + 1}{\beta + 2} \right) \quad (9)$$

حال با در نظر گرفتن جریان مرجع (I_{REF}) و با استفاده از KCL و جایگذاری در معادله دوم، به رابطه زیر می‌رسیم:

$$I_{REF} = I_{C1} + I_{B3} = I_C + I_{B3} \quad (10)$$

با استفاده از معادلات شماره (۳) و (۹) و (۱۰) داریم:

$$I_{REF} = I_O \left(\frac{\beta + 1}{\beta + 2} \right) + \frac{I_O}{\beta} = I_O \left(\frac{\beta + 1}{\beta + 2} + \frac{1}{\beta} \right)$$

معادله را بار دیگر بازنویسی می‌کنیم:

$$I_O = \frac{I_{REF}}{\left(\frac{\beta+1}{\beta+2} + \frac{1}{\beta} \right)}$$

سرانجام با ساده‌سازی و فاکتورگیری جریان خروجی را به دست می‌آوریم:

$$I_O = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta(\beta+2)}}$$

واضح است که حتی اگر β نسبتا کوچک باشد، مقدار $\beta(\beta + 2)$ خیلی بزرگ خواهد بود، در نتیجه مخرج در معادله بالا به یک میل می‌کند. بنابراین مقدار I_O به مقدار I_{REF} میل خواهد کرد.

$$\lim_{\beta \to \infty} (I_O) = I_{REF}$$

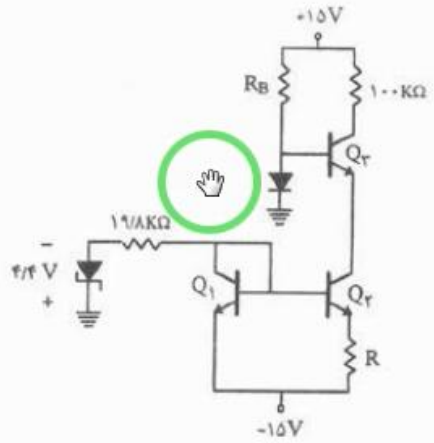
برای مثال برای یک ترانزیستور با مقادیر متوسط β=۵۰، از نظر تئوری می‌توان انتظار انحراف جریان در حد ۰.۷۵μA را داشت. برای مقدار β=۱۵۰ این مقدار به ۸۷nA کاهش می‌یابد.

باید به این نکته بسیار مهم توجه کرد که آینه جریان ویلسون یک منبع جریان ثابت نیست. اگر ولتاژ تغذیه V_{CC} تغییر کند، مقدار جریان خروجی نیز تغییر خواهد کرد. فرض کنید جریان مرجع I_{REF} توسط یک مقاومت متصل به منبع جریان به دست آید. همچنین فرض کنید V_{BE} برای تمام ترانزیستورها دارای مقدار ۰.۷V باشد. در نتیجه ولتاژ بیس ترانزیستورهای Q۱ و Q۲ مقدار ۰.۷V خواهد بود، زیرا امیتر این ترانزیستورها به زمین متصل است. مقدار ولتاژ بیس ترانزیستور Q۳ نیز برابر با $0.7 + 0.7 = 1.4V$ خواهد شد. حال مقدار جریان مرجع به صورت زیر است:

$$I_{REF} = \frac{V_{CC} - 1.4}{R_{REF}}$$

بنابراین مقدار جریان خروجی نیز به ولتاژ تغذیه وابسته خواهد بود. یک منبع جریان ثابت به عنوان جریان مرجع می‌تواند یک جریان خروجی ثابت را تضمین کند.

مثال۱:در مدار شکل زیر ترانزیستورها مشابه و دارای β بزرگ هستند.ولتاژ کلکتور Q_3 برابر 10v است.مقدارمقاومت R را به دست آورید.



$$V_Z+R_{C1}I_{C1}+V_{BE1}-V_{EE}=0$$
$$4.4+19.8I_{C1}+0.7-15=0$$

$$V_T Ln\frac{I_{C1}}{I_{C2}}=R_2I_{C2}$$

$$V_T Ln\frac{I_{ref}}{I_{C2}}=R_2I_{C2}$$

$$V_T Ln\frac{I_{C1}}{I_{C2}}=R_2I_{C2}$$

$$25\,Ln\frac{0.5}{0.05}=R_2\times 0.05$$

$$R2=R=1.15K$$