

回路を考える

もっと回路と話そう。話せば分かる。

ザインエレクトロニクス株式会社
源代 裕治

第1回 2018年10月23日(火) 歴史と今 --- 先人たちの苦闘、今に残る混乱

第2回 2018年11月 6日(火) 回路網の話(オフセット付き抵抗編)

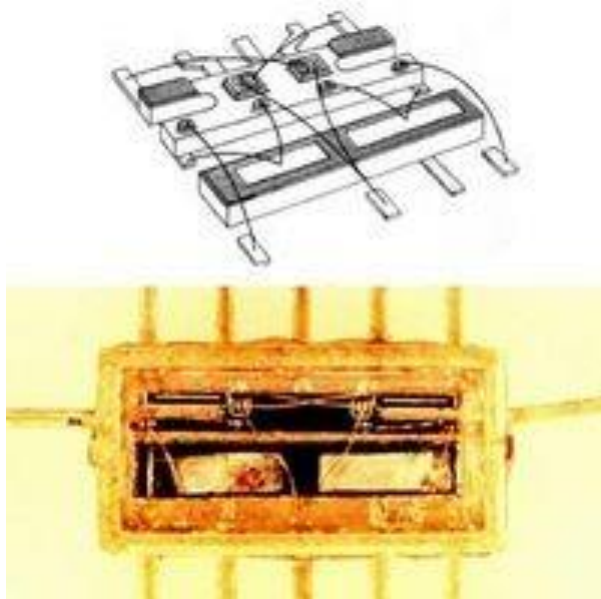
第3回 2018年11月13日(火) 回路網の話(変化に応答する回路編)

第4回 2018年11月27日(火) 素材(素子)に親しもう

 第5回 2018年12月 4日(火) もっと回路と話そう。話せば分かる。

今回の内容は講義では殆ど言及できないと見込まれます。
最終レポート課題が最後にあります。全員提出をお願いします。

ICの発明



Texas Instruments
Type 502 Bistable Multivibrator Solid
Circuit (1960)

Jack Kilbyの発明は、個別チップを金線で接続するというものであった。



Fairchild Semiconductor Type
“F” flip-flop (1960)

Robert Noyceの発明は、Fairchildで開発されたばかりのプレーナー技術を用いて、分離された素子ばかりでなく、配線も一つのダイに作り上げるものであった。現在につながるIC技術である。

<https://www.computerhistory.org/atcm/who-invented-the-ic/>

IC回路になって変わったこと

特性

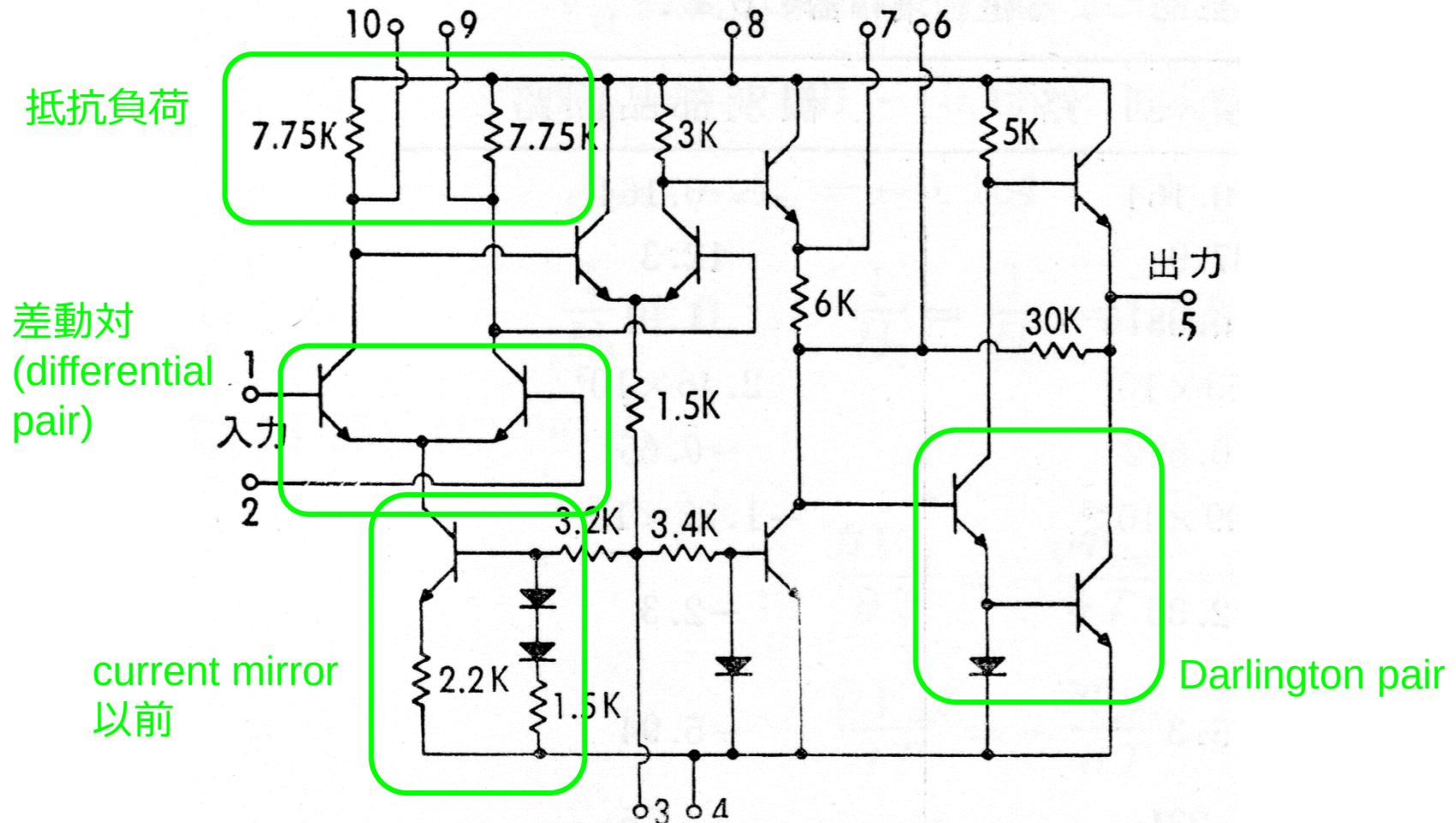
	ディスクリート	IC
素子の値段	$R < C < L < T, \text{Valve}, Tr$	$Tr, R < C \ll L$
		$\propto \text{Masks} * \text{Area} / \text{Yield}$
精度	単体は良い 組合せは別途ケア	ペア比が良い 絶対精度は $\pm 15\%$ 程度

回路上の変化

	ディスクリート	IC	コメント(IC観点)
ゲイン段構成	単体	差動対	相対バラツキの低さを利用
バイアス	自己バイアス	カレントミラー(CM) バンドギャップリファレンス (Band Gap Reference)	差動対と相性が良い。 BGRを使うとバラツキに強くなる。
出力IV変換	抵抗	アクティブロード(CM)	gmの低さを補う
段間接続	コンデンサ(orトランス)	直結	DCレベルが上手く合わせられた
インピーダンス変換	トランス	ソースフォロア	レベル変動が0.7V以下

最初期のOPAMP

すでに全段直結で、キャパシターは内蔵されていない。
当初PNPも作り辛かったので、NPNだけで何とかする工夫がなされた。

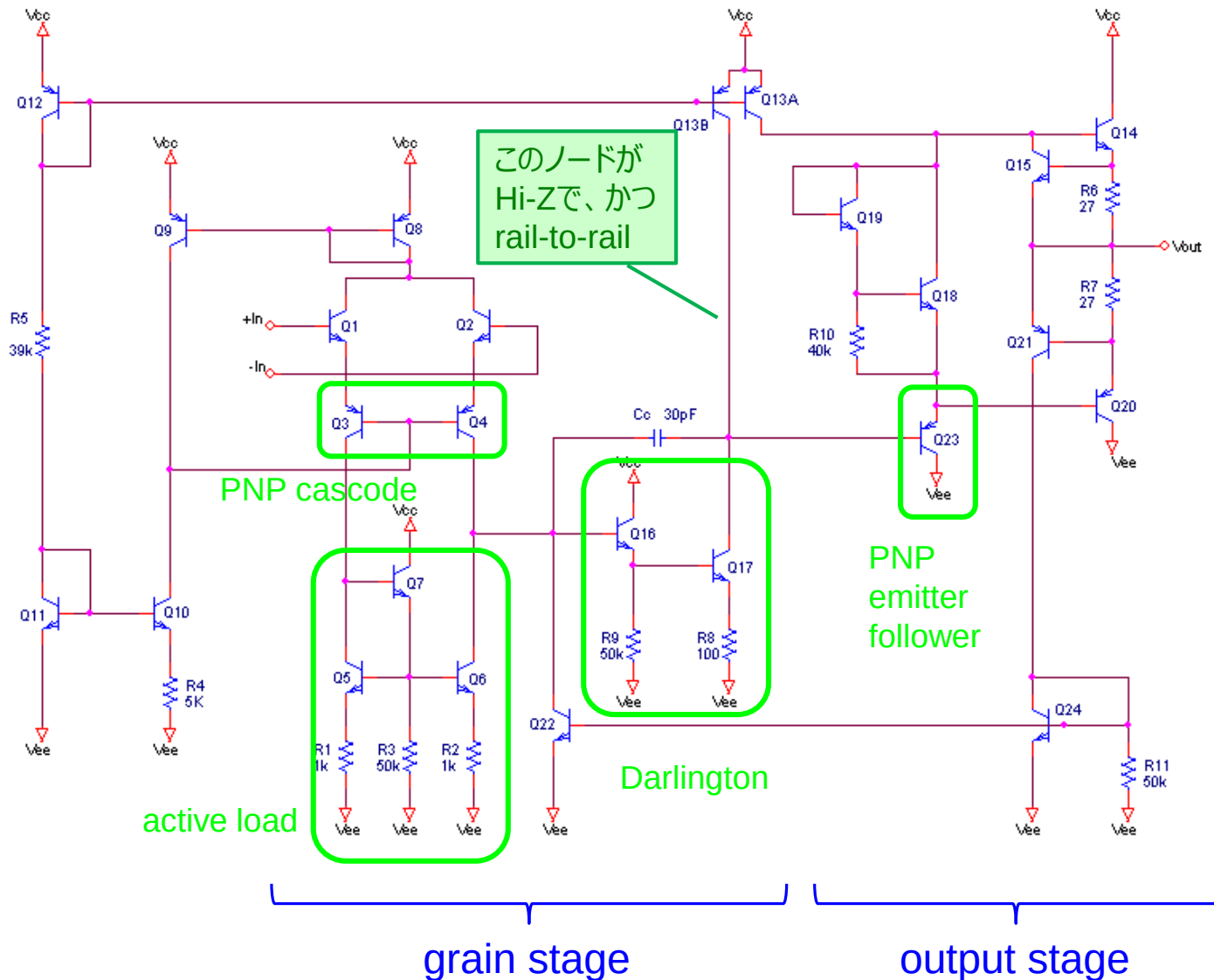


D. K. Lynn, et.al. "Analysis and Design of Integrated Circuits," Motorola, 1967

ベストセラーOPAMP

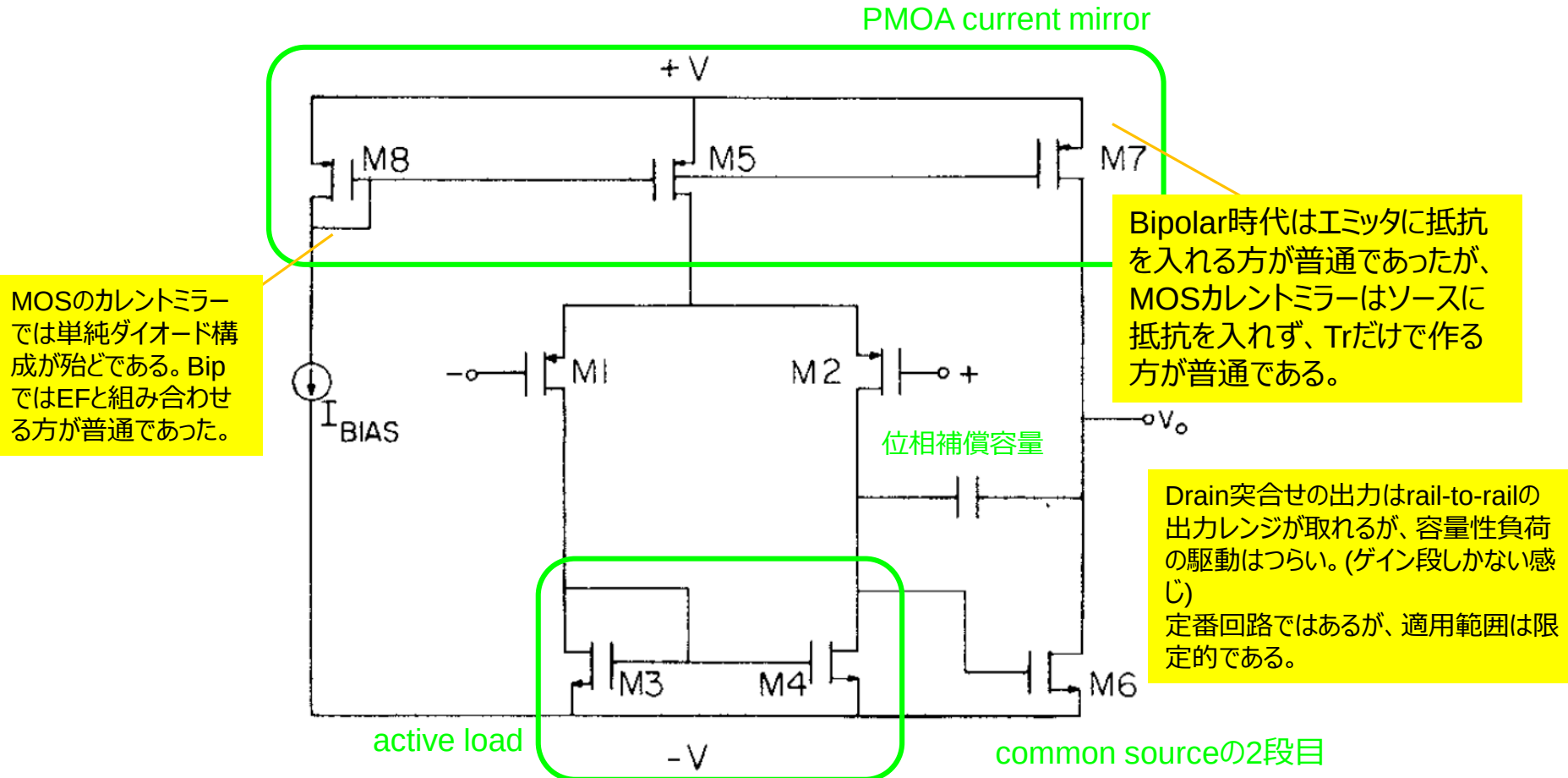
Fairchild uA741, 1968

PNP/NPNを自在に使えるcomplementary process



CMOS OPAMPの定番

MOSも当初はNMOSだけで無理やり感があったが、じきにcomplementary processが使えるようになった。プロセス屋さんの執念であろう。



P. Gray, R. Mayer, "MOS operational amplifier design-a tutorial overview," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. SC-7, No. 6, pp. 969-982, December 1982.

目的

- 回路に親しむ
- 回路の気持ちを感じられるエンジニアになる

方法

- 歴史から学ぶ
 - 先人たちの努力の跡をたどる
- 基礎を再検討する
 - 分かっているつもりの事も考え直す
- 経験を積む
 - 自分で考える

参考文献

- 吉田晴彦, "CMOSアナログIC回路の実務設計," CQ出版, 2010.
チップ開発の全体を見事にまとめ上げた良書である。
- Jim Williams, "Analog Circuit Design - Art, Science, and Personalities,"
Betterworth-Heinemann, 1991.
回路屋の気概を綴った本。学生として、その心意気を学ぶのも価値があるだろう。類書は少ないが、Williams自身は何冊かまとめている。

最終課題

『電気って何?』と人に訊かれたら、あなたなら何と答えるだろうか? 今回の講義で学んだことを交えて、まとめること。
A4で1枚程度を目安とする。

質問者は、親、中学生のいとか、あるいは恋人、など
答え易い相手を想定してもらって良いが、はぐらかさずに、まじめに答えること。

レポート提出先: yuji.gendai@gunma-u.ac.jp
提出期限: 2018/12/31

工学部の教え7箇条

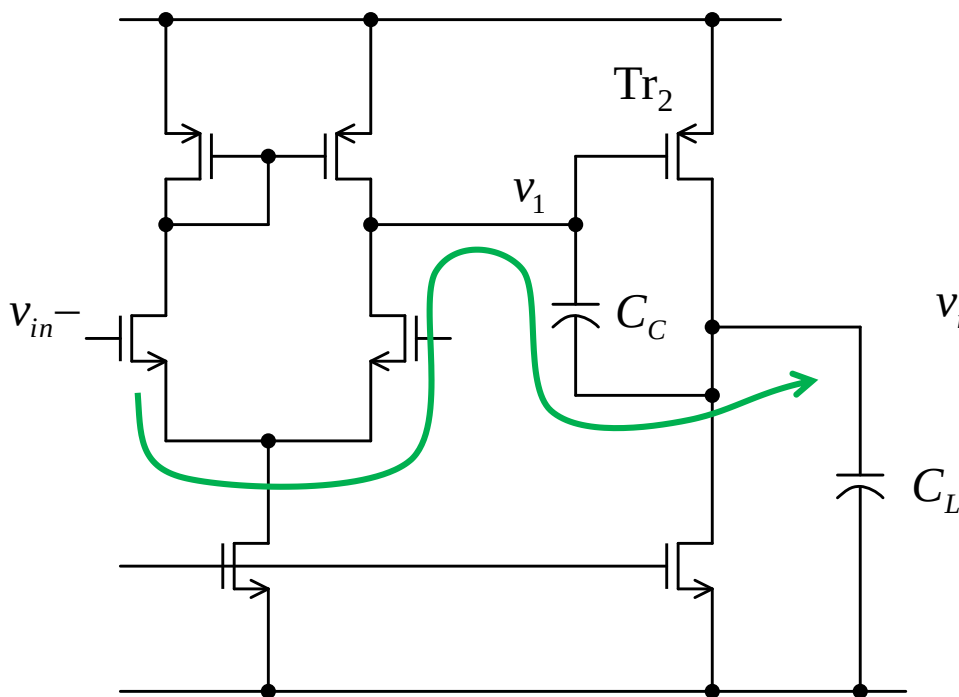
今野先生

- 第1条 決められた時間に遅れないこと（納期を守ること）
- 第2条 一流の専門家になって、仲間たちの信頼を勝ち取るべく努力すること
- 第3条 専門外のことは、軽々に口出ししないこと
- 第4条 仲間から頼まれたことは、（特別な理由がない限り）断らないこと
- 第5条 他人の話は最後まで聞くこと
- 第6条 学生や仲間をけなさないこと
- 第7条 拙速を旨とすべきこと



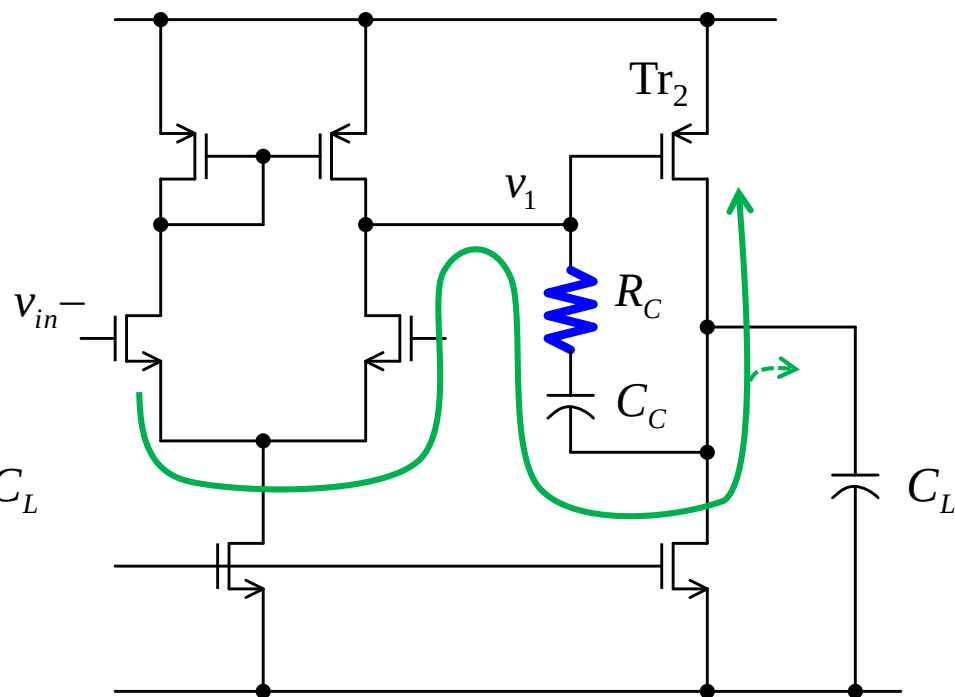
ゼロの起源

補償容量 C_C を入れると反転入力から直接出力へ至るパスが出来る。Tr2を経由しないので極性が反転しない。



スルー電流はDC的には入力差動対が発生するものであるが、高周波ではおそらく寄生容量も寄与する。

補償抵抗 R_C を入れると、スルー電流が v_1 を持ち上げ、Tr₂が丁度それを吸収するようにできる。



Tr₂の相互コンダクタンスを gm_2 とすると

$$R_C = \frac{1}{gm_2}$$

のときスルー電流が全てTr₂に吸収される。

バイポーラとMOSのIV特性比較

	Bipolar	MOS
微分形	$I_C = V_T \frac{dI_C}{dV_{BE}}$	$V_{GS} = \beta \frac{dI_D}{dV_{GS}}$
直接形	$V_{BE} = V_T \ln \frac{I_C}{I_S}$	$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2$

出力電流を入力電圧で微分したものが、Bipolarでは出力電流、MOSは入力電圧になる。その結果が、Bipolarにおいては指数特性、MOSにおいては自乗特性となっている。

何か理屈はあるのかもしれないが、寡聞にして知らず。

R. Wiegink, "Analysis and Synthesis of MOS Translinear Circuits," Springer, 1993.

$(1+x)^n$ を暗算で近似する話

多分既に習った公式

$$(1+x)^n \approx 1+nx \quad \text{if } |xn| \ll 1$$

特に $n=-1$ の場合

$$\frac{1}{1-x} \approx 1+x \quad \text{if } |x| \ll 1$$

では $|x| \ll 1$ だが n が大きい場合は、どう計算するか。

自然対数の底の定義式を使えば良い。

$$(1+x)^n = \left((1+x)^{1/x} \right)^{xn} \approx \exp(xn)$$

$|x|$ も大きいときは、無理やり小さくすることを考える。

$$(a+x)^n = a^n \left(1 + \frac{x}{a} \right)^n \approx a^n \left(1 + \frac{xn}{a} \right) \quad \text{if } \left| \frac{xn}{a} \right| \ll 1$$

$$\frac{1}{a-x} = \frac{1}{a \left(1 - \frac{x}{a} \right)} \approx \frac{1}{a} \left(1 + \frac{x}{a} \right) \quad \text{if } \left| \frac{x}{a} \right| \ll 1$$

x	$(1+x)^{1/x}$
1	2
0.1	2.593742
0.01	2.704814
0.001	2.716924

$x < 0.1$ なら指数関数近似が使えるそうである。

x	n	xn	$(1+x)^n$	$\exp(xn)$
0.01	10	0.1	1.104622	1.105171
0.01	100	1	2.704814	2.718282
0.01	1000	10	20959.16	22026.47

この表のオーダー感を覚えておくと、色々な指数計算が暗算で見積もれるようになる。あと、

$$\ln(10) \approx 2.302585$$

$$e^3 \approx 20$$

くらいは覚えおいて損はないだろう。