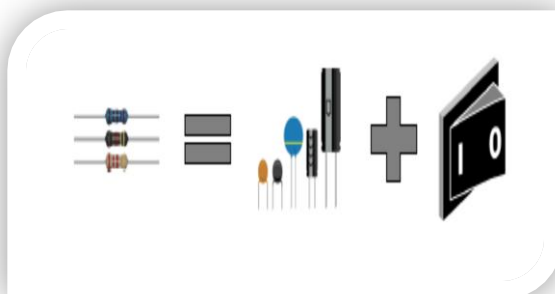


بسمه تعالی

موضوع تحقیق درس مدار های مجتمع خطی: مدارهای سویچ خازنی (Switched-Capacitor Circuits)



نام و نام خانوادگی: رحیم برومند

شماره دانشجویی: 9431023

استاد درس: جناب دکتر عباس ظریفکار

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه شیراز

بهمن 94

➤ **مقدمه:** در این تحقیق ما می خواهیم به مباحث مدارهای سویچ خازنی

بپردازیم. حقیقت امر این بود که در ابتدای امر اسم این مبحث (Switched-Capacitor Circuits) برای بنده عجیب بود و هیچ درکی از فلسفه ی مدار های سویچ خازنی نداشتیم! سراغ کتاب رضوی رفتم و یک تکه از آن را به عنوان مقدمه این مبحث برگزیدم. ما در این درس با طراحی اپ امپ آشنا شدیم و متوجه شدیم که یک اپ امپ ایده ال به معنای واقعی کلمه ایده ال نمی باشد، مثلاً مقاومت خروجی آن نزدیک صفر است نه خود صفر، از طرفی مقاومت های تعبیه شده در مدار هم داری خطا هستند، مقاومت ورودی اپ امپ ها واقعا بی نهایت مطلق نیست. گین حلقه باز اپ امپ ها بی نهایت واقعی نیست و در واقع چیزی در مقیاس 10^6 الی 10^7 می باشد. این یک طرف ماجرا بود. **در یک جمله کلی در حقیقت ما با یک اپ امپ غیر ایده ال سروکار داریم.**

این درس اساس و پایه ای برای درک مدار های پیشرفته تر مثل فیلتر های پیشرفته، حلقه ی قفل شده ی فاز (PLL)، مدولاتور ها، میکسر ها و... می باشد. یک نکته ی مهم در مدارات پیشرفته و فرکانس بالا وجود دارد و آن این است که دقت بالایی در گین و پارامترهای دیگر داریم در غیر این صورت مدارهای ما کارایی و بازده لازم را نخواهد داشت. یعنی بری طراحی یک مدولاتور، مقایسه گر، مبدل آنالوگ به دیجیتال و برعکس وقتی از یک اپ امپ حلقه بسته استفاده می کنیم، با اطمینان زیادی بتوان گفت گین ثابت می باشد.

ما در اینجا، با مدار های سرو کار داشتیم که ورودی در حوزه ی زمان پیوسته بود و این ورودی را به یک سیستم پیوسته زمان می دادیم، که در نهایت خروجی هم پیوسته در زمان بود، به چنین سیستم هایی **سیستم های پیوسته زمان** گفته می شود. از طرف دیگر بسیاری از مدار ها هستند ورودی آنها یک موج در یک دوره ی تناوب خاص تعریف شده است، و در زمان های دیگر صفر است. اگر این ورودی را به یک سیستم دهیم، طبیعتاً

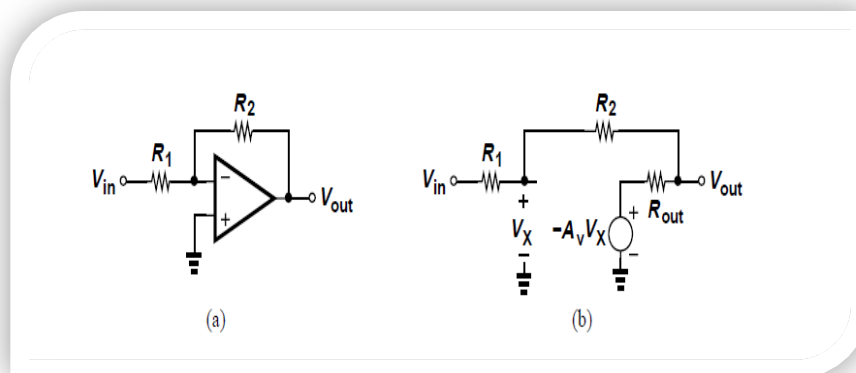
خروجی یک موج متناوب می باشد. به چنین سیستم هایی گسسته زمان گفته می شود. در این مدارات سیستم بر اساس نمونه برداری در هر لحظه، خروجی معتبر را بازسازی می کند.

مداری های پیوسته
زمان (continuous-time)

مداری های گسسته
زمان (discrete-time)

➤ فلسفه ورود به سویچ های خازنی:

ما مدار یک تقویت کننده وارونگر را در شکل 1 (الف) در نظر می گیریم. می دانیم در الکترونیک 2 به ما گفته می شد، که گین آن برابر R_2/R_1 می باشد. این رابطه با فرض ایده ال بودن آپ امپ محاسبه شده بود. حال اگر مدل غیرایده الی آپ امپ را شکل 1 (ب) در نظر بگیریم، گین را که محاسبه می کنیم، به نتایج جالبی می رسیم:



شکل 1

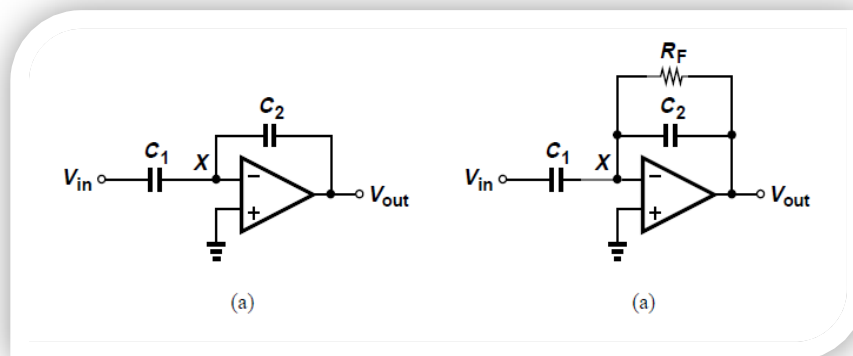
فرمول گین را که برای مدار شکل 1 (ب) محاسبه می کنیم، به رابطه ی زیر می رسیم:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{A_v - \frac{R_{out}}{R_2}}{1 + \frac{R_{out}}{R_1} + A_v + \frac{R_2}{R_1}}$$

معادله 1

می بینیم گین محاسبه شده، در صورت و مخرج دقیق نبوده و نمی توان روی ثابت بودن گین ان حساب کرد. مثلا مقاومت خروجی الان نقش زیادی در عدم دقیق بودن (هم در صورت و هم در مخرج) ایفا می کند. حتی مقاومت R_2, R_1 هم انقدر دقیق نمی باشد، و دارای خطا می باشد. پس ان طور که انتظار داشتیم، گین حلقه بسته نیاز ما را در مدارات پیشرفته برآورده نخواهد کرد. برای داشتن گین ثابت چه تدبیری باید اندیشید؟

اینجا است که می خواهیم وارد بحث اصلی شدیم درست حدس زدید می خواهیم مدار تقویت کننده وارونگری بسازیم که به جای مقاومت از خازن های C_1, C_2 استفاده کنیم. که مدار ان در شکل 2 آورده شده است:



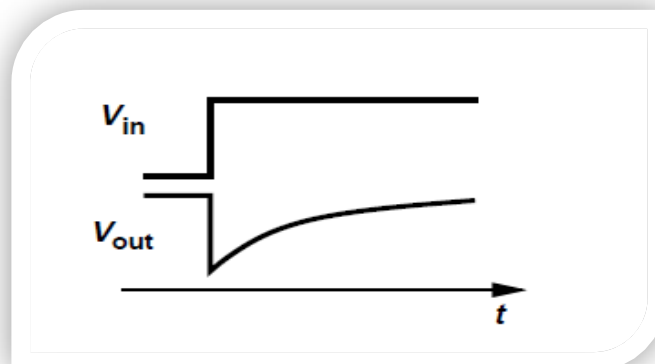
شکل 2

اول می بینیم، که خازن ها به تنهایی برای بایاس مدار کافی نیست، برای رفع مشکل از مقاومت R_f استفاده کرده است. حال که ان را در حوزه لاپلاس برده و گین را محاسبه کرده به رابطه ی زیر می رسیم.

$$\begin{aligned}\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) &\approx -\frac{R_F \frac{1}{C_2 s}}{R_F + \frac{1}{C_2 s}} \div \frac{1}{C_1 s} \\ &= -\frac{R_F C_1 s}{R_F C_2 s + 1},\end{aligned}$$

معادله 2

شکل موج خروجی به ورودی پالس در حوزه زمان هم چنین می شود:



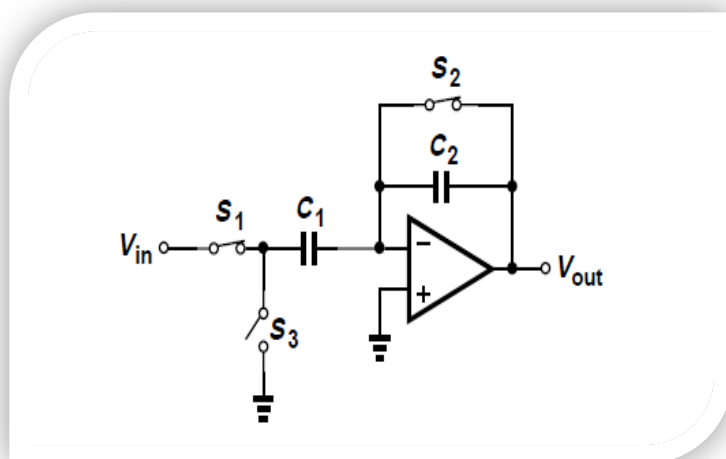
شکل 3

برای مدارات فرکانس بالا، ما به رابطه گین زیر می رسم:

معادله 3

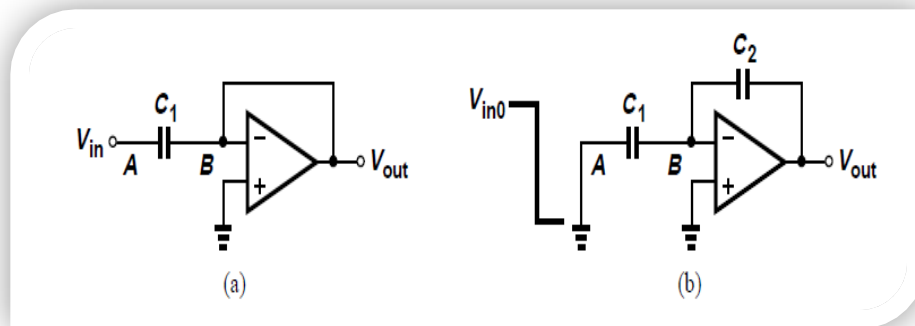
$$V_{out}/V_{in} \approx -C_1/C_2 \text{ only if } \omega \gg (R_F C_2)^{-1}.$$

در حقیقت رابطه ی گین نسبت به حالت قبل بهتر شده است،خوش فرم تر است،اما در صورتی این رابطه درست است که R_f, C_2 مقدار خیلی بزرگی باشند،و این برای ما در طراحی مدار مجتمع جایز نیست پس باید به دنبال تدبیر دیگری بود. این جا است که ایده مدار های سویچ خازنی مطرح می شود. **حال برای داشتن گین ثابت ایده ی اصلی باید از خازن ها به عنوان سویچ استفاده کرد.**



شکل 4

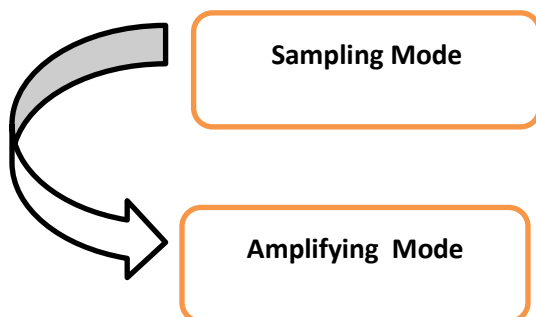
در کتاب های مرجع سویچ های خازنی را با S.C نشان می دهند. در مدار بالا S_i ها بیانگر سویچ های خازنی هستند. این سویچ ها در لحظه هایی از زمان باز و در لحظه هایی از زمان بسته خواهند بود. برای درک بهتر مدار، بازه ی زمانی کارکرد مدار را به الف وب تقسیم کرده ایم. حالت اول S_1, S_2 اتصال کوتاه، S_3 اپن می باشد. حالت دوم، S_1, S_2 اپن و S_3 گرانند می باشد. مدار خلاصه شده ی این حالت را در شکل 5 زیر می بینید:



شکل 5

اگر به حالت های الف و ب در شکل 5 بالا نگاه کنیم: می بینیم اولاً این مدار یک مشخصه ی اصلی دارد:

1. وارد مد حلقه بسته نشده در یک زمان خاص و گین اپ امپ همواره گین حلقه باز است که بی نهایت است. در حالت قبل گین حلق بسته بود.
2. دوم، این مدار کارکردش را از نظر دو حوزه ای زمانی می توان به دو دسته ی Sampling و Amplifying تقسیم بندی کرد. که اساس محاسبه گین ان هم همین نکته می باشد. که این دو مد به ترتیب با مدار های شکل الف و ب در شکل قبل متناسب است.



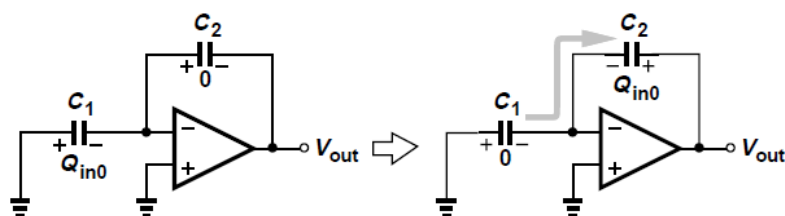


Figure 12.6. Transfer of charge from C_1 to C_2 .

شکل 6

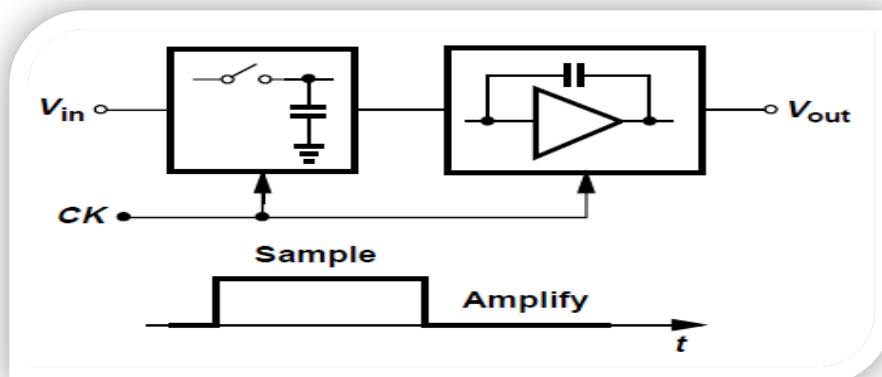
در نهایت وقتی گین را محاسبه می کنیم (براساس شارو دشارژ خازن هم) می بینیم، که با توجه به دو مرحله گفته شده گین برابر است با:

$$V_{in0}C_1/C_2.$$

معادله 1-4

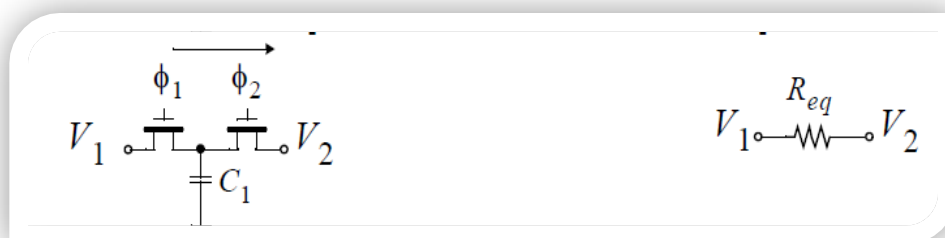
همان طور که مشاهده می کنیم، در این حالت گین به عنوان یک ثابت دقیق تر است. در شکل زیر کاربرد سوییچ های خازنی در مدارات امپلی فایر خلاصه وار بیان شده است.

شکل 7-1



لازم به ذکر است این فقط یک کاربرد S.C در مدارات تقویت کننده بود، واقعیت این است این تکنیک در مدارات دیگر شامل **فیلتر، مدولاتور و غیره** نیز به کار می رود. قبل از اینکه به مباحث دیگری بپردازیم می خواهیم کمی در مود سویچینگ های خازنی بحث کنیم.

سویچینگ خازنی که استفاده می کنیم هدف این است که از **سویچینگ خازن** به عنوان یک **مقاومت** استفاده می کنیم.



شکل 7-2

حال مقاومت معادل را چطور می توانیم بدست آوریم؟

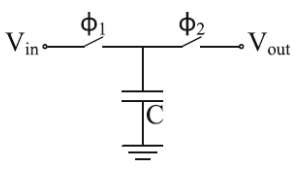
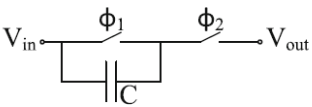
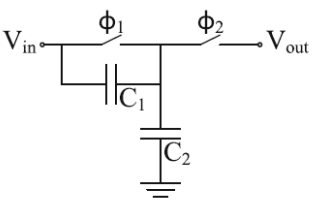
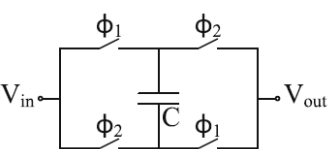
با توجه به معادله های زیر در نهایت به مقاومت معادل می رسیم.

$$\begin{aligned}\Delta Q &= C_1(V_1 - V_2) & \Delta Q_1 &= C_1(V_1 - V_2) \\ Q_x &= C_x V_x & I_{avg} &= \frac{C_1(V_1 - V_2)}{T} \\ I_{eq} &= \frac{V_1 - V_2}{R_{eq}} & R_{eq} &= \frac{T}{C_1} = \frac{1}{C_1 f_s}\end{aligned}$$

معادله 2-4

این معادله برای **حالت موازی** بدست آوردم، لازم به ذکر است، که این تنها روش استفاده از سویچ خازنی نمی باشد. **پیکره بندی های مختلفی** برای استفاده از **سویچ خازنی** وجود دارد، که در جدول زیر خلاصه شده است. **فرمول مقاومت معادل** برای حالات دیگر که می توان سویچ خازنی داشت، در **جدول زیر خلاصه** شده است.

Table 2.1 SC resistor emulation circuits [5]

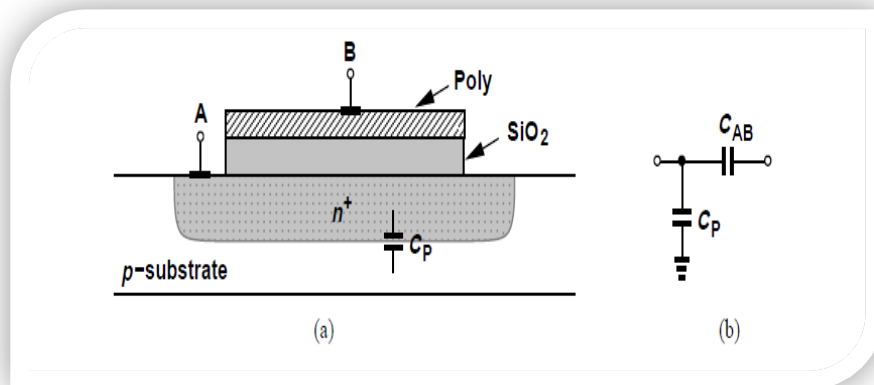
Circuit	Schematic	R_{eq}	$Q(\phi_1)$	$Q(\phi_2)$
Parallel		$\frac{T}{C}$	$V_{in}C$	$V_{out}C$
Series		$\frac{T}{C}$	0	$(V_{in} - V_{out})C$
Series-Parallel		$\frac{T}{C_1 + C_2}$	0	$(V_{in} - V_{out})C_1$ $V_{out}C_2$
Bilinear		$\frac{1}{4} \frac{T}{C}$	$(V_{in} - V_{out})C$	$(V_{out} - V_{in})C$

شکل 3-7

نکته ی با اهمیت این است که ساختن **سویچ های بحث شده** در تکنولوژی **CMOS** راحت تر از سایر تکنولوژی ها می باشد. چون برای اینکه نمونه برداری خوبی داشته باشیم، باید **امپدانس روی سویچ بالا** باشد. **بی جی تی** مشکلی که دارند **جریان بیس** در ورودی اپ امپ می تواند در دقت اثر ولتاژ خروجی اثر بگذارد و این برای ما **خوب نیست**. پس ما برای سویچ سازی به سمت **ماسفت ها** خواهیم رفت.

➤ **ماسفت به عنوان یک سویچ:**

قبل از اینکه به بحث سویچ های خازنی بپردازیم، ساختمان یک ماسفت را بررسی می کنیم. در شکل زیر یک ماسفت آورده شده، که لایه بالایی پلی سیلیکان یک خازن ایجاد می کند، که آن را با **CAB** نشان می دهیم. که لایه پایینی بین n^+ و substrate یک خازن پارازیتی **CP** ایجاد می کند. که هرچه خازن پارازیتی کوچک تر کنیم، سویچ ما بهتر می باشد.



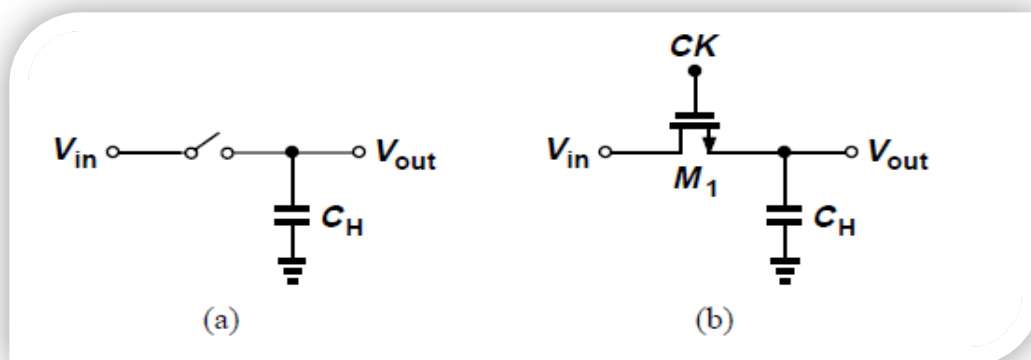
شکل 7-4

حال سوالی که مطرح می شود، این است که یک سویچ خوب چه ویژگی هایی دارد؟ در این بخش به بحث در مورد پارامتر های یک سویچ خوب خواهیم پرداخت.

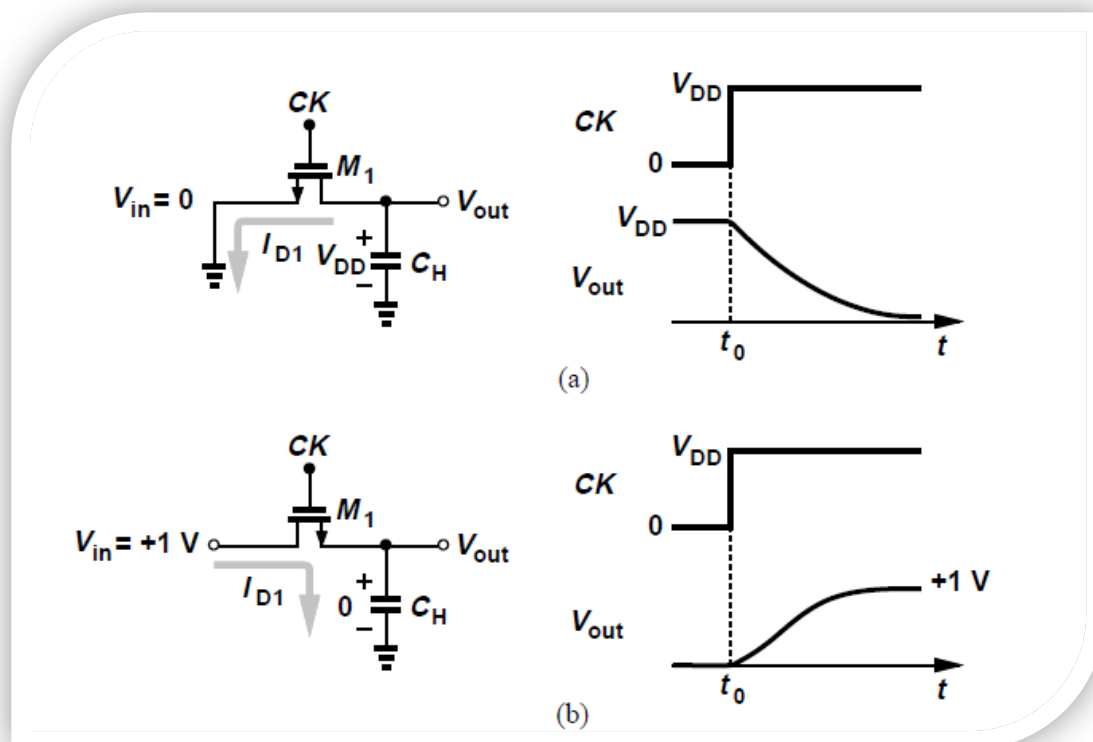
شکل زیر ماسفت به عنوان سویچ انتخابی ما را نشان

یک سویچ خوب چه ویژگی های دارد؟؟؟؟؟

می دهد.



شکل 8



شکل 9

1. یک سوییچ خوب اولین ویژگی که باید داشته باشد، حالت این ان امپدانس بی نهایت داشته باشد، و حالت بسته ان امپدانس صفر داشته باشد.

2. یک سویچ خوب باید سرعت روشن و خاموش مناسبی بر حسب کاربرد ما داشته باشد.

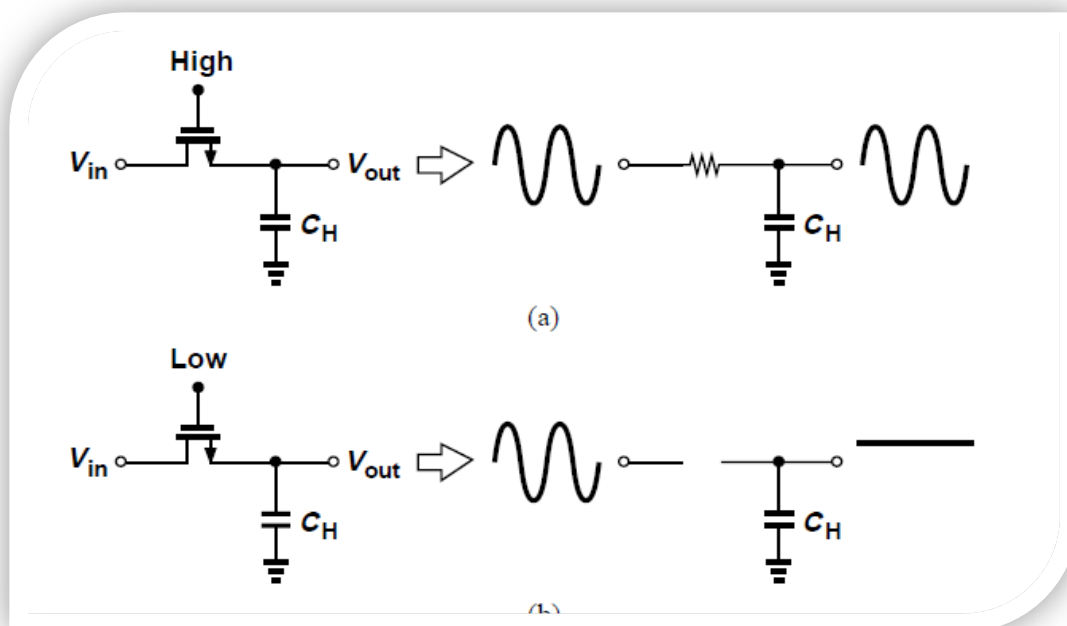
3. باید سویچ برای ما دقت قابل قبولی داشته باشد.

4. باید کنسل کردن تزریق بار (charge inject cancelation) ان هم مناسب باشد.

یک مدار نمونه برداری مناسب از یک سویچ و خازن تشکیل شده است. (شکل شماره 9 الف، ب) که ماسفت به عنوان یک سویچ خوب عمل می کند، به دلیل اینکه ان (سویچ) می تواند، روشن باشد بدون اینکه جریانی مصرف کند (جریان گیت صفر است). از طرف دیگر ولتاژ سورس و درین به ولتاژ گیت اصطلاحاً متصل نشده اند (pinned) یعنی اگر ولتاژ گیت تغییر کند، ولتاژ سورس و درین تغییر نخواهد کرد. برخلاف ماسفت، بی جی تی ها این مزایا را ندارند.

برای اینکه متوجه شویم در شکل (9 ب) ماسفت چگونه از ورودی نمونه برداری می کند، در حالت الف، پالس کلاک فعال است، و ماسفت به عنوان یک سویچ روشن است، ولتاژ ورودی هم که صفر می باشد، سورس و درین اتصال کوتاه شده (چون سویچ ما روشن می باشد) پس خازن که دارای ولتاژ اولیه VDD بود شروع به دشارژ شدن می کند. در حالت ب، که سویچ روشن است، اما ولتاژ اولیه خازن صفر است، اما ولتاژ ورودی VDD می باشد، خازن شروع به شارژ شدن می کنند که شکل های شارژ و دشارژ خازن را مشاهده می کنید.

همان طور که در شکل زیر می بینیم هنگامی که ولتاژ گیت یک (یک منطقی) باشد، بین سورس و درین ماسفت اتصال کوتاه و هنگامی که ولتاژ گیت صفر باشد (صفر منطقی)، بین سورس و درین ماسفت این می باشد.



شکل 10

بنابراین اصطلاحاً گفته می‌شود، وقتی که ولتاژ گیت یک است، ماسفت ورودی را **track** می‌کند، وقتی که ولتاژ گیت صفر است، نمونه برداری را **فریز (freeze)** می‌کند. اگر برای مدار شکل 8 الف ولتاژ خروجی را برحسب زمان محاسبه کنیم، در نهایت به رابطه‌ی زیر (برگرفته از کتاب بهزاد رضوی) می‌رسیم.

$$V_{out} = \frac{2(V_{DD} - V_{TH}) \exp[-(V_{DD} - V_{TH})\mu_n \frac{C_{ox}}{C_H} \cdot \frac{W}{L}(t - t_1)]}{1 + \exp[-(V_{DD} - V_{TH})\mu_n \frac{C_{ox}}{C_H} \cdot \frac{W}{L}(t - t_1)]}.$$

معادله 5

که می بینیم ولتاژ خروجی انی به $V_{DD}-V_{TH}$ نمی رسد، و در زمان بی نهایت $t \rightarrow \infty$ به این مقدار می رسد.

از طرفی مقاومت بین سورس و درین در عمل صفر نیست و از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$R_{on1} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{DD} - V_{in} - V_{TH})}.$$

معادله 6

ملاحظات سرعت: ➤

از طرف دیگر یک PMOS هم می توان به عنوان سویچ به کاربرد، که منطق ان برعکس یک نوع NMOS می باشد. که در شکل زیر آورده شده است.

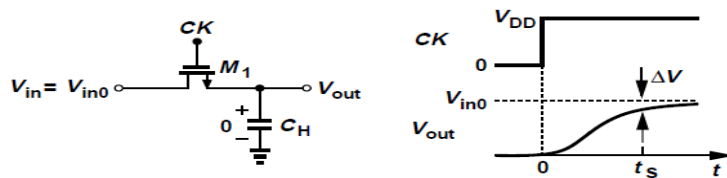
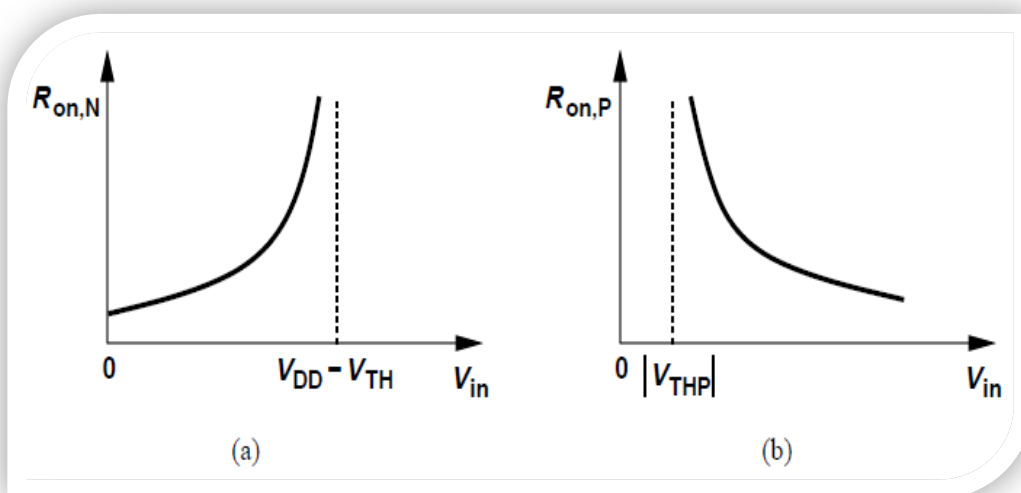


Figure 12.14. Definition of speed in a sampling circuit.

شکل 11

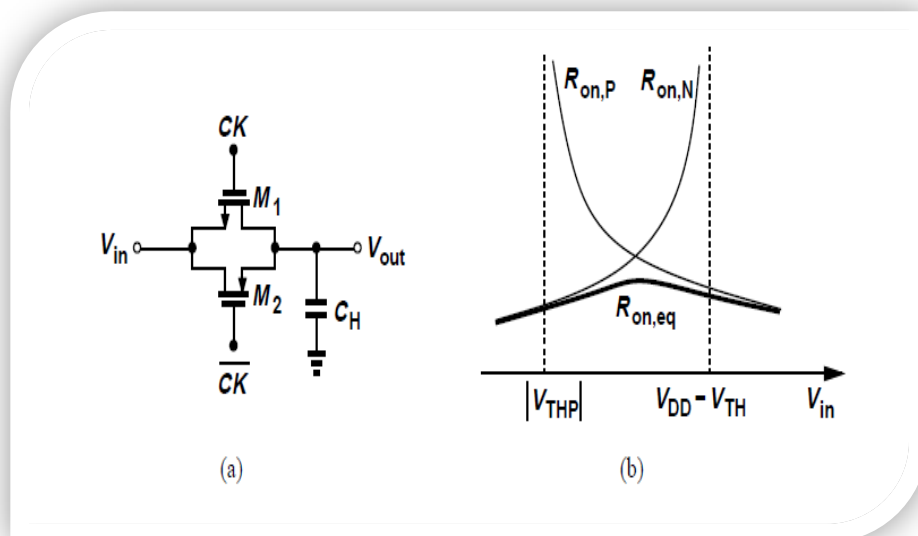
یکی از ملاحظات مهم، ماسفت از هر نوعی باشد، مثلاً نوع NMOS مقاومت آن در نزدیک ولتاژ استانه بی نهایت است (برای PMOS در $V_{DD} - V_{TH}$)، این ثابت زمانی برای شارژ و دشارژ خازن را افزایش می دهد، و این یعنی کاهش سرعت کار سوییچ!!

همین داستان برای PMOS هم برقرار است.



شکل 12

برای غلبه بر این موضوع می آیند دو نوع ترانزیستور (PMOS و NMOS) را با هم موازی می کنند. که مقاومت حاصل در همه محدوده ی ولتاژی مقدار کوچکی دارد. که سوییچ مرکب خوانده می شود.



شکل 13

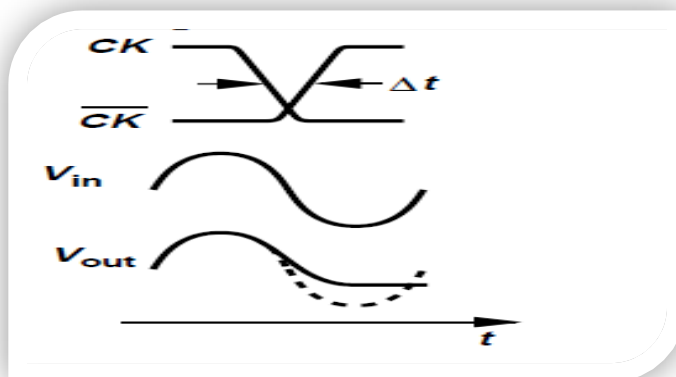
که در این حالت مقاومت R_{on} از رابطه ی زیر محاسبه می شود. نکته مهم در سوییچ های مرکب باید با هم خاموش و روشن شوند در غیر این صورت شکل موج خروجی را خراب می کند.

$$R_{on,eq} = R_{on,N} || R_{on,P} \quad (12.23)$$

$$= \frac{1}{\mu_n C_{ox} (\frac{W}{L})_N (V_{DD} - V_{in} - V_{THN})} || \frac{1}{\mu_p C_{ox} (\frac{W}{L})_P (V_{in} - |V_{THP}|)} \quad (12.24)$$

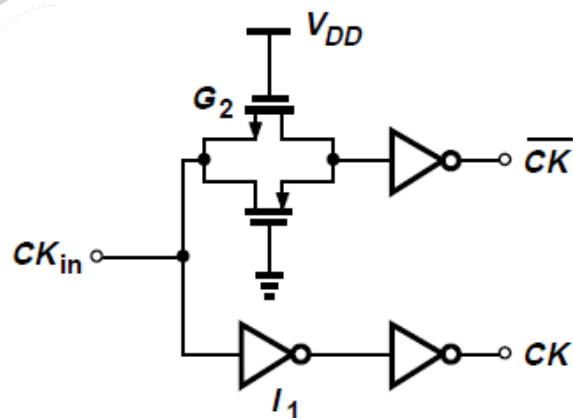
$$= \frac{1}{\mu_n C_{ox} (\frac{W}{L})_N (V_{DD} - V_{THN}) - [\mu_n C_{ox} (\frac{W}{L})_N - \mu_p C_{ox} (\frac{W}{L})_P] V_{in} - \mu_p C_{ox} (\frac{W}{L})_P V_{THP}} \quad (12.25)$$

معادله 7



شکل 14

برای رفع این مشکل از مدار زیر کمک می گیریم.



Simple circuit generating complementary clocks.

شکل 14

➤ ملاحظات دقت:

اگر ما W/L را افزایش دهیم، این باعث کاهش خازن نمونه برداری و افزایش سرعت می شود، اما می توان نشان داد که این روش افزایش سرعت، دقت نمونه برداری از سیگنال را کاهش می دهد، پس چندان روی آن نمی توان حساب کرد.

می توان نشان داد که خطای نمونه بردای آن چنین می شود. که این یک نوع اعوجاج در شبکه موج خروجی ایجاد می کند.

معادله 8

$$\Delta V = \frac{WLC_{ox}(V_{DD} - V_{in} - V_{TH})}{2C_H}.$$

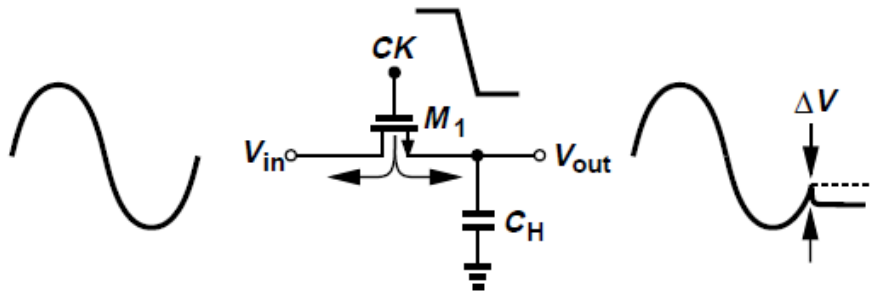


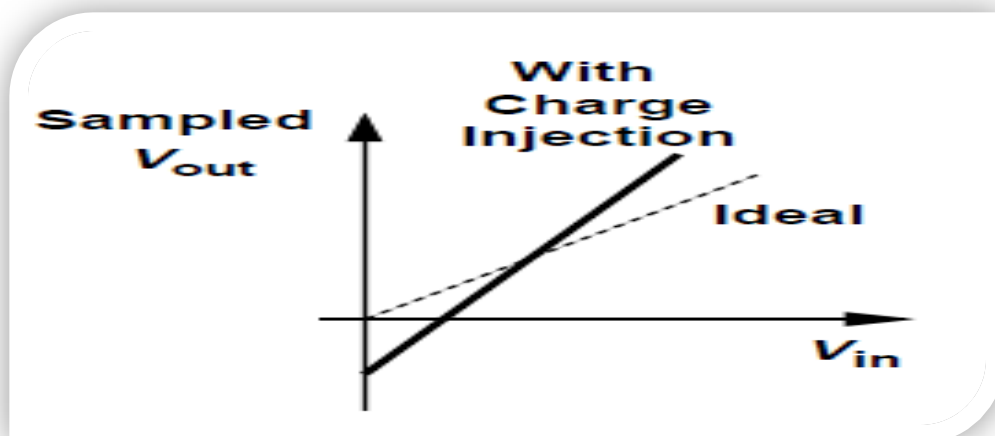
Figure 12.20. Effect of charge injection.

شکل 15

$$V_{out} = V_{in}\left(1 + \frac{WLC_{ox}}{C_H}\right) - \frac{WLC_{ox}}{C_H}(V_{DD} - V_{TH}),$$

معادله 9

شکل 18



در شکل بالا می بینیم، که نمودار ولتاژ نمونه برداری شده بر حسب ورودی، به charge injection بستگی دارد، که این مربوط به همان خطای ΔV می باشد.

این برای ما خوب نیست برای رفع این مشکل از سویچ مرکب در شکل زیر آورده شده است، استفاده می کنیم.

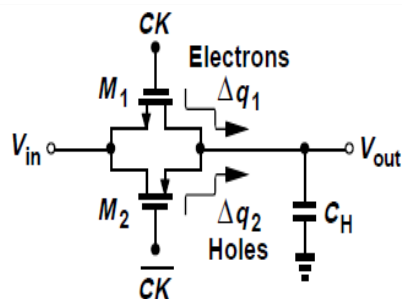
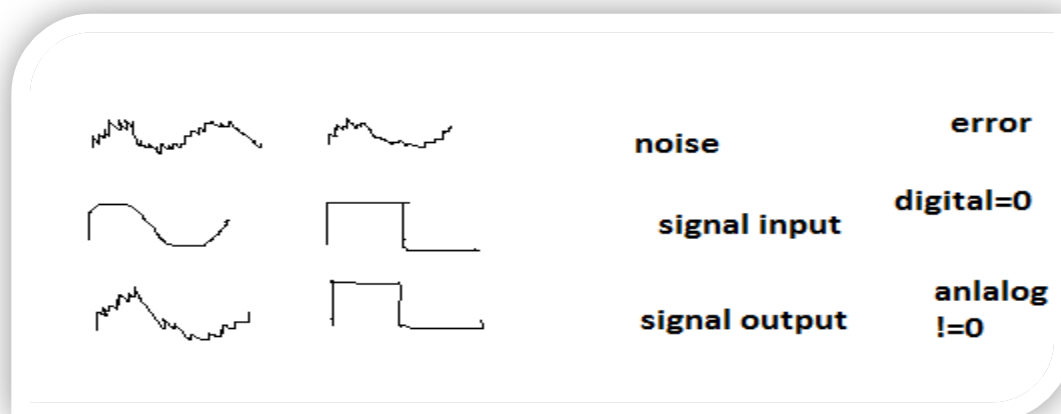


Figure 12.26. Use of complementary switches to reduce charge injection.

حال که بر روی مباحث مشخصه های یک سوئیچ بحث کردیم،اولا بنا بر نظر بنده این مدارات شبیه مدارات الکترونیک دیجیتال که در یک بازه ی زمانی یک شقه از مدار روشن و در بازه های دیگر یک تکه دیگر روشن می شود. تا این جا ثابت کردیم این ایده که دقت خوبی به ما هدیه کرده است. یکی از دلایلی که امروزه به سمت مدارات سوئیچینگ یا دقیق تر بگم دیجیتال می روند ،دقت بهتر ان می باشد. من احساس می کنم،این فصل یک پیش زمینه بود برای اینکه اهمیت ورود به دید دیجیتالی را برای ما روشن کند. بی خود هم نیست که امروز اکثر ادوات مخابراتی فیلتر ها، میکسر ها و .. به سمت دیجیتال شدن پیش رفته اند. چون در دیجیتال به خاطر اینکه با منطق 0 و 1 کار می کنیم، نویز های ضعیف بر عملکرد مدار ما به هیچ عنوان اثری ندارند در حالی که در مدارات آنالوگ نویز بر روی سیگنال ما هرچند ضعیف سوار می شود. این شکل به خوبی این بحث را نشان می دهد. این شکل را خودم در پینت کشیدم انصافا کشیدن خط راست با تاج پد لب تاپ کار سختی است!



شکل 19

➤ پرسش از فروم:

قبل از اینکه کلا درمورد سوییچ های خازنی چیزی بنویسم سری به سایت [edaboard](http://edaboard.com) معروف زدم، یک تاپیک با عنوان ... باز کردم، که دوستان نظراتی دادند، که در تدوین این تحقیق خیلی برای بنده مفید بود. مهمترین نظرات ان ها با هم مروری می کنیم.



شکل 20

- یکی از دوستان بیان کرده: یکی از موارد این سوییچ های خازنی در فیلتر ها می باشد. بیان کرده که استفاده از در مدار های مجتمع اسان ترند نسبت به مقاومت. خازن ها را در بیرون مدار در فرکانس بالا سوییچ می کنند، که باعث می

شوند، مقدار مقاومت با توجه به فرکانس از خود نشان دهند، یعنی خازن را به عنوان یک مقاومت به کار می برند.

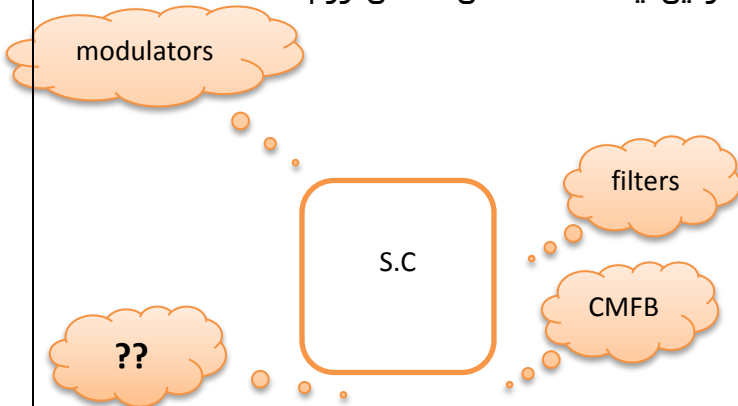
یعنی ایده این است به جای مقاومت از خازن سویچ شده استفاده کنیم.

- دوست دیگه ای بیان کرده که National Semiconductor شروع ساخت فیلتر های با ایده ی سویچ خازنی را از اواخر دهه 1970 شروع کرده است، یعنی اون زمان به اهمیت این موضوع پی بردند و کتاب هایی را در این زمینه از جمله Switched Capacitor Handbook نوشتند، یعنی همیشه صنعت پیشرو بوده و بعد جایش را در کتاب های رفرنس پیدا کرده است.
- دوست دیگه بیان کرده، یکی از دلایل استفاده از خازن در مدار های انالوگ علاوه بر ساخت اسان، افزایش دقت مداری که در ان از خازن استفاده شده است که نقش یک تقلید کننده ی مقاومت را دارد. در حالی که برای مقدار های خیلی زیاد مقاومت، مقدار معادل خازن خیلی کوچکتر بوده، و این در مدار مجتمع یک مزیت می باشد.
- در اصلاح حرف دوست قبلی، دوست دیگری بیان کرده، در طراحی تکنولوژی ای سی معمولا نرخ نسبت خازن ها سروکار داریم.
- دوست دیگری نظر جالبی داده گفته استفاده از سویچ های خازنی به جای مقاومت می تواند در کاهش ولتاژ افست اپ امپ موثر باشد.

[لینک تاپیک مربوطه در edaboard](#)

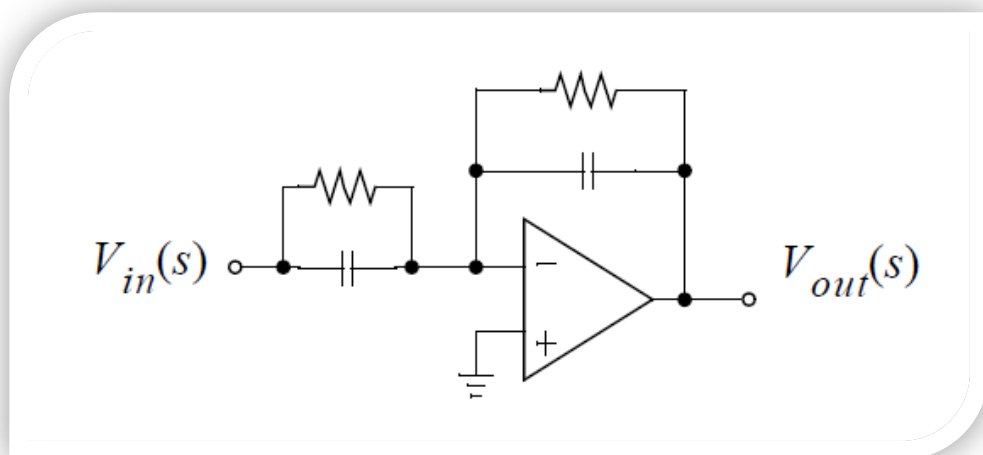
حال به ادامه بحث خود می پردازیم، ایا کاربرد سویچ های خازنی فقط منحصر به تقویت کننده ها می باشد. اگر کمی دقیق تر به مسئله نگاه کنیم، می بینیم این ایده را برای سایر

مدار ها مثل **فیلتر ها** و هم می توان **تعمیم داد** و این ایده منحصر به تقویت کننده گی نمی باشد. پس من در ادامه چندین مدار پر کاربرد که از این ایده استفاده می کند می اورم.

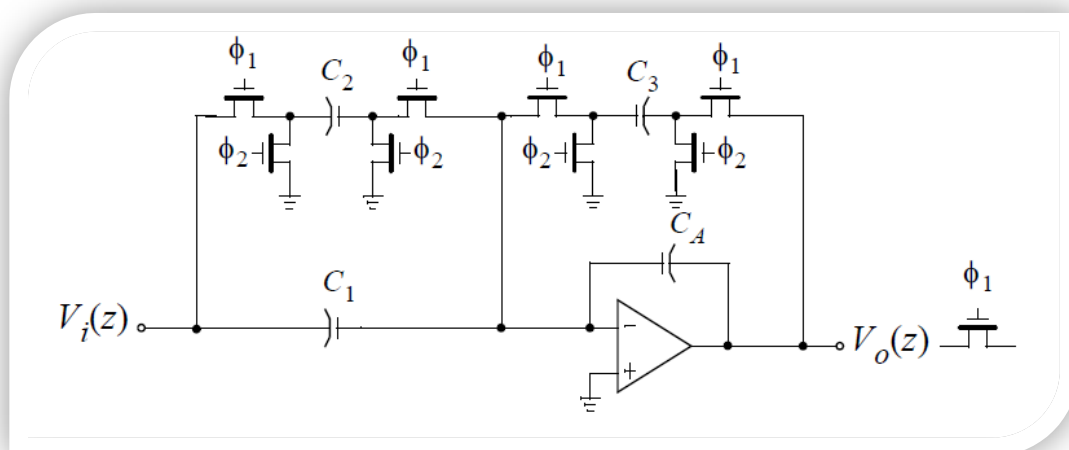


➤ طراحی یک فیلتر مرتبه اول:

شکل 21 یک فیلتر مرتبه اول را نشان می دهد. اگر تابع انتقال آن را در حوزه ای لاپلاس بدست آوریم، یک صفر دارد، و دو قطب، که در نهایت یک فیلتر درجه یک خوانده می شود. مشکل فیلتر در حالت الف چیست؟ مسئله اول عدم دقت، سرعت پایین تر، ساخت برای مدار مجتمع هم نامناسب تر است. تا اینجا بحث سر این بود که وقتی که یک مقاومت داریم، باید آن را با یک سویچ خازنی جایگزین کنیم و فیلتر را در حوزه گسسته زمان آنالیز می کنیم، که در **حوزه ی گسسته زمان به جای تبدیل لاپلاس از تبدیل Z** استفاده می کنیم. حال فیلتر مرتبه اول که در آن سویچ خازنی استفاده شده است در شکل 22 آورده شده است.

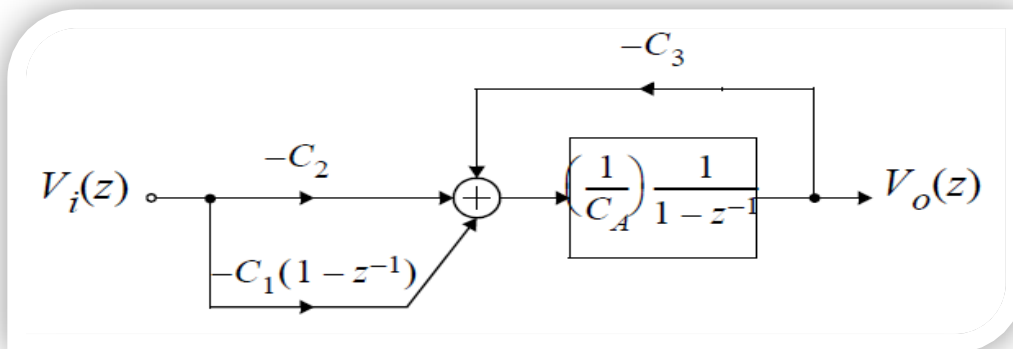


شکل 21



شکل 22

یادی از درس سیگنال هم کنیم، به یاد داشتیم برای سیگنال های پیوسته زمان، یک تبدیل داشتیم که اهمیت زیادی داشت، که ان تبدیل لاپلاس بود. ولی برای سیگنال های گسسته زمان، از یک تبدیل به نام تبدیل Z استفاده می کردیم. پس کمی به خود زحمت می دهیم و تبدیل Z برای فیلتر محاسبه می کنیم. شکل 23 یک شمای کلی از طریقه محاسبه تبدیل Z را به ما می دهد، که برای اپ امپ یک تابع تبدیل در حوزه ی Z در نظر گرفته است.



شکل 23

که در نهایت به معادله ی 10 می رسیم.

$$C_A(1 - z^{-1})V_o(z) = -C_3V_o(z) - C_2V_i(z) - C_1(1 - z^{-1})V_i(z)$$

$$H(z) \equiv \frac{V_o(z)}{V_i(z)} = -\frac{\left(\frac{C_1}{C_A}\right)(1 - z^{-1}) + \left(\frac{C_2}{C_A}\right)}{1 - z^{-1} + \frac{C_3}{C_A}}$$

$$= -\frac{\left(\frac{C_1 + C_2}{C_A}\right)z - \frac{C_1}{C_A}}{\left(1 + \frac{C_3}{C_A}\right)z - 1}$$

معادله 10

در تابع تبدیل قطب و صفر که محاسبه کنیم به معادلات 11 می‌رسیم.

معادله 11

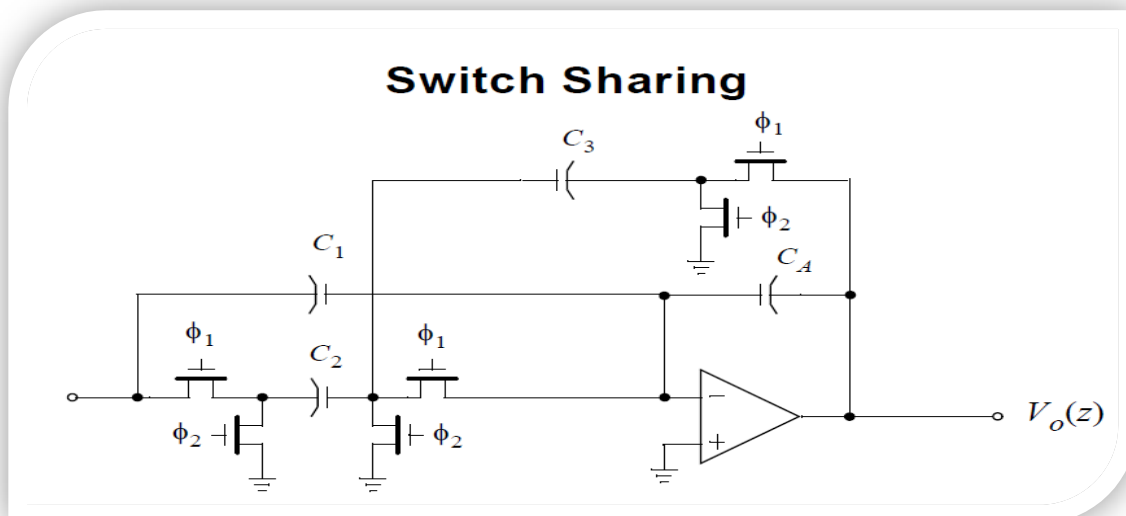
$$z_p = \frac{C_A}{C_A + C_3}$$

$$z_z = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

در تابع تبدیل به ازای $Z=1$ کین در حالت دی‌سی بدست می‌آید.

$$H(1) = \frac{-C_2}{C_3}$$

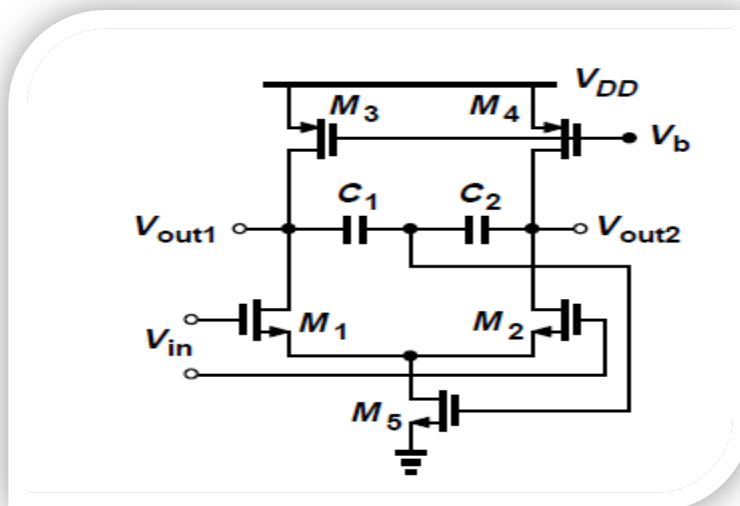
برای اینکه تعداد switch ها کاهش دهیم از مدار بهبود یافته زیر استفاده می کنیم.



که اصطلاحاً اشتراک سوییچ خوانده می شوند.

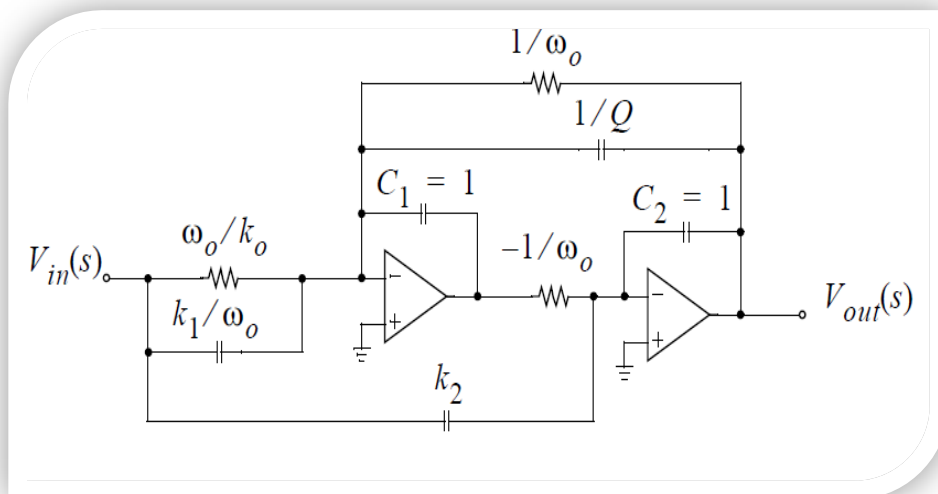
➤ بررسی CMFB با سوییچ خازنی:

در فصل های گذشته در مورد مدار های CMFB بحث شد، که یک بخش ان نمونه برداری بود و برای نمونه برداری از یک مقاومت یا یک ترانزیستور در مد ترپود استفاده می کردیم. مشکلی که این روش ها داشتند ناحیه خطی را محدود کرده بود. حال در اینجا می خواهیم از سویچ های خازنی استفاده کنیم. شکل زیر مدار یک کامن مد فیدبک را که به جای مقاومت از خازن استفاده شده است را نشان می دهد. در حالتی که از خازن استفاده می کنیم حساسیت نسبت به حس کردن ولتاژ مشترک خروجی خیلی بیشتر می شود.

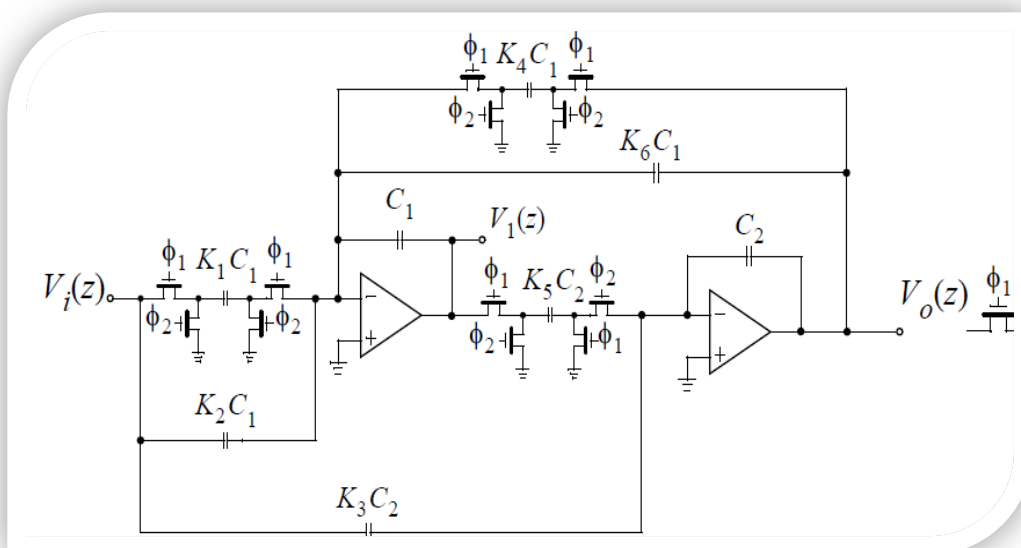


شکل

شکل یک فیلتر فرکانس بالا بایکو د نشان می دهد، که Q ان خیلی بزرگتر از یک می باشد.



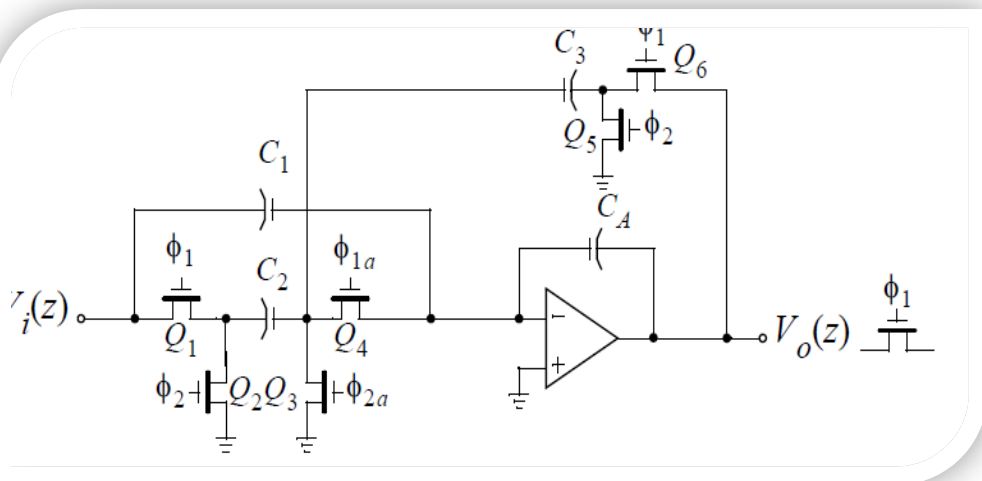
حال برای بهبود مدار از سویچ های خازنی استفاده می کنیم. که در شکل زیر آورده شده است.



که تابع تبدیل در حوزه ی Z، در زیر آورده شده است.

$$H(z) \equiv \frac{V_o(z)}{V_i(z)} = -\frac{K_3 z^2 + (K_1 K_5 + K_2 K_5 - 2K_3)z + (K_3 - K_2 K_5)}{z^2 + (K_4 K_5 + K_5 K_6 - 2)z + (1 - K_5 K_6)}$$

نکه برای کاهش charge injection به جای سویچ ها خازنی از سویچ های مکمل فولدد استفاده کرده است و ان را کاهش داده است.



➤ نتیجه گیری: من از این تحقیق برداشتی که داشتم این بود اگر چه مدارات انالوگ استفاده های خاص خود را دارند، اگر به دنبال کاهش خطا و افزایش دقت می باشیم، باید خواه ناخواه به سمت مدار های دیجیتال حرکت کنیم. بیخودی هم نیست امروزه تمام اجزای مخابراتی، الکترونیکی مانند میکسر، مدولاتور، فیلتر ها، تقویت کننده های دقیق به سمت این تکنیک رفته اند.

Reference:

- I. Allen and Holberg - *CMOS Analog Circuit Design*
- II. *Design of Analog CMOS Integrated Circuits By Behzad Razavi*
- III. *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits By GRAY, HURST*
Fourth edition
- IV. Switched-Capacitor Circuits *David Johns and Ken Martin University of Toronto*
- V. Switched-Capacitor Circuits Jørgen Andreas Michaelsen Spring 2013
- VI. www.edaboard.com