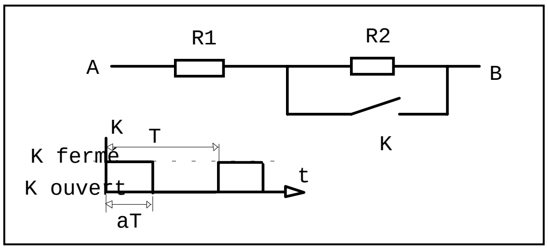
Les composants commutés

Ce sont des structures dynamiques dont la réalisation a été rendue possible grâce aux performances des MOS en commutation.

Les résistances commutées



Sur la figure ci contre l'interrupteur K , qui est en réalité un MOS , est manœuvré périodiquement ,et fermé pendant une proportion a de la période.

Appliquons entre A et B une tension V. Pendant la durée aT ou K est fermé le courant circulant entre les deux bornes est V/R_1 et la quantité de charge transmise $\frac{V}{R_1}aT$

Pendant la durée ou K est ouvert le courant devient V/(R1+R2) et la charge transmise : $\frac{V}{(R_1+R_2)}(1-a)T$

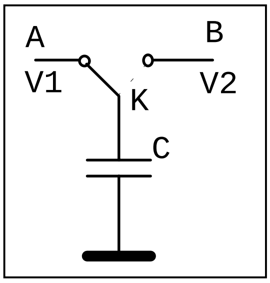
Soit au total pendant une période une charge $VT\left(\frac{a}{R_1}+\frac{1-a}{R_1+R_2}\right)$ or une résistance unique R pendant cette même durée laisserai passer VT/R . Tout se passe en moyenne comme si une résistance $R=\frac{1}{\left(\frac{a}{R_1}+\frac{1-a}{R_1+R_2}\right)}$ était connectée entre A et B . Si les signaux qui circulent entre A et B ont une fréquence toujours inférieure à la moitié de la fréquence de commutation de K ,on peut montrer (théorème d'échantillonnage) que le comportement est le même qu'avec une résistance fixe R. En agissant sur le rapport cyclique du signal de commande de commande de K on modifie à volonté cette résistance équivalente, c'est tout l'intérêt du système.

Nous décrirons dans le chapitre sur les filtres une application de ce principe.

Les capacités commutées

Cette méthode est beaucoup plus répandue que la précédente.

Considérons le condensateur C qui est alternativement connecté aux deux points A et B dont les potentiels sont respectivement V_1 et V_2.



Lorsque C est basculé du coté gauche il possède une charge $Q_1=CV_1$, du coté droit cette charge est devenue $Q_2=CV_2$, le basculement de K a donc comme conséquence de faire transiter de A vers B une charge

$Q_1-Q_2=C(V_1-V_2)$ qui doit être absorbée par le circuit qui maintient la tension V_2 au point B .?

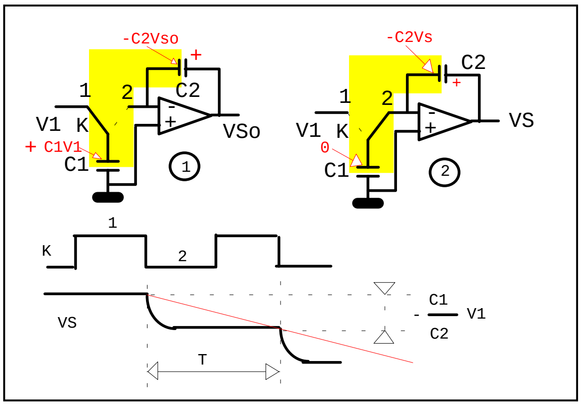
Soit T la période du mouvement de K , le transfert de charge précédent correspond à un courant moyen $C(V_1-V_2)/T$, or pendant le même intervalle de temps une résistance R branchée entre ces deux points serait parcourue par un courant $I=(V_1-V_2)/R$ .Tout se passe donc en moyenne comme si une résistance $R=\frac{T}{C}$ était placée entre A et B. Avec un condensateur et un commutateur on a donc réalisé l'équivalent d'une résistance R inversement proportionnelle à la fréquence de commutation.

Le calcul précédent n'a de sens que si l'apport de charge au point B ne modifie pas la tension en ce point, la façon la plus simple pour maintenir ce potentiel est d'utiliser un amplificateur opérationnel pour lequel V+=V-=0

La figure suivante représente le circuit de base ,nous allons montrer qu'il s'agit d'un intégrateur .

Le système est d'abord dans l'état 1 (figure de gauche) Le condensateur C_1 est chargé sous une tension V_1 , c'est à dire qu'une charge $+C_1V_1$ est présente sur son armature supérieure. De même si V_{S0} est la tension présente à cet instant en sortie l'armature de gauche de C_2 porte la charge $-C_2V_{S0}$.

Lorsque l'interrupteur bascule il se trouve pendant un bref instant en position intermédiaire et les deux armatures regroupées dans le cadre jaune sur la figure se trouvent isolées ,leurs charges respectives ne changent pas. (L'impédance d'entrée de l'ampli op est infinie) , et leur charge totale est $C_1V_1-C_2V_{S0}$



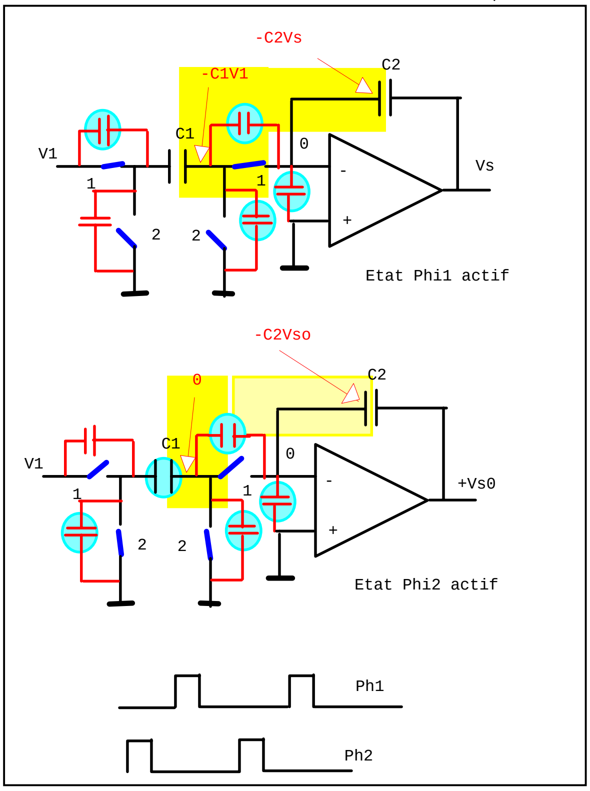
Lorsque l'interrupteur se trouve en position 2 , l'armature supérieure de C_1 n'a plus de charge puisque ce condensateur n'est plus chargé, (car V+=V-=0) ,par contre si V_S est la nouvelle tension de sortie l'armature de gauche de C_2 porte $-C_2V_S$. Mais la charge totale dans la zone marquée en jaune n'a pas pu changer , donc :

$$C_1V_1 - C_2V_{S0} = -C_2V_S$$

D'ou : $V_S = V_{S0} - \dfrac{C_1}{C_2}V_1$

Nous avons vu que le condensateur commuté C1 était équivalent à une résistance $R=T/C_1$,le montage ressemble donc à un intégrateur dont la tension de sortie serait $V_S = -\dfrac{1}{RC_2}\displaystyle\int_0^T V_1(t)dt$

Pour une durée T cette tension de sortie varie de $-\dfrac{V_1}{RC_2}T$ ce qui avec $R=T/C_1$ correspond bien à l'amplitude du créneau observé plus haut. Le potentiel Vs descend en marches d'escalier, mais la pente moyenne est la même que celle observée avec un intégrateur classique construit avec un condensateur C_2 et une résistance $R=T/C_1$.



Ce montage qui fonctionne très bien en circuits discrets avec un condensateur C_1 de l'ordre du nF n'est pas transposable en structure intégrés car dans ce cas le condensateur C_1 ne pouvant pas dépasser le pF serait du même ordre de grandeurs que les capacités parasites internes .

Pour annuler l'influence de ces capacités parasites il faut faire appel à une structure dans laquelle ils sont tous déchargés dans chaque étape du processus. Pour cela il faut mettre en œuvre 4 interrupteurs au lieu de 2 , pilotés par un signal biphasé Φ_1,Φ_2.(l'interrupteur est fermé lorsque le signal d'horloge est au niveau 1)

Deux configurations sont possibles suivant la façon dont sont attaqués les 4 MOS.

Intégrateur négatif

Le schéma est celui de la figure ci contre. Les deux MOS série sont fermés (Phi1=1) ,puis c'est le tour des MOS parallèles (Phi2=1) ..La capacité commutée est cette fois placée en série avec l'entrée, les capacités parasites sont représentées en rouge.

Partons de l'état Phi2 actif. La tension de sortie est alors V_{S0}. et C_1 déchargé par les deux MOS parallèles. Les condensateurs parasites dessinés en rouge et placés dans un cercle bleu sont déchargés soit par les MOS qui les court-circuitent, soit parce que V+=V-.

Les deux zones marquées en jaune contiennent des charges :

0 pour celle de gauche car C1 et les capacités parasites sont déchargées.

$-C_2V_{S0}$ pour celle de droite .

Lorsque tous les MOS se bloquent ces charges sont piégées .

Lorsque le système passe dans l'état Phi1 les deux zones jaune fusionnent ainsi que les charges qu'elles contiennent. Mais dans cet état C1 est chargé sous V1 , les capacités en bleu n'interviennent toujours pas car elles portent une charge nulle. La tension de sortie à changé et est devenue Vs , la charge totale dans la zone jaune est maintenant :

$-C_1V_1-C_2Vs$

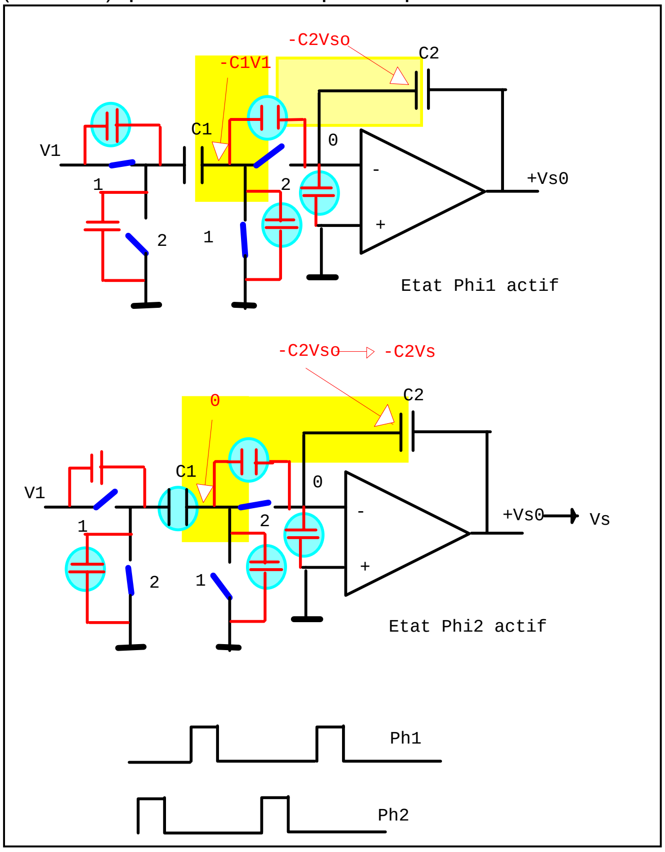
La conservation de la charge permet d'écrire $-C_1V_1-C_2Vs=-C_2V_{S0}$

D'ou $V_S = V_{S0} - \dfrac{C_1}{C_2}V_1$

C'est la relation trouvée plus haut. Le montage est un intégrateur à coefficient négatif.

Intégrateur positif

Les MOS sont maintenant commandés en croix . Partons comme plus haut de l'état Phi2 actif et admettons que l'état initial de Vs soit V_{S0}.Comme plus haut les capacités parasites sont déchargées (en bleu) par les MOS ou parce que V+=V-=0.La zone en jaune contient une charge totale :



$0-C_2V_{S0}$

Lorsque le système passe dans l'état Phi1 actif , la zone jaune est scindée en deux.A droite la charge $-C_2V_{S0}$ reste piégée sur l'armature gauche de C_2 et Vs ne change pas. A droite la capacité C_1 se charge et place sur son armature de droite $-C_1V_1$.

Lorsque les MOS se bloquent ces charges sont piégées et se retrouvent dans la zone jaune pour Phi2 de nouveau actif. La tension de sortie passe alors à Vs et le bilan de charges s'écrit :

$0-C_2V_S=-C_1V_1-C_2V_{S0}$

Soit :

$$V_S = V_{S0} + \frac{C_1}{C_2}V_1$$

Le signe de l'accroissement a été inversé, il s'agit maintenant d'un intégrateur positif.

Ces deux montages constituent le cœur des filtres à capacités commutées que nous décrirons plus loin.

La commutation de condensateur est utilisée pour réaliser d'autres fonctions , des amplificateurs en bouclant un ampli op par deux condensateurs commutés, et aussi des alimentations. (Pompes de charges , voir plus loin).