

Electronique I

Cours 1

Introduction

Electronique

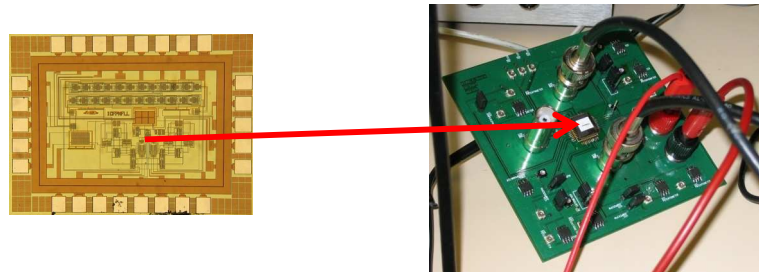
- L'electronique est devenue omnipresente
 - Ordinateur a la maison
 - Telephone cellulaire
 - ...
- Meme les produits non-electronique sont devenus electroniques:
 - Voiture
 - Cuisine
 - ...

Electronique

- Commencons par faire la distinction entre 2 sortes d'electronique:
 - Macro-electronique (ou “electronique”), ou la conception se fait a base de composants discrets



- Micro-electronique, ou la conception se fait pour que tout se retrouve sur du silicium

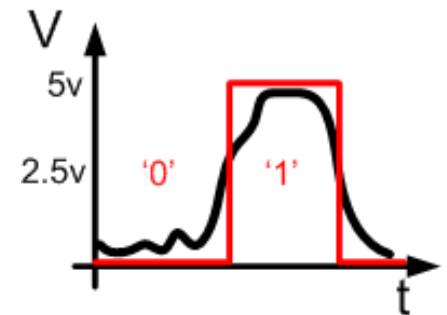


Electronique

- On va aussi faire la distinction entre plusieurs genres d'electronique:
 - Numerique: Ou on y voit que des '1' et '0'
 - Analogique: Ou une plage de tension et courant sont disponibles
 - Mixte: Ou on y retrouve les 2 formats

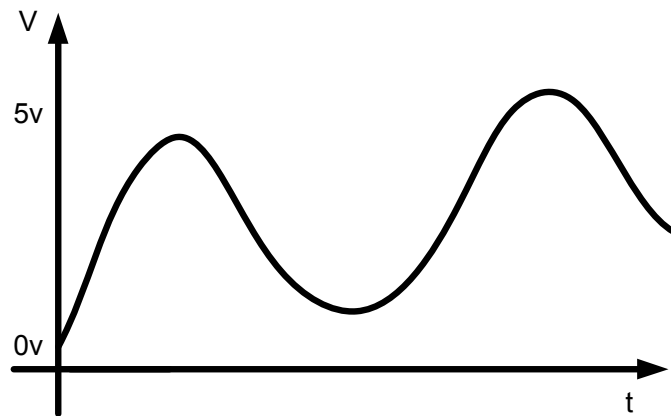
Numerique

- Pour un circuit numerique, on INTEPRETE les tensions:
 - Une certaine plage de tension sera '1'
 - Une certaine plage de tension sera '0'
- Par exemple:
 - Source de 5v (0v et 5v)
 - On va dire que 2.5v a 5v sera '1'
 - On va dire que 0v a 2.5v sera '0'



Analogique

- Un circuit analogique va utiliser toute une plage de tension
- On va s'intéresser à la valeur "exacte" du voltage



Mixte

- Dans le mixte:
 - Certaines parties numeriques
 - Certaines parties analogiques
- Exemple:
 - Convertisseurs analogique-a-numerique
 - Convertisseurs numerique-a-analogique

Qu'est-ce qui est meilleur?

- Les nouveaux produits utilisent tous le mot numérique:
 - TV avec traitement d'image numérique
 - Camera avec processeur video numérique
 - Films enregistrés en numérique
 - ...
- Est-ce que ça veut dire que “numérique” est meilleur?

Qu'est-ce qui est meilleur?

- **Commençons par dire “oui” (pas vrai)**
 - Plus robuste au bruit
 - Garde l'information sans degenerer
 - Habituellement plus petit, plus rapide et consomme moins de puissance
 - Habituellement plus facile a concevoir
- **“Migration” vers le numerique**
 - Filtres numeriques
 - Asservissement numerique

Qu'est-ce qui est meilleur?

- MAIS! Le monde extérieur n'est pas numérique.
 - La tension qui sort d'un micro n'est pas 0 ou 1
 - Alors, je ne peux pas utiliser un système numérique directement
 - Il faut amplifier, échantillonner et quantifier avant: toutes des fonctions analogiques
- Donc, on a besoin de l'analogique/mixte

6GEI300: Vue d'ensemble

- On va parler des systemes numeriques et analogiques
- On va parler de la macro et de la microelectronique
- Sert d'initiation aux cours d'electronique plus avances

6GEI300: Vue d'ensemble

- Buts du cours:
 - Comprendre le fonctionnement des composantes actives de base (diodes, transistors bipolaires et CMOS)
 - Apprendre à analyser le comportement de circuits simples
 - Développer des techniques pour implémenter, vérifier et déboguer des circuits simples

6GEI300: Vue d'ensemble

- Pour analyser ces circuits, on va les modéliser.
- On va commencer par:
 - Voir comment ils fonctionnent réellement
 - Se rendre compte que c'est trop difficile
 - Trouver une approximation qui peut nous simplifier la vie
- On va faire ça pour chaque composant

Themes abordes

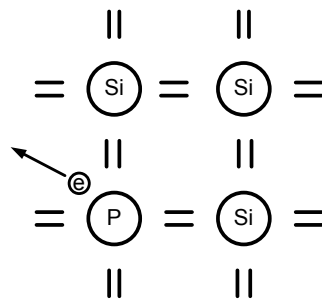
- C'est fait comment?
- Qu'est-ce qui se passe dedans?
- On met les morceaux ensemble
 - Differents types de diodes
 - Transistors bipolaires
 - Transistors CMOS
- Qu'est-ce qu'on peut faire avec?

C'est fait comment?!

- On va voir comment est fait un circuit électronique
- Ca va nous aider a comprendre les caracteristiques
- Ca va aussi nous guider a savoir ce qu'on a besoin de savoir...

Physique des semiconducteurs

- Façon sophistiquée de dire “qu’est-ce qui se passe avec les molécules?”
- Théorie un peu abstraite mais utile
- Sert comme base à la compréhension des circuits électroniques
- Demarque l’ingénieur du technicien...



Les diodes

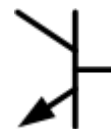
- On va voir la structure des diodes
- On va examiner le comportement des diodes
- Voir les différents genres de diodes
- Voir les applications des diodes
- Voir comment analyser le comportement des diodes avec les mathématiques



Les transistors bipolaires

- Ce sont les transistors les plus courants en composants discrets
- On va voir la structure de ces transistors
- Voir ce qu'on peut faire avec ces transistors
- Examiner leur comportement mathématiquement
- Nous préparer pour électronique II

NPN



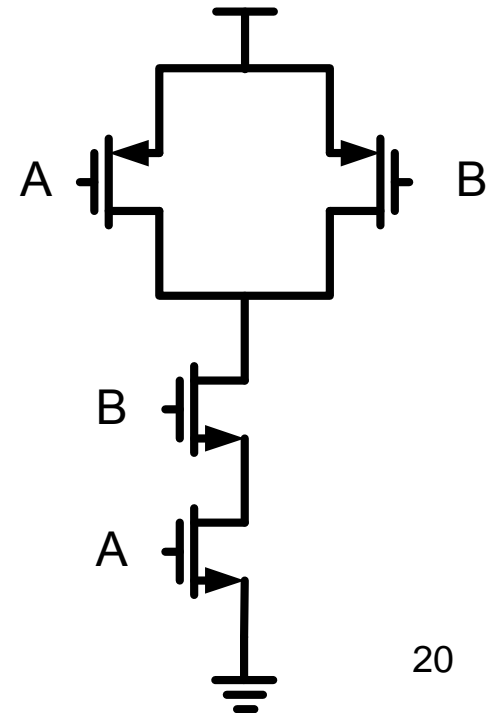
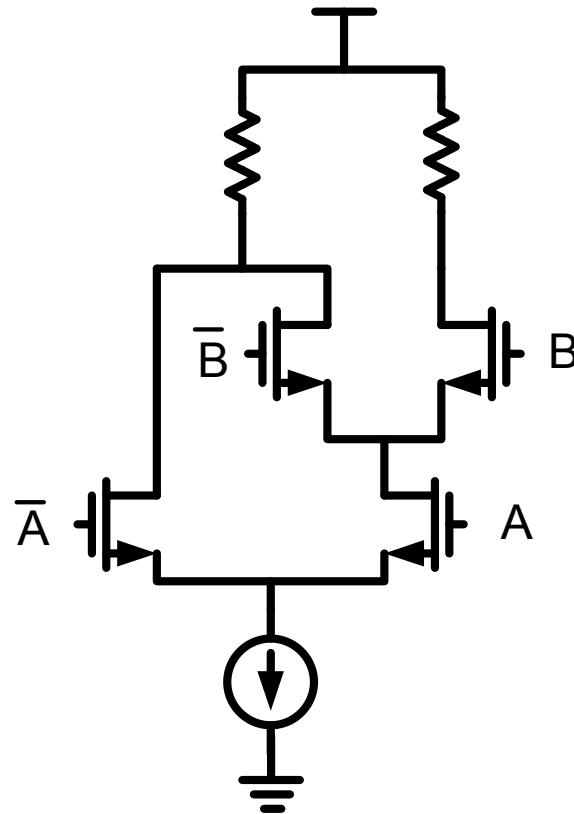
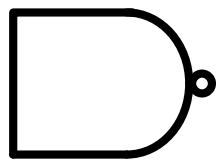
Les transistors CMOS

- Les transistors CMOS sont les plus courants en circuits integres
- On va voir la structure, les caracteristiques et le fonctionnement
- On va examiner ca mathematiquement
- Ca va etre la base pour electronique II



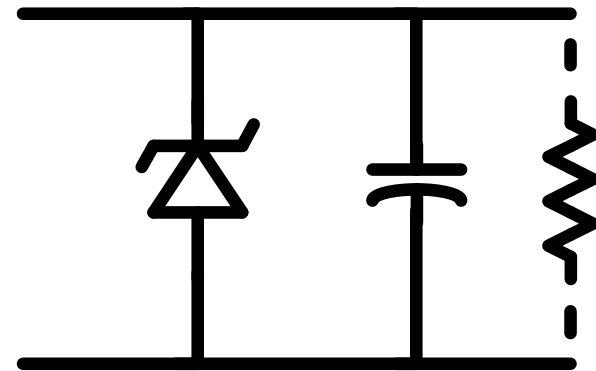
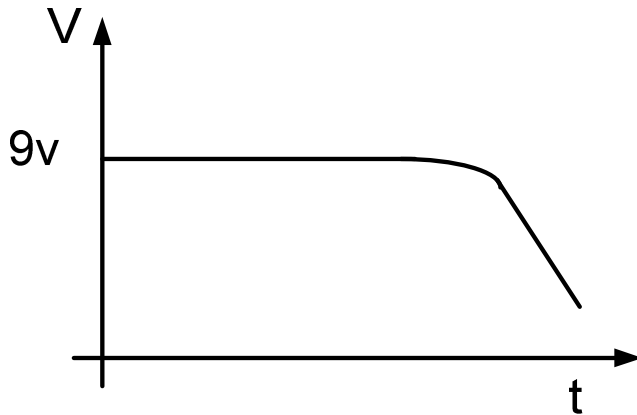
Exemples d'application

- Tout systeme numerique contient des portes logiques



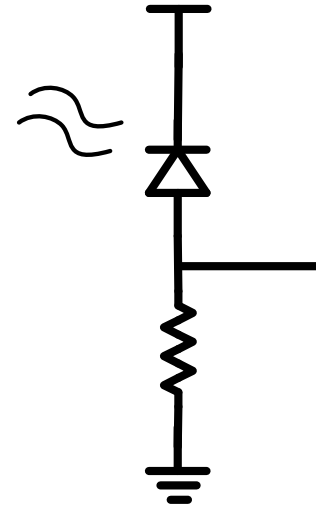
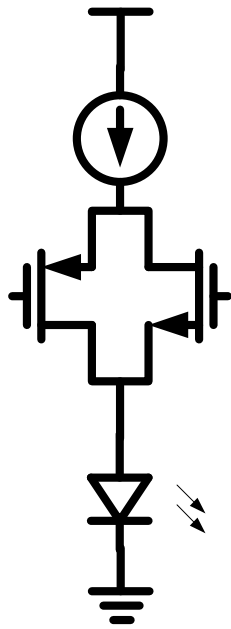
Exemples d'application

- Produits portables operent avec des batteries
- Avec le temps, voltage baisse: regulation



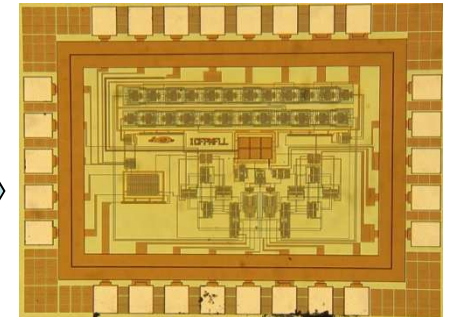
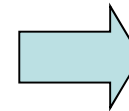
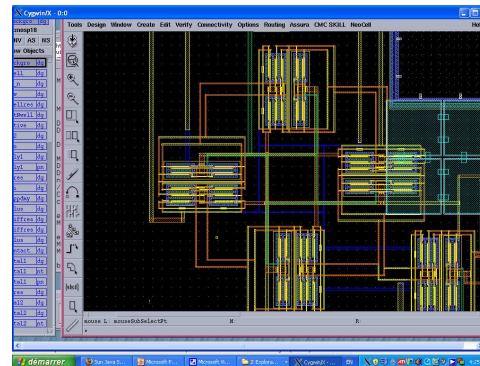
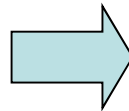
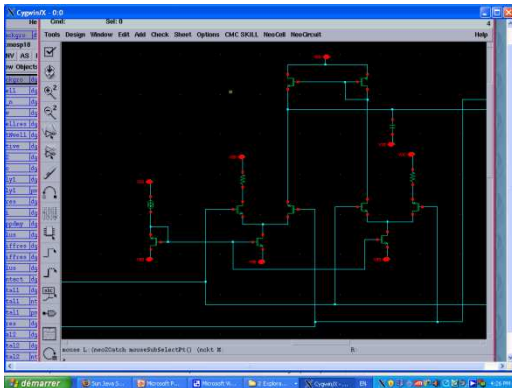
Exemples d'application

- Fibre optique pour l'envoi d'information haute vitesse sur des longues distances
- Conversion électrique-optique (vice versa)



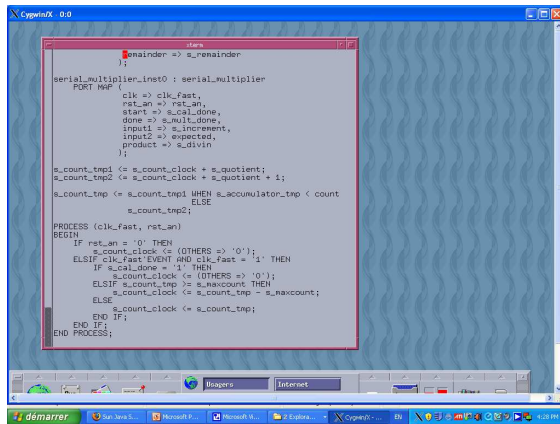
Exemples de débouchés...

- Concepteur de circuits intégrés
 - Concevoir des puces de haute performance..



Exemples de débouchés...

- Concepteur de systèmes
 - Concevoir des systèmes/produits complets



```

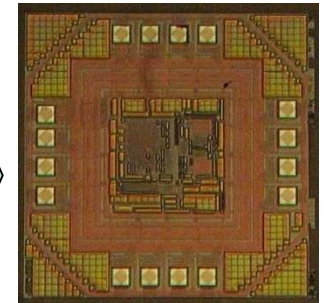
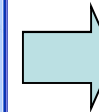
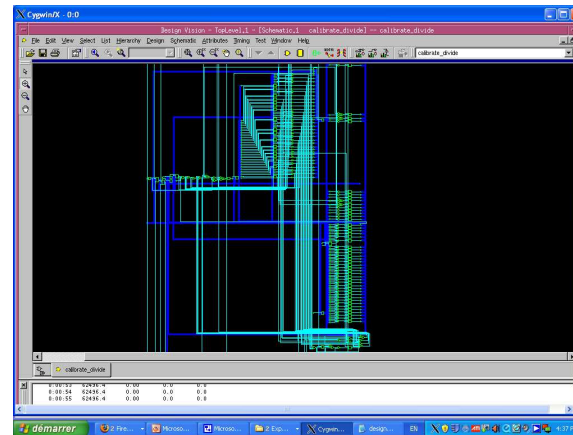
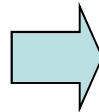
--mainder => s_remainder
}

serial_multiplier_inst0 : serial_multiplier
PORT MAP
(
  clk => clk_fast,
  rst_an => rst_an,
  start => s_cal_done,
  done => s_mult_done,
  input1 => s_increment,
  input2 => s_expected,
  product => s_divin
);

s_count_tmp1 <= s_count_clock + s_quotient;
s_count_tmp2 <= s_count_clock + s_quotient + 1;
s_count_tmp <= s_count_tmp1 WHEN s_accumulator_tmp < count
  s_count_tmp2;

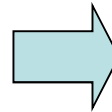
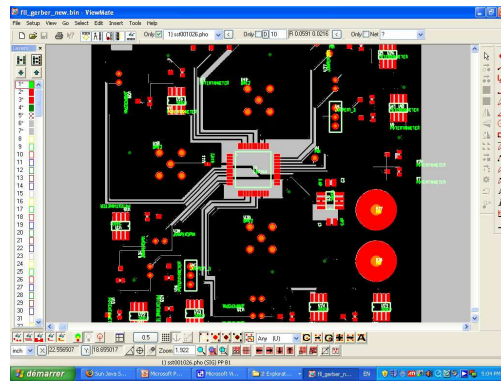
PROCESS (clk_fast, rst_an)
BEGIN
  IF rst_an = '0' THEN
    s_count_clock <= (OTHERS => '0');
  ELSIF clk_fast'EVENT AND clk_fast = '1' THEN
    IF s_cal_done = '1' THEN
      s_count_clock <= (OTHERS => '0');
    ELSIF s_count_tmp >= s_maxcount THEN
      s_count_clock <= s_count_tmp - s_maxcount;
    ELSE
      s_count_clock <= s_count_tmp;
    END IF;
  END IF;
END PROCESS;

```



Exemples de debouches...

- Concepteur de circuits imprimés
 - Concevoir des plaquettes a haute vitesse



Resume

- L'electronique vient en plusieurs saveurs:
 - Micro vs Macro
 - Analogique vs. numerique vs. mixte
- En 6GEI300, on va couvrir la base pour pouvoir s'en aller n'importe ou
- On a vu les tendances vers la miniaturisation et l'integration
- Ces tendances nous montrent les defis

Resume

- Pour comprendre l'électronique, il faut comprendre:
 - R, L, C, transformateur
 - Sources de I et V, dépendante et indépendantes
 - Diodes et transistors
- Plus tard, on mettra tout ça ensemble pour faire des choses utiles

Introduction

- La compréhension du cours depend beaucoup des connaissances anterieures
 - Connaissance des composantes passives (resistances, capacites et inductances)
 - Connaissance des sources de tension et de courant
 - Connaissance des regles de base (diviseur de tension, diviseur de courant, connexion parallele et serie, etc.)
- On prend le temps pour s'assurer que le tout est maitrise...

Assurez-vous que le tout soit bien assimile...

Composantes passives

- Resistance: element qui ralentit les charges



- Condensateur: element qui accumule les charges



- Empeche le changement rapide de tension a ses bornes

- Inducteur: element qui empeche le changement rapide du courant



Sources

- Source de tension: Element qui fournit TOUJOURS la meme tension
 - Donne le courant necessaire pour avoir la tension voulue



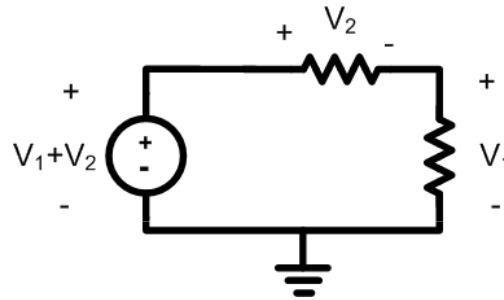
- Source de courant: Element qui fournit TOUJOURS le meme courant
 - Donne la tension necessaire pour avoir le courant voulu



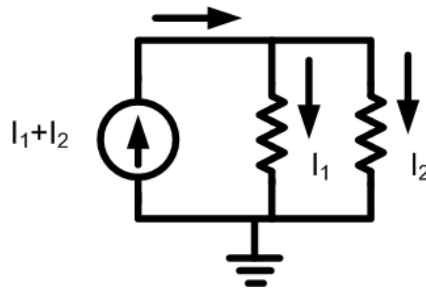
(moins commun)

Regles a savoir

- Les tensions s'additionnent en serie

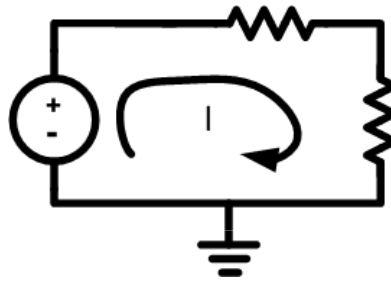


- Les courants s'additionnent en parallele

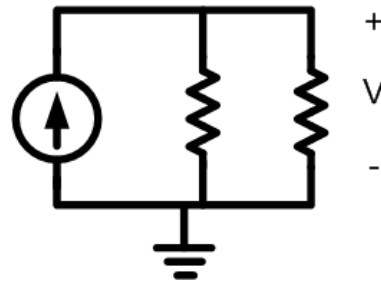


Regles a savoir

- Les elements en serie ont le meme courant

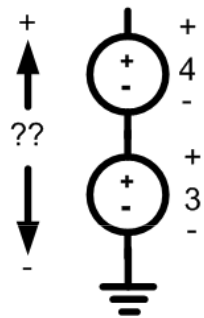


- Les elements en parallele ont la meme tension

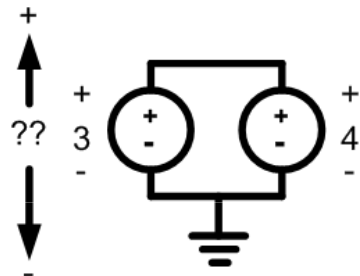


Questions sur les sources

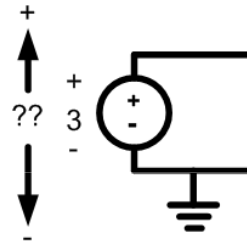
- Trouvez les tensions suivantes:



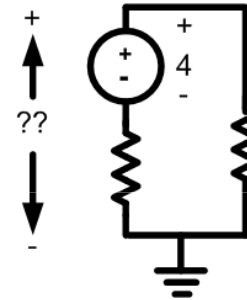
a)



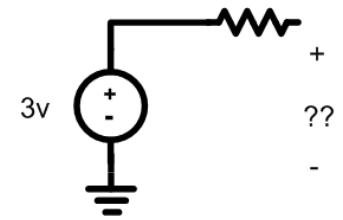
b)



c)

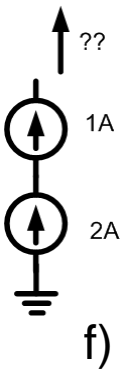


d)

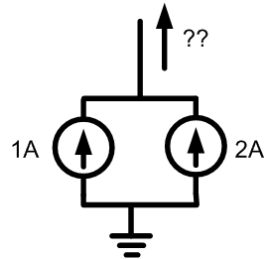


e)

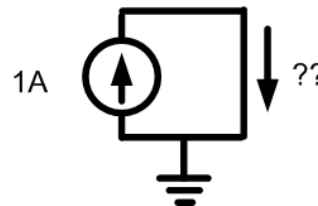
- Trouvez les courants suivants:



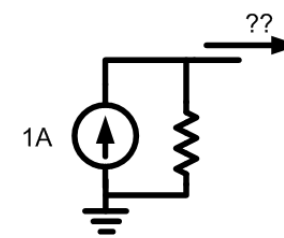
f)



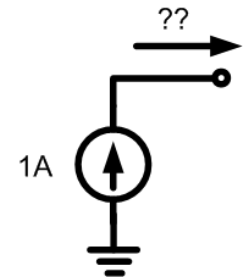
g)



h)



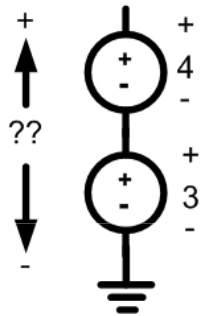
i)



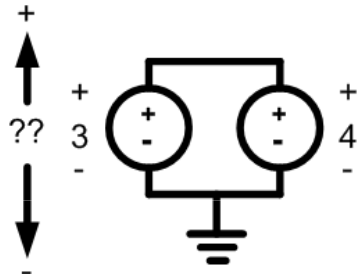
j)³³

Questions sur les sources

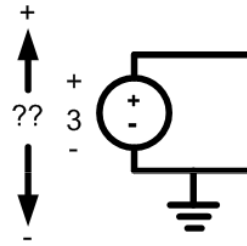
- Les tensions sont



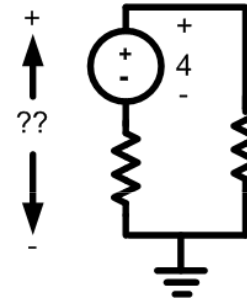
7v



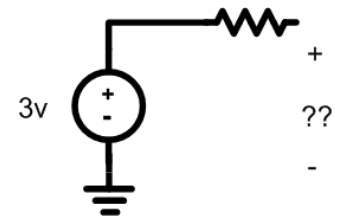
indetermine



indetermine

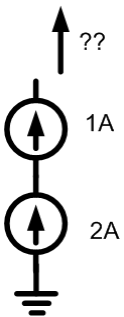


Indetermine

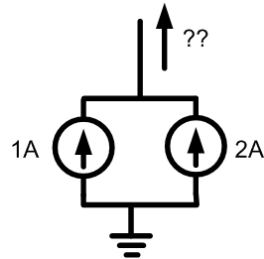


3v

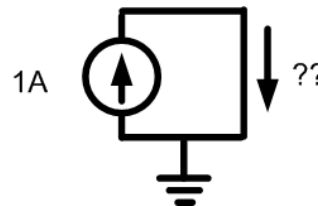
- Les courants sont



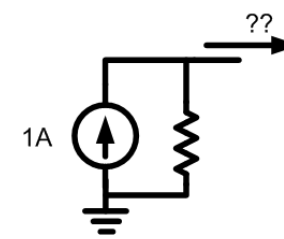
Indetermine



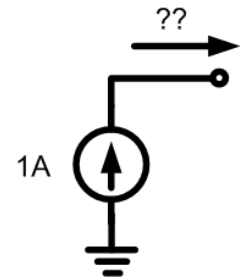
3A



1A



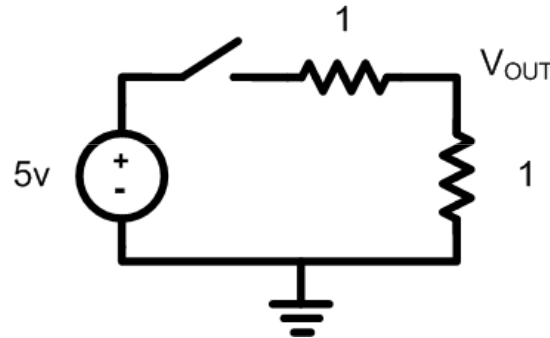
Indetermine



indetermine

Circuit resistif

- Tracez l'allure generale de la tension V_{OUT} du courant:



Circuit resistif

- La tension V_{OUT} sera le courant multiplié par la résistance de 1Ω :

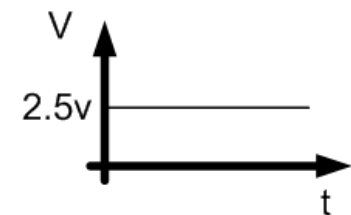
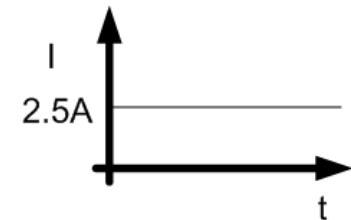
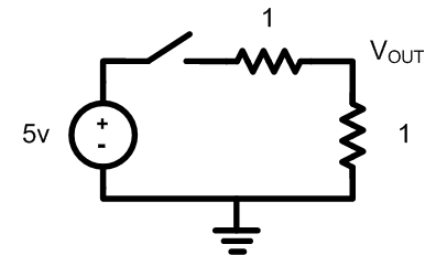
$$V_{OUT} = I \cdot R$$

- C'est quoi le courant?

$$I = \frac{5v}{1+1} = 2.5A$$

- Avec le courant, on trouve V_{OUT} :

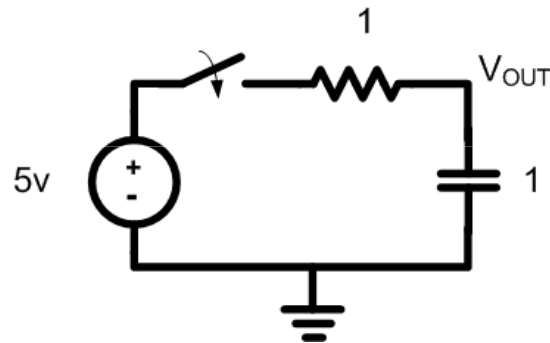
$$V_{OUT} = 2.5V$$



V et I restent constants avec le temps....

Circuit RC (R avant C)

- Tracez l'allure generale de la tension V_{OUT} du courant:

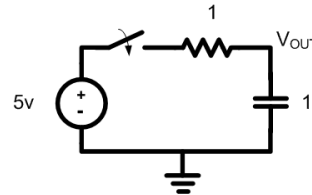


Circuit RC (R avant C)

- Oublions les equations differentielles...
 - On connait quelques regles qui peuvent nous aider...
- La tension dans C (qui est V_{OUT}) est determinee par la quantite de charges Q:

$$V = \frac{Q}{C}$$

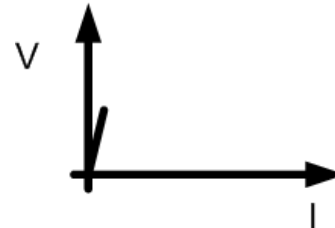
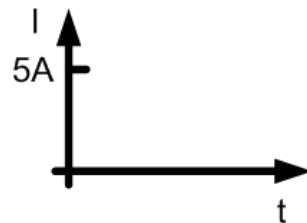
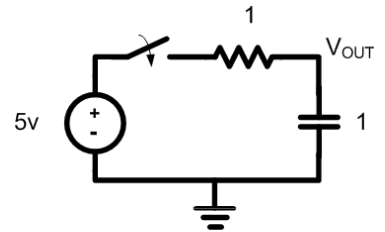
- Le courant, c'est la vitesse a laquelle Q arrive
 - Gros courant = Q arrive vite (V monte vite)
 - Petit courant = Q arrive lentement (V monte lentement)



Circuit RC (R avant C)

- Divisons la fonction en tranches de temps tres courtes...

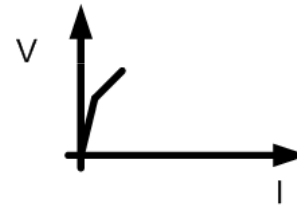
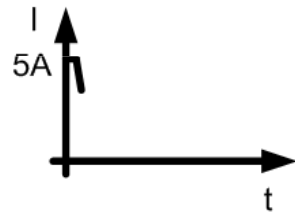
- Au debut, le condensateur est vide ($V=0$)
- Le courant c'est $(5-0)/1=5A$
- V va donc augmenter rapidement au debut



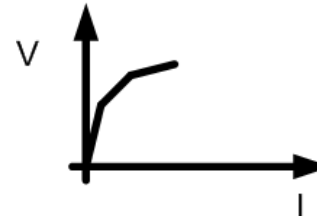
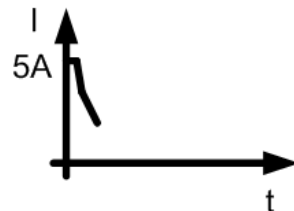
- Prenons une 2e tranche de temps...

Circuit RC (R avant C)

- Le condensateur a une tension V_1
 - Le courant sera $(5-V_1)/1$ qui sera moins que 5A
 - V va donc augmenter moins rapidement

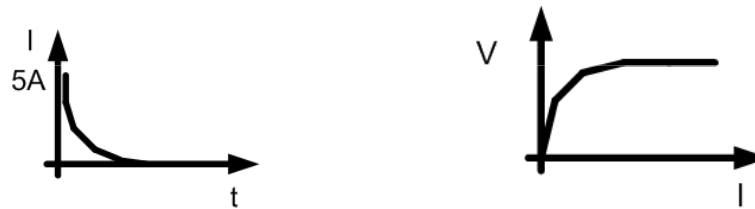


- Après une 3e tranche
 - Courant encore plus faible et tension augmente encore moins vite...

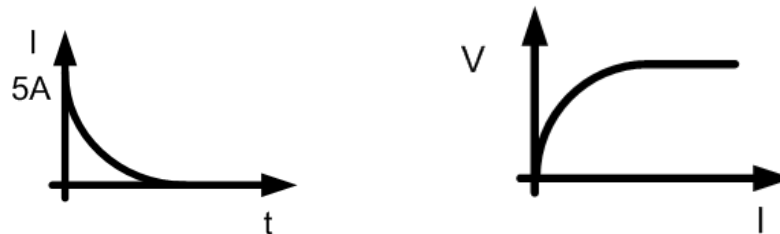


Circuit RC (R avant C)

- A la fin, on aura V_1 qui est egal a 5v
 - A ce moment, le courant sera 0
 - V va arrete de bouger

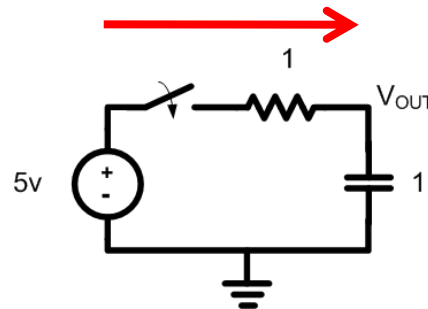


- Avec des tranches de temps plus petites, ca devient plus lisse
 - Quand ca tend vers 0s, on obtient une figure exacte



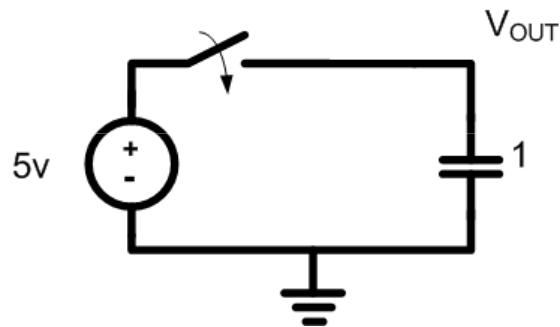
Circuit RC (R avant C)

- L'idée de base est donc:
 - La source envoie des charges vers le condensateur
 - “On CHARGE le condensateur”
 - La résistance ralentit notre déplacement de charges
 - Une fois charge, plus rien ne se produit



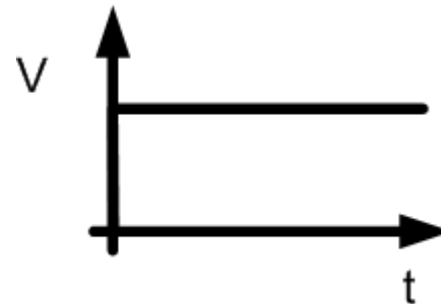
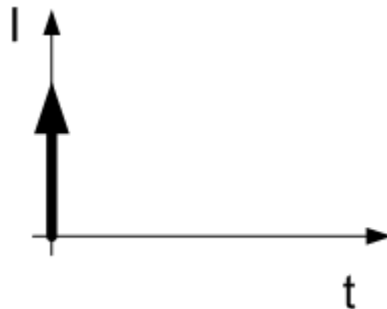
Circuit Capacitif

- Tracez l'allure generale de la tension V_{OUT} du courant:



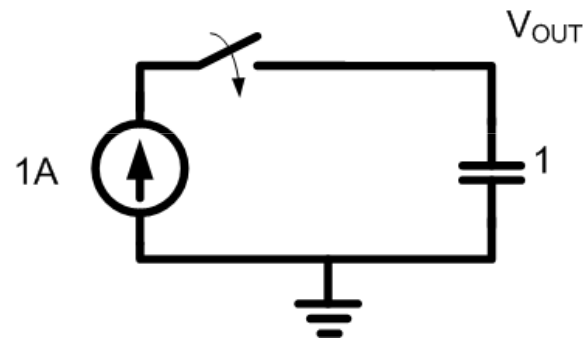
Circuit Capacitif

- On passe par le meme raisonnement que tantot...
 - Il y aura un courant entre la source et le condensateur
 - Le courant sera $(5-0)/0$ qui tend vers l'infini
 - Ca amene une tres grande quantite de charges au condensateur jusqu'a ce que la tension soit 5v



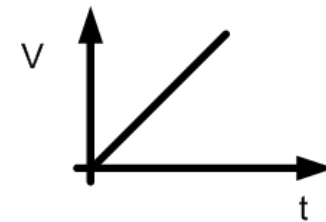
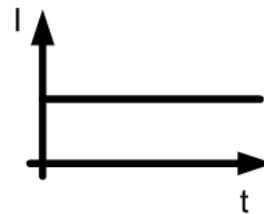
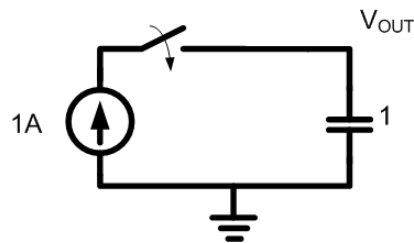
Condensateur et source de courant

- Tracez l'allure generale de la tension V_{OUT} du courant:



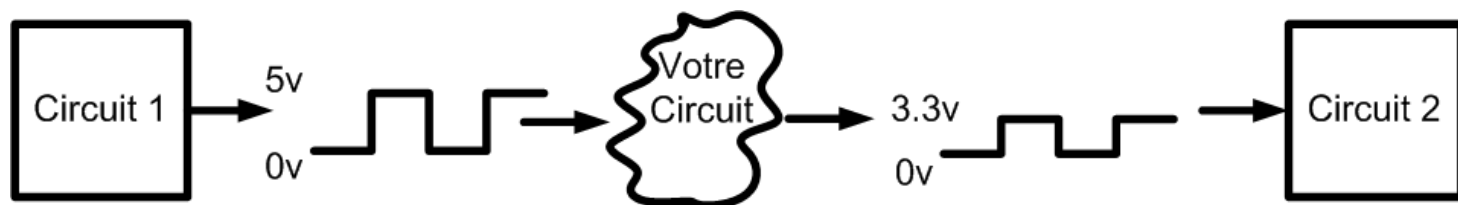
Condensateur et source de courant

- Comment trouve-t-on la tension a la sortie?
- On sait 2 choses:
 - Le courant dans le condensateur est toujours 1A
 - La tension augmente avec la quantite de charges
- $1A = 1 \text{ charge/seconde}$, donc V augmente lineairement



Exercice

- Je dois connecter 2 circuits ensemble:
 - Un circuit me donne des tensions entre 0 et 5v
 - L'autre n'ACCEPTE que des tensions entre 0 et 3.3v
- Proposez un circuit qui adapte la sortie de l'un a l'entree de l'autre
 - Circuit 1 fournit n'importe quel courant necessaire pour donner 0v et 5v

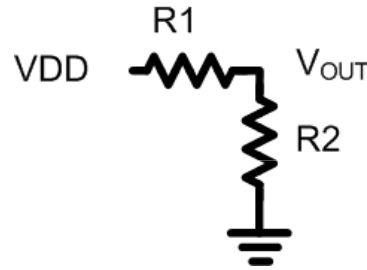


Exercice

- Etape 1: Synthèse des données
 - Quand c'est 5v, je dois sortir 3.3v
 - Quand c'est 0v, je dois sortir 0v
- Etape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Est-ce que un seul R, L ou C pourrait faire ça?
 - Est-ce que RC, RL ou RR pourrait faire ça?
- Etape 3: Déterminer les valeurs
- Etape 4: Vérifier le résultat final

Exercice

- Pour obtenir une tension plus petite, on utilise un diviseur de tension (RR)



- L'équation de diviseur de tension c'est

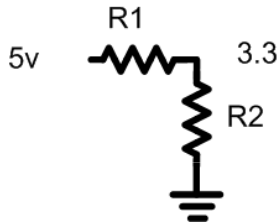
$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

- Il faut trouver les valeurs de R1 et R2

Exercice

- Les contraintes sont:

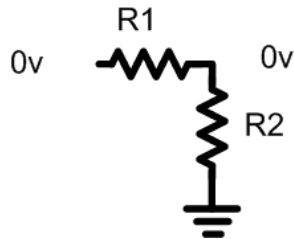
- Quand c'est 5v, je veux 3.3v



$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$3.3 = 5 \frac{R2}{R1 + R2}$$

- Quand c'est 0v, je veux 0v



$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$0 = 0 \frac{R2}{R1 + R2}$$

La 2e contrainte ne me donne pas d'information

Exercice

- Une equation a 2 variables:

- J'ai une infinite de possibilites

$$3.3 = 5 \frac{R2}{R1 + R2}$$

- En faisant des manipulations algebriques, j'obtiens

$$1.94R1 = R2$$

- Avec R2 deux fois plus gros que R1, ca devrait marcher

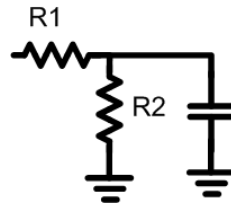
$$R1 = 5K$$

$$R2 = 10K$$

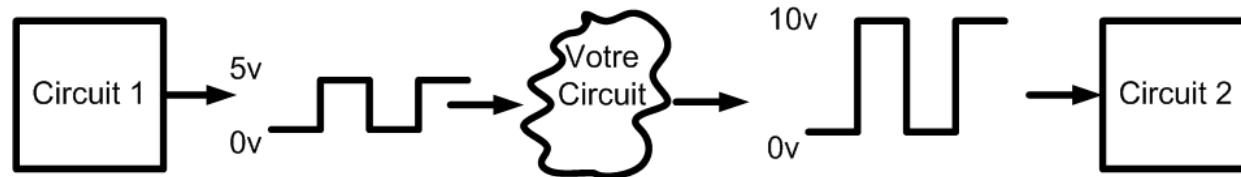
En remettant R1 et R2 dans l'equation,
ma sortie devient 3.3333v... acceptable

Discussions

- Y a-t-il une difference entre l'usage de 5K/10K et l'usage de 5M et 10M?
 - Information utile: les fils et la plaquette ont tous une capacite "parasite" (c'est une capacite sans le vouloir)



- Quelles devraient etre R1 et R2 si Circuit 2 avait besoin d'un signal entre 0v et 10v?



Exercice

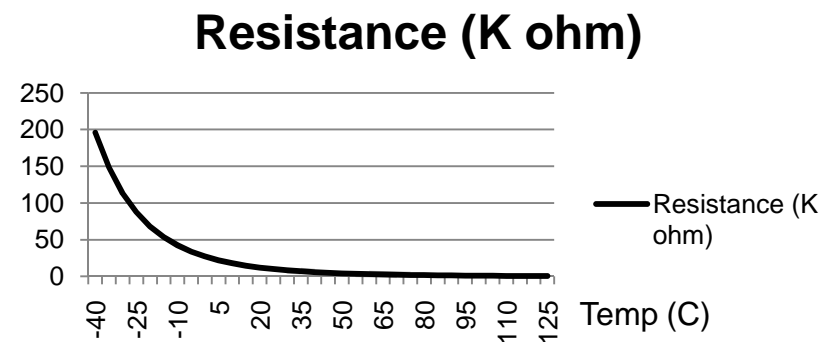
- On aimerait faire un genre de thermometre



- Change de tension avec la temperature (quand temperature augmente, V_{OUT} augmente)
- On utilise un thermistor: resistance qui change de valeur avec la temperature

- Proposez un circuit qui fonctionne entre -40C et 35C

- Alimentation=5v
- Moins de 1.5v a -40C
- Plus de 3.5v a 35C



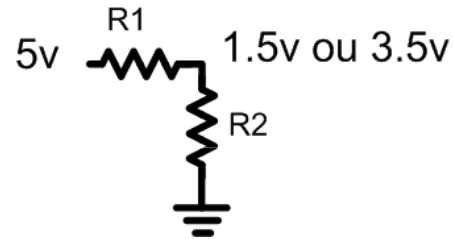
On estime que $R_{-40}=200K$ et $R_{35}=10K$

Exercice

- Etape 1: Synthèse des données
 - Quand c'est 200K, je dois sortir 1.5v
 - Quand c'est 10K, je dois sortir 3.5v
- Etape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Quel circuit change de tension avec un changement de résistance?
- Etape 3: Déterminer les valeurs
- Etape 4: Vérifier le résultat final

Exercice

- Solution possible : diviseur de tension
- Avec les donnees, on peut dessiner ceci:



- Question: c'est quoi R1 et c'est quoi R2?
Lequel est le thermistor?
- Revoyons l'equation:

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

R1=?

R2=?

Lequel est le thermistor?

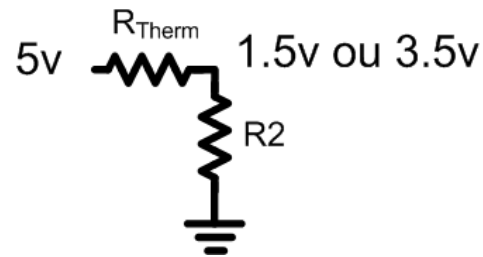
Exercice

- La resistance baisse avec la temperature:
 - La resistance baisse: on veut une tension elevee
 - La resistance monte: on veut une tension faible
- Essayons-en un... si le thermistor etait R2:
 - Quand la temperature augmente, R2 baisse
 - Si R2 baisse, V_{OUT} baisse... Pas bon!
- Essayons l'autre. Si le thermistor etait R1:
 - Quand la temperature augmente, R1 baisse
 - Si R1 baisse, V_{OUT} augmente... C'est bon

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

Exercice

- On determine les valeurs



- Quand il fait $35C$, $R_{therm} = 10K$ et $V_{OUT} = 3.5v$

$$3.5 = 5 \frac{R2}{10K + R2}$$

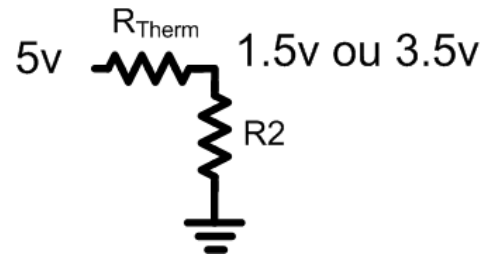
- On isole $R2$:

$$R2 = 23.3K$$

Est-ce $R2$ est la valeur minimale ou maximale pour bien fonctionner?

Exercice

- On determine les valeurs



- Quand il fait $-40C$, $R_{therm}=200K$ et $V_{OUT}=1.5v$

$$1.5 = 5 \frac{R2}{200K + R2}$$

- On isole $R2$:

$$R2 = 85.7K$$

Est-ce $R2$ est la valeur minimale ou maximale pour bien fonctionner?

Exercice

- On a besoin que R_2 soit entre 23K et 85K
- Il faut savoir que:
 - Les resistances sont pas 100% precis...
 - Les resistances changent avec la temperature aussi
- Pour minimiser les possibilites d'erreurs, on choisit au milieu:
 - On prend $R_2=50K$
- Il faut maintenant verifier

Exercice

- On met R_2 dans les equations et on veut:
 - Moins de 1.5v quand c'est -40C ($R_{\text{therm}}=200K$)
 - Plus de 3.5v quand c'est 35C ($R_{\text{therm}}=10K$)

$$V_{OUT-40} = 5 \frac{50K}{200K + 50K}$$

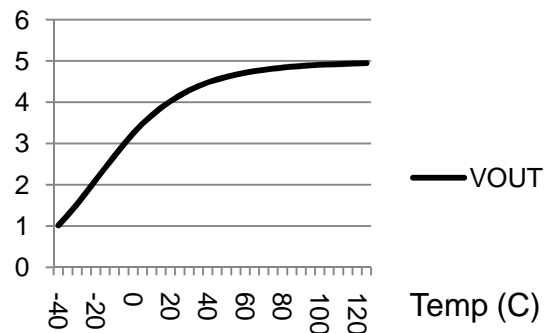
$$V_{OUT+35} = 5 \frac{50K}{10K + 50K}$$

- On obtient ceci:

$$V_{OUT-40} = 1$$

$$V_{OUT+35} = 4.16$$

- Reponse generale:



Exercice (seul)

- Il existe des capteurs de pression qui varient leur resistance selon la pression:
 - Avec pression, la resistance est de 1K
 - Sans pression, la resistance est de 1M
- Concevez un circuit qui:
 - Est alimente par 3.3v
 - Qui donne PLUS que 3v s'il y a pression
 - Qui donne MOINS que 0.3v s'il n'y a PAS de pression



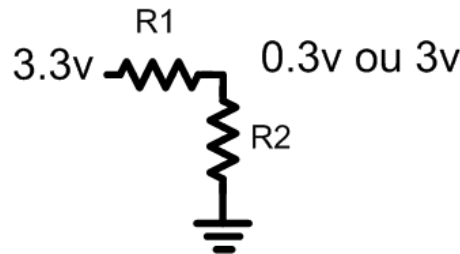
Note: On peut considerer le capteur comme etant une resistance...

Exercice (seul)

- Etape 1: Synthèse des données
 - Quand c'est 1K, je dois sortir 3v
 - Quand c'est 1M, je dois sortir 0.3v
- Etape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Est-ce que ça va ENCORE être un diviseur de tension?
- Etape 3: Déterminer les valeurs
- Etape 4: Vérifier le résultat final

Exercice (seul)

- En diviseur de tension, déterminons où va le capteur de pression:
 - Est-ce que c'est R1 ou R2?
- Si je mettais de la pression, je voudrais 3v
 - Avec la pression, la résistance baisse
 - Quand la résistance baisse, je veux une “haute” tension
 - Quel R donne VOUT élevée quand sa valeur est faible?



$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

Exercice (seul)

- Avec de la pression, la tension devrait être 3v

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2} \quad 3 = 3.3 \frac{R2}{1K + R2}$$

- On isole R2: $R2 = 10.1K$ 10.1K minimum ou maximum?

- Sans pression, la tension devrait être 0.3v

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2} \quad 0.3 = 3.3 \frac{R2}{1M + R2}$$

- On isole R2:

$$R2 = 100K$$

100K minimum ou maximum?

Exercice (seul)

- Une valeur entre 10K et 100K pourrait être 50K..
- Verifions si ça tient la route
 - Quand on met de la pression ça devrait être plus que 3v

$$3.3 \frac{50K}{1K + 50K} = 3.24$$

- Sans pression ça devrait être moins que 0.3v

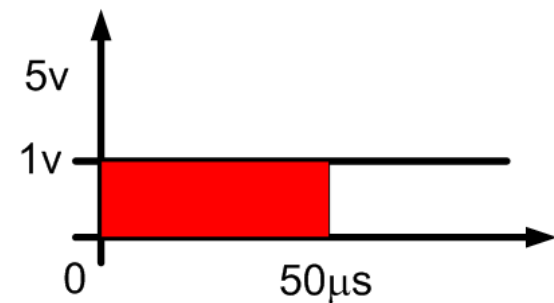
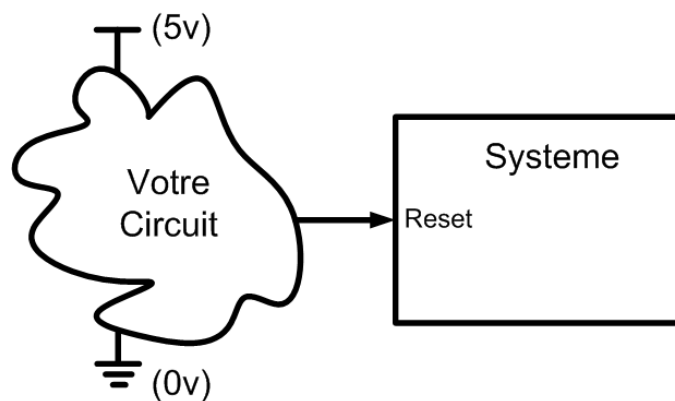
$$3.3 \frac{50K}{1M + 50K} = 0.157$$

Exercice

- Les puces numeriques ont un “reset” qui met le systeme dans un etat bien connu
 - Sans ca, le systeme peut mal fonctionner
- Quand on branche le systeme, on aimerait qu’il se mette en reset
 - Selon les systemes, il doit rester en reset pendant un certain temps (50 μ s, par exemple)
- Voyons encore un peu plus de details...

Exercice

- Un systeme va en reset quand on met une tension faible ($\sim 0\text{v}$) a son entree "Reset"
 - Dans notre systeme, on a besoin que ce soit $< 1\text{v}$
- Apres, on aimerait que l'entree "Reset" ait une tension egale a l'alimentation (5v)



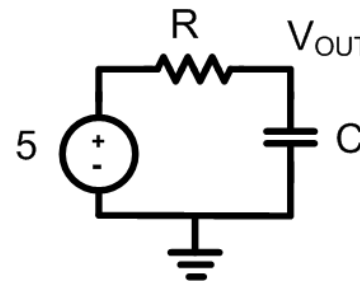
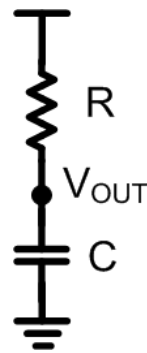
Quel circuit peut-on utiliser?

Exercice

- Etape 1: Synthèse des données
 - Avant $50\mu\text{s}$ la tension doit être moins que 1v
 - Eventuellement, ça doit remonter à 5v
- Etape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Quel circuit prend du temps pour changer la tension de sortie?
- Etape 3: Déterminer les valeurs
- Etape 4: Vérifier le résultat final

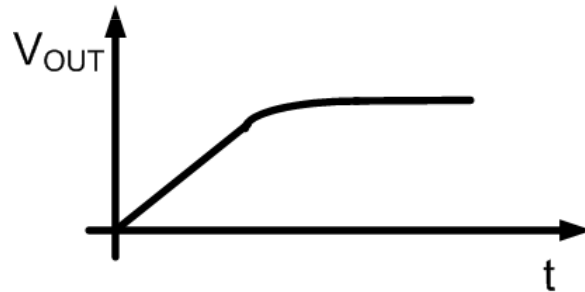
Exercice

- On sait qu'une capacité ne change pas de tension rapidement (sauf si courant infini)
 - On devrait donc penser à utiliser un condensateur
- Si on connectait directement à 5v, on aurait un courant infini
 - Il faut passer par une résistance



Exercice

- Le travail c'est de trouver R et C
- Avec DS1, on sait que la reponse est:
 - On a besoin que ca reste sous 1v pendant 50 μ s...



$$V_{OUT}(t) = 5(1 - e^{-t/RC})$$

- Comment est-ce qu'on procede?

Exercice

- Ca doit être maximum 1V après 50μs

$$1 = 5 \left(1 - e^{-50 \times 10^{-6} / RC} \right)$$

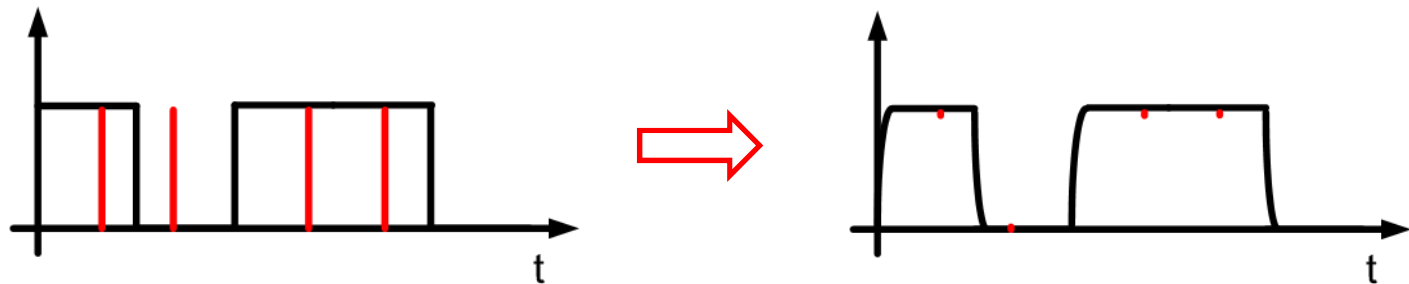
- On n'a une équation à 2 variables
 - On aura une infinité de possibilités
- On isole RC:

$$RC = 224 \times 10^{-6}$$

Solution possible: R=224K C=1nF

Exercice (seul)

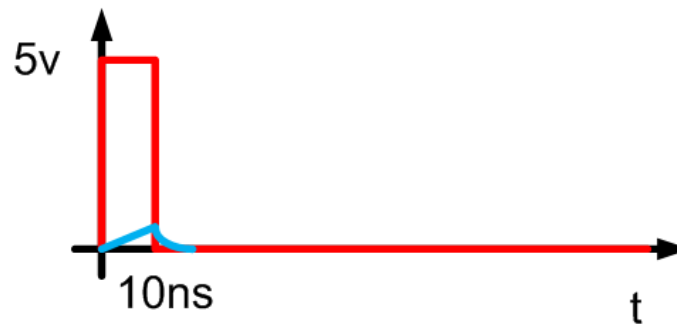
- On envoie des données numériques (0 ou 5v) par des fils
 - Les plus petites durees qu'on envoie volontairement sont de $10\mu\text{s}$.
 - Cependant, parce que notre systeme n'est pas tres couteux, il y a du "bruit"
 - Il y a des petits changements de tension de 5v (de 10ns) qui sont illustres en rouge
 - On aimerait les enlever...



Exercice (seul)

- Concevez un circuit qui réduit la variation de tension à 0.1v
 - Assurez-vous d'affecter le moins possible les "bonnes données" (ce qui n'est pas du bruit)
- Presentement, on a le bruit en rouge
 - On aimerait le réduire à ce qu'on voit en bleu (0.1v)

Illustration du bruit



Exercice (seul)

- Etape 1: Synthèse des données
 - L'entrée est un échelon de 5v
 - A 10ns la tension doit être moins que 0.1v
- Etape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Quel circuit prend du temps pour changer la tension de sortie? Encore le circuit RC...
- Etape 3: Déterminer les valeurs
- Etape 4: Vérifier le résultat final

Exercice (seul)

- Ca doit être maximum 0.1v après 10ns

$$0.1 = 5 \left(1 - e^{-10 \times 10^{-9} / RC} \right)$$

- On n'a une équation à 2 variables
 - On aura une infinité de possibilités
- On isole RC:

$$RC = 0.5 \times 10^{-6}$$

Solution possible: R=500 C=1nF