

Bien débiter avec CircuiTikZ

recueil de schémas



Claude Chevassu
15 décembre 2019

Table des matières

1	Introduction	2
2	Du bon usage de Circuitikz	5
2.1	Flèches de tension droites	5
2.2	Coordonnées relatives	5
2.3	Modification de la taille d'un composant	13
2.4	Un peu de programmation	15
2.5	Placement des valeurs des composants	16
2.6	Création d'un nouveau composant	17
3	Électronique	18
3.1	Diodes	18
3.2	Transistors bipolaires	26
3.2.1	Transistor NPN	26
3.2.2	Transistor PNP	27
3.2.3	Transistor avec une alimentation à point milieu	28
3.2.4	Transistor avec diode Zener	29
3.2.5	Générateur de courant	30
3.2.6	Bascules à transistors bipolaires	31
3.2.7	Porte logique	35
3.2.8	Hacheur survolteur	36
3.2.9	Amplificateur	37
3.3	Bascules réalisées avec des inverseurs logiques	39
3.4	Transistors à effet de champ à grille isolée	40
4	Amplificateur opérationnel	46
4.1	Symbol européen de l'ampli-op	46
4.2	Autres schémas	54
5	Électricité	55
5.1	Continu	55
5.2	Alternatif	65
6	Automatique	69
6.1	Logigramme	69
6.2	Tableaux de Karnaugh	70
6.3	Grafcet	73
6.4	Ladder	78

1 Introduction

Le présent recueil regroupe des schémas d'électronique et d'électricité réalisés avec Circuitikz et TikZ. Ce recueil comporte également quelques exemples de schémas blocs réalisés avec le package « schemabloc » et aussi quelques grafctet réalisés avec le package « grafctet », packages conçus par Robert Papanicola. Deux exemples de « ladder » sont présentés à la fin.

Le but est de mettre à disposition de tout un chacun, en plus de ce document au format pdf, le fichier source \LaTeX afin de permettre de « copier coller » les différents schémas. Cela permet de ne pas tout réinventer, de ne pas tout refaire et de gagner un temps précieux. Je ne prétends pas avoir « codé » mes schémas de manière la plus optimale et la plus astucieuse possible, vous trouverez sûrement de nombreuses améliorations à y apporter. Néanmoins, cette collection peut constituer un aperçu de ce qu'il est possible d'obtenir pour un débutant et de permettre, par « copier coller », de se familiariser et encore une fois de gagner du temps. Je n'ai malheureusement pas commenté mes schémas autant que j'aurais dû le faire dans un but pédagogique, vous voudrez bien m'en excuser.

L'utilisation de Circuitikz, comme celle de \LaTeX , n'est pas très intuitive et demande un apprentissage long et laborieux. Dès lors, pourquoi utiliser Tikz et plus spécifiquement Circuitikz pour réaliser vos schémas d'électricité ou d'électronique ? Avec Circuitikz, votre figure sera codée et vous obtiendrez toujours le même résultat en tapant la même ligne de code. Il s'agit de dessin vectoriel, donc pas d'effets disgracieux si vous grossissez l'échelle. Circuitikz permet d'obtenir un aspect uniformisé de votre texte et de vos schémas ; c'est intéressant, la police utilisée sera la même partout, dans le texte de votre document \LaTeX comme dans les schémas. Le document apparaîtra plus homogène. On peut sans problème changer l'échelle du schéma pour mieux l'inclure dans une page. On peut également inclure de belles formules mathématiques dans les schémas, chose difficilement possible avec d'autres solutions.

Et puis surtout, à part ce remarquable outil, qu'utiliser pour réaliser des schémas à peu près aux normes ? Les logiciels de dessins dans ce domaine ne sont pas légion. Utiliser des logiciels de simulation et « copier coller » le schéma obtenu n'est pas très satisfaisant. Néanmoins, voici une adresse où trouver des alternatives à Circuitikz https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:WikiProject_Electronics/Programs

Massimo Redaelli, l'auteur de Circuitikz ainsi que Stefan Erhardt, Romano Giannetti et Stefan Lindner qui maintiennent le package ont accompli un gros effort de pédagogie dans la dernière documentation publiée en 2019. Cette dernière est en anglais, hélas, mais ce n'est pas de l'anglais littéraire et des outils de traduction en ligne vous sortirez d'affaire en cas de difficulté de compréhension. Je pense qu'il faut lire et relire leur documentation, comme disent les anglo-saxons quand une question triviale est posée : « RTFM », read the fucking manual, lis le putain de manuel...

Dans les dernières versions de TikZ de fréquents problèmes de compilation surgissent à cause de conflits entre le package babel français et les codes internes de \TeX « ;! ? ». Une solution consiste à ne plus considérer le caractère « : » comme un caractère spécial dans les passages où il doit être interprété par TikZ, en utilisant la commande fournie par babel français :

```
\shorthandoff{;:!?} et \shorthandon{;:!?}
```

On encapsulera donc les figures à l'aide des instructions suivantes :

```
\shorthandoff{;:!?}
\begin{figure}[!hbt]
\begin{center}
\begin{circuitikz}[european,scale=0.9, every node/.style={scale=0.9}]

\draw

;

\end{circuitikz}
\legend{Circuit de l'exercice \ref{transistor1}}
```

```

\label{fig:transistor1}
\end{center}
\legend{} %ou plutôt caption si l'on souhaite numéroté les figures
%\label{} %insère une étiquette à laquelle on peut renvoyer
\end{figure}
\shorthandon{;:!?}

```

Il existe des sites où on peut trouver des exemples tout fait de dessins :

<http://www.physagreg.fr/schemas-figures-physique-svg-tikz.php>

<http://www.texample.net/tikz/examples/tag/circuitikz/>

Le site : <https://tex.stackexchange.com/> permet de poser des questions et d'examiner la réponse aux très nombreuses questions posées à propos de Circuitikz ou autre. Si vous mettez le mot clé « circuitikz » dans la fenêtre tout en haut, c'est une véritable mine pleine de réponses et d'exemples à méditer!

Bien sûr il faut lire et relire la documentation de circuitikz! Le présent recueil présente la manière de bien débiter avec Circuitikz en utilisant tout de suite le positionnement relatif par rapport aux points d'ancrage des composants.

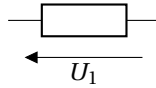
Avant toute chose, il serait bon d'être à l'aise avec les commandes de bases de TikZ sur lequel est basé Circuitikz. Pour ce faire, on pourra lire l'excellent « TikZ pour l' impatient » de Gérard Tisseau et Jacques Duma, il suffit de taper ce titre dans un moteur de recherche pour dénicher le pdf. Mais l'expérience montre que lorsqu'on utilise Circuitikz, on ne possède pas suffisamment l'expérience de Tikz, le chapitre suivant sur l'emploi des coordonnées relatives a pour but de palier à ce défaut de connaissance de Tikz en fournissant les connaissances indispensables.

À part dans le premier chapitre, je n'ai pas fait figurer le code des schémas dans ce pdf, l'expérience m'a montré que les « copier coller » ne s'effectuent pas forcément très bien. Je vous invite donc à récupérer le fichier source au format .tex et à utiliser la fonction recherche le cas échéant pour localiser le code du dessin qui vous intéresserait.

2 Du bon usage de Circuitikz

2.1 Flèches de tension droites

Dans le circuit suivant :



obtenu avec le code ci-dessous :

```
\begin{figure}[h]
\centering
\shorthandoff{:}
\begin{circuitikz}
\draw
(0,0)to[R,v=$U_1$](2,0)
;
\end{circuitikz}
\shorthandon{:}
\end{figure}
```

la flèche de tension aux bornes de la résistance est courbe. Pour obtenir les flèches droites habituelles, il suffit d'ajouter l'option « straightvoltages » au package circuitikz dans le préambule, comme ceci :

```
\usepackage[european, straightvoltages]{circuitikz}
```

2.2 Coordonnées relatives

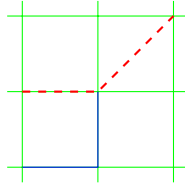
La « bonne » manière d'utiliser Circuitikz consiste à travailler le plus possible en coordonnées relative par rapport aux points d'ancrage des composants, les « ancres ». Cela est surtout utile dès que l'on utilise des tripôles, comme les transistors, des quadripôles, comme le transformateur. Si l'on souhaite dessiner un transistor bipolaire NPN par exemple, on indiquera où sera placé le centre du composant, mais on ne connaîtra pas les coordonnées exactes de la base, du collecteur et de l'émetteur. Par contre on pourra utiliser ces points et y faire arriver ou en faire partir des connexions « en relatif ». L'exemple du transformateur et de l'amplificateur opérationnel donnés dans la suite permettront de clarifier cela.

TikZ permet de définir les coordonnées des points à relier de manière relative. Ainsi, on peut mettre deux + devant une coordonnée comme dans ++(1cm,0pt), ce qui signifie « un centimètre à droite du dernier point utilisé ». Prenons par exemple les coordonnées : (1,0) ++(1,0) ++(0,1); cela indique les trois coordonnées (1,0), puis (2,0) et enfin (2,1); à partir du point de départ (1,0), déplacement de +1 sur Ox, puis +1 sur Oy.

Au lieu de deux signes +, on peut n'en mettre qu'un. Cela spécifie les coordonnées d'un point de manière relative, mais ne « change » pas le point courant utilisé dans les commandes relatives qui viennent ensuite et qui se réfèrent toutes à ce même point. Par exemple : (1,0) +(1,0) +(0,1) indique les trois coordonnées (1,0), puis (2,0), et (2,1); les deux coordonnées +(1,0) puis +(0,1) se réfèrent au même point de départ (1,0).

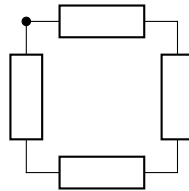
Le schéma ci-dessous illustre les effets d'un seul + et de deux + :

```
\begin{tikzpicture}
\draw[step=1cm,color=green,thin](-0.2cm,-0.2cm)grid (2.2cm,2.2cm); %dessin de la grille en vert
\draw [color=blue, thin] (0,0)--+(1,0)--+(1,1); %déplacement relatif par rapport à l'origine (0,0)
\draw [color=red, dashed, thick](0,1)--+(1,0)--+(1,1); %déplacement de point en point
\end{tikzpicture}
```



Voici par exemple 4 résistances placées à partir de l'origine (0,0) en coordonnées relative; on part de l'origine, on se déplace de 2 vers la gauche en plaçant une résistance, puis de 2 vers le bas en plaçant une résistance, puis de 2 vers la gauche en plaçant une résistance, puis on revient au point origine en plaçant une dernière résistance. Le point origine est marqué par un gros point noir :

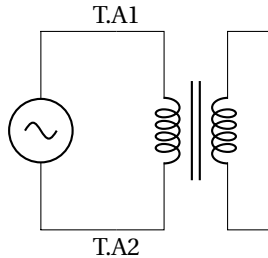
```
\begin{circuitikz}
%%dessin d'un point noir pour marquer le point origine
\draw (0,0)node[circ]{};
%%placement des résistances
\draw (0,0)to[R]++(2,0)to[R]++(0,-2)to[R]++(-2,0)to[R](0,0);
\end{circuitikz}
```



Placement de 4 résistances à l'aide de coordonnées relatives

Voici la mise en application à partir du symbole du transformateur, symbole placé avec « node » et qui possède 4 points d'ancrage, des « ancrs », A1 et A2 pour le primaire et B1, B2 pour le secondaire (voir la documentation de Circuitikz le paragraphe intitulé « Doubles bipoles »).

```
\begin{circuitikz}
    \draw (0,0)node[transformer core, yscale=1.25] (T) {}; %placement du transformateur
    \draw (T.A2) --++(-1,0) to [sV] ($(T.A1)+(-1,0)$) -- (T.A1); %connexion partant de l'ancr
    \draw (T.A2) node[below]{T.A2}; %placement du nom de l'ancre A2 : T.A2
    \draw (T.A1) node[above]{T.A1}; %placement du nom de l'ancre A1 : T.A1
\end{circuitikz}
```



Coordonnées relatives, transformateur

On dessine un transformateur nommé T au point (0,0) avec les instructions : node[transformer core, yscale=1.25] (T)

Le transformateur est un quadripôle qui possède 4 « ancrs ». On part de l'ancr T.A2, on déplace le crayon d'une unité vers la gauche (T.A2) – ++(-1,0), ensuite on dessine la source de tension alternative jusqu'au point $(T.A1)+(-1,0)$ et on dessine ensuite la connexion jusqu'à T.A1

Voici un schéma à peine différent où on travaille encore en coordonnées relatives, mais avec l'instruction \coordinate.

\coordinate (A) at (x,y); est la forme abrégée de la commande qui permet de nommer et de placer un nœud de dimension nulle :

```
\path (x,y) coordinate (A);
ou
\draw (x,y) node[coordinate] (A){};
ou
\node (A) at (x,y) node[shape=coordinate]{};
```

Voici un schéma dans lequel on utilise cette instruction \coordinate :

```
\begin{circuitikz}[scale=2]

%%placement du transformateur au point (0,0)

\draw (0,0) node[transformer core] (T) {};

%%source de tension sinusoïdale, interrupteur et lampe
\coordinate[left=2cm] (a) at (T.A1);

\draw (a) to [closing switch, mirror, invert] (T.A1)
      (a) to [vsourcein] (a |- T.A2)
      to [lamp] (T.A2);

%%mirror et invert permettent d'obtenir un interrupteur correctement placé
% selon la typographie de l'appareillage électrique
```

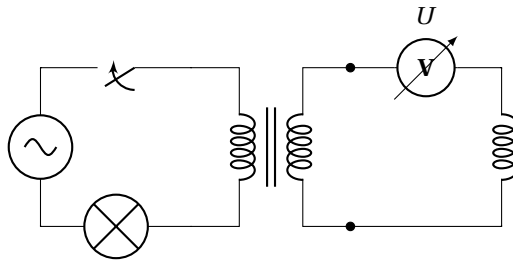


```

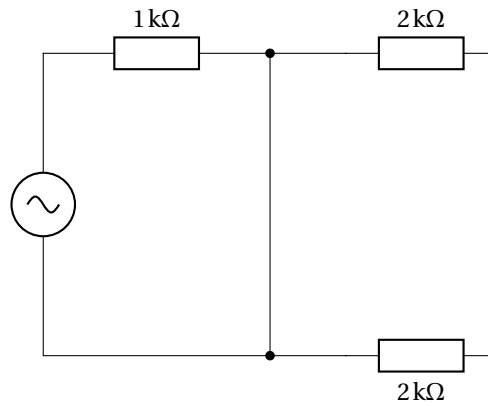
%voltmètre
\draw (T.B1) to[voltmeter,l=$U$,*-] ++ (1,0) coordinate (b)
to (b |- T.B2) %trace une ligne verticale jusqu'à l'horizontale passant par T.B2
to [short,-*] (T.B2); %trace la ligne de l'extrémité de la ligne précédente à T.B2

\end{circuitikz}

```



Transformateur en coordonnées relatives



encore des coordonnées relatives

Démonstration de la fonction « coordinate » et placement d'un composant par rapport à un point défini comme intersection entre l'horizontal qui passe par un point et la verticale qui passe par un autre point :

```
\begin{circuitikz}
\draw (0,-2) node[circ]{};
\draw (0,-2) coordinate(a){};
\draw(8,1) node(d){}
```

```
(a |- d) to[cute inductor](d); % (a|- d) = point d'intersection de la verticale passant par
a et de l'horizontale passant par d
```

```
\end{circuitikz}
```



•

placement d'une inductance en coordonnées relatives par rapport à un point défini, |-

```

\begin{circuitikz}
\draw (0,-2)node[circ]{};
\draw (0,-2)coordinate(a){};
\draw(8,1) node(d){}

(a -| d)to[cute inductor](d); % (a-| d) = point d'intersection de l'horizontale passant par a
et de la verticale passant par d

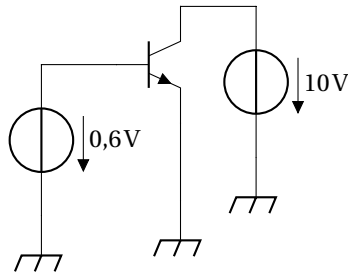
\end{circuitikz}

```



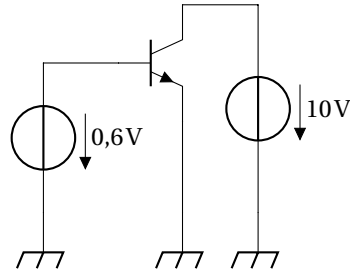
placement d'une inductance en coordonnées relatives par rapport à un point défini, -|

Si vous n'êtes pas encore convaincu de la nécessité de travailler en coordonnées relative, examinez le schéma ci-après où le défaut de positionnement des masses par rapport les unes aux autres à été exagéré.



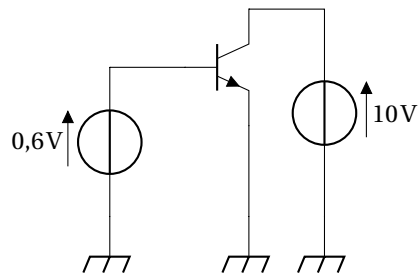
défauts de placement en coordonnées absolues

Et maintenant, voici la solution : la masse au bout de la source de tension de 10 V a été baptisée « gnd » et la base comme l'émetteur sont connectés vers le bas en coordonnées relatives par rapport à « gnd ».



correction de défauts de placement en coordonnées absolues

Les flèches de tension ne sont pas dans le bon sens. Pour les retourner il faut inverser les coordonnées des points entre lesquels sont placés les sources de tension, mais cela n'est pas possible en travaillant seulement en coordonnées relatives. une astuce consiste à ne tracer qu'un segment invisible to[open], à définir des points grâce à « coordinate », puis à utiliser ces points :



correction du sens des flèches en coordonnées absolues

Dans une expression de coordonnées, on peut utiliser des calculs : $(\{\sqrt{3}/2\}, 1/2)$ désigne le point de coordonnées $(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2})$, comme on le voit, si le calcul utilise des parenthèses, il faut l'encadrer par des accolades.

Il est donc possible de faire des calculs portant directement sur les couples de coordonnées, par exemple faire la somme de deux couples, faire le produit d'un nombre par un couple. Mais cela introduit une syntaxe spéciale : les calculs de ce type doivent être écrits entre les symboles (\$) et \$), comme (\$ (1,2) + (3,4) \$).

Ce type d'instruction va permettre de travailler en relatif en créant des points par rapport aux points d'ancrage des composants. Ainsi : (\$ (opamp.+) - (2,0)\$) est un point créé est à deux unités sur la droite de l'entrée + de l'ampli-op, bien évidemment il aura fallu déclarer et placer cet ampli-op auparavant.

```
\begin{circuitikz}[scale=1]
\draw

%placement de l'aop
(5,.5) node [en amp] (opamp) {}

%branchement des résistances sur l'entrée + en position relative par rapport à celle-ci
(opamp.+)to [R, l=$R_d$, *-] ($ (opamp.+) - (2,0)$)to [R, l=$R_d$, *-o] ($ (opamp.+) - (4,0)$)
node [left] {$U_{we}$}

%branchement du condensateur entre l'entrée + et la masse
(opamp.+) to [C, l=$C_{d2}$, *-] ($ (opamp.+) + (0,-3)$) node [cground] {}

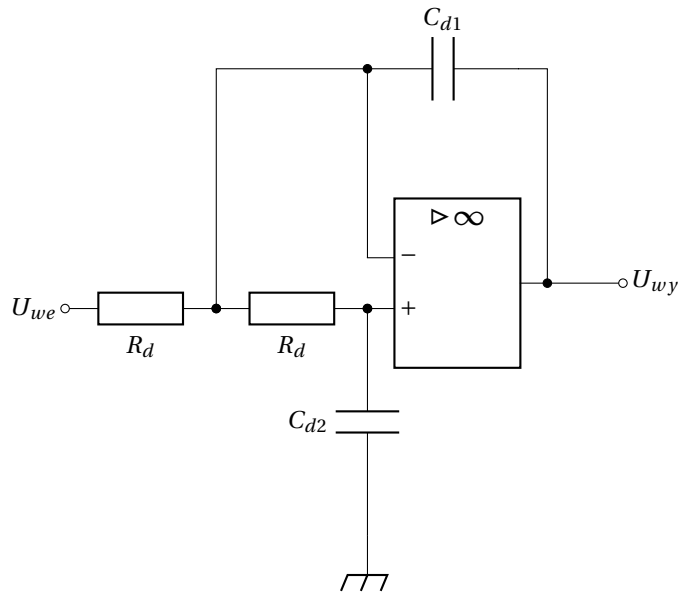
%branche entre l'entrée - et la verticale arrivant à 2.5 au-dessus de l'entrée -
(opamp.-) to [short, *-] ($ (opamp.-) + (0,2.5)$)

%branche entre la sortie de l'aop et un point situé par rapport à l'entrée -, plus haute
de 2.5 et à droite de l'entrée - de 2
(opamp.out) |- ($ (opamp.-) + (2,2.5)$)

%placement du condensateur Cd1 entre un point placé relativement par rapport à l'entrée - et relative
($ (opamp.-) + (2,2.5)$)to [C, l=$C_{d1}$] ($ (opamp.-) + (0,2.5)$)

%branche entre le point à gauche du condensateur en coordonnées relatives par rapport à
l'entrée - et un point en coordonnées relative par rapport à l'entrée +
($ (opamp.-) + (0,2.5)$) -| ($ (opamp.+) - (2,0)$)

%branche de sortie de l'aop
(opamp.out) to [short, *-o] ($ (opamp.out) + (1,0)$) node [right] {$U_{wy}$}
;
\end{circuitikz}
```



Circuit réalisé en coordonnées relatives par rapport aux entrées et à la sortie de l'ampli-op

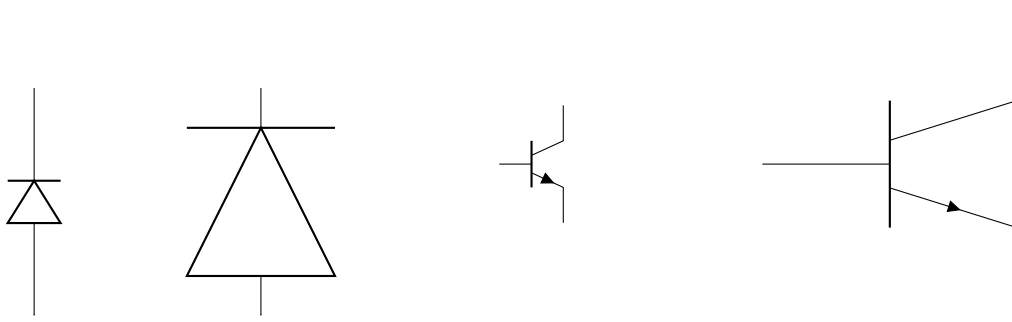
2.3 Modification de la taille d'un composant

La modification de la taille d'un composant, en ne modifiant pas les autres, peut s'effectuer par deux méthodes.

Par exemple, pour modifier une diode, insérer :

```
\ctikzset{bipoles/diode/height=0.4, bipoles/diode/width=0.4,}
\ctikzset{tripoles/npn/height=2.0, tripoles/npn/width=1.4,}

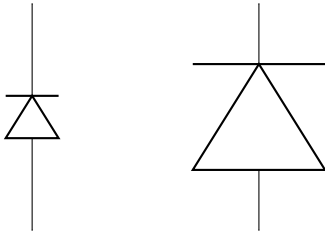
\begin{circuitikz}[
]
\draw (0,0) to[diode] (0,3);
\begin{scope}
\ctikzset{bipoles/diode/height=1.4, bipoles/diode/width=1.4,}
\ctikzset{tripoles/npn/height=2.0, tripoles/npn/width=1.4,}
\draw (2,0) to[diode] (2,3);
\draw (5,2) node[npn](q1){};
\end{scope}
\draw (7,2) node[npn](q2){};
\end{circuitikz}
```



Autre méthode, toujours pour une diode : `to [/tikz/circuitikz/bipoles/length=2.5cm,diode$]`

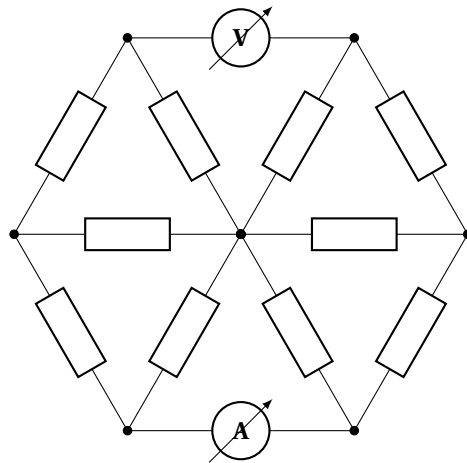
```
\begin{circuitikz}
  \draw (0,0) to[diode] (0,3);

  \draw (3,0) to [/tikz/circuitikz/bipoles/length=3.5cm,diode] (3,3) ;
\end{circuitikz}
```



2.4 Un peu de programmation

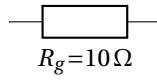
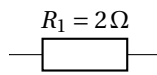
Le schéma ci-dessous illustre la puissance de l'utilisation d'un « rien » de programmation pour simplifier les schémas et permettre une modification des plus simple. Il suffit de remplacer la valeur de R à un seul endroit!



placement d'une inductance en coordonnées relatives par rapport à un point défini, -|

2.5 Placement des valeurs des composants

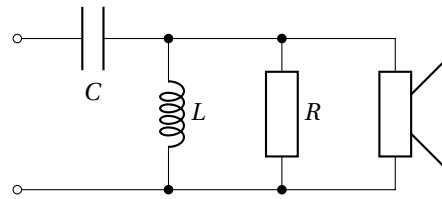
Voici comment placer une information au-dessus ou en-dessous d'un composant :



placement d'une information au-dessus d'un composant ou en-dessous

2.6 Création d'un nouveau composant

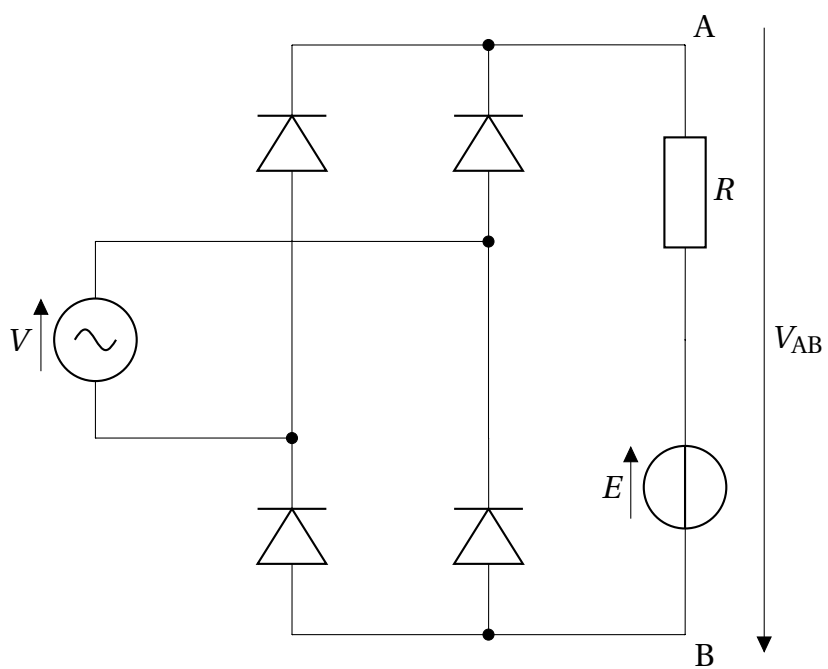
Voici la manière dont on peut créer un composant qui manquerait à Circuitikz, ci-dessous un haut-parleur :



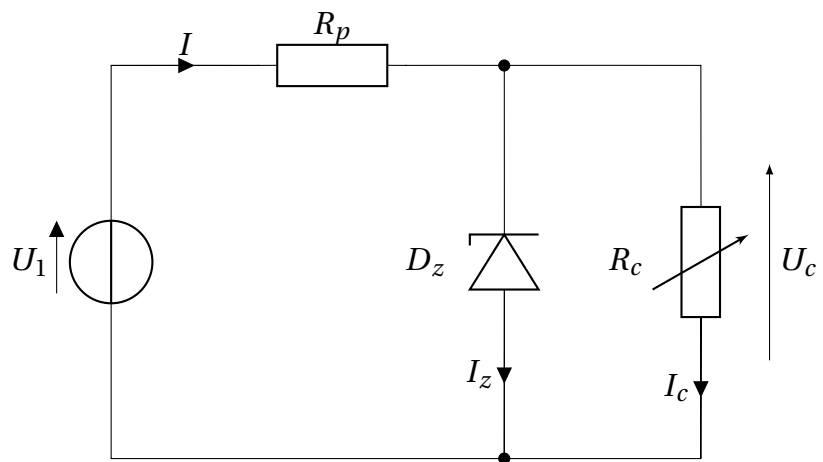
Création d'un composant

3 Électronique

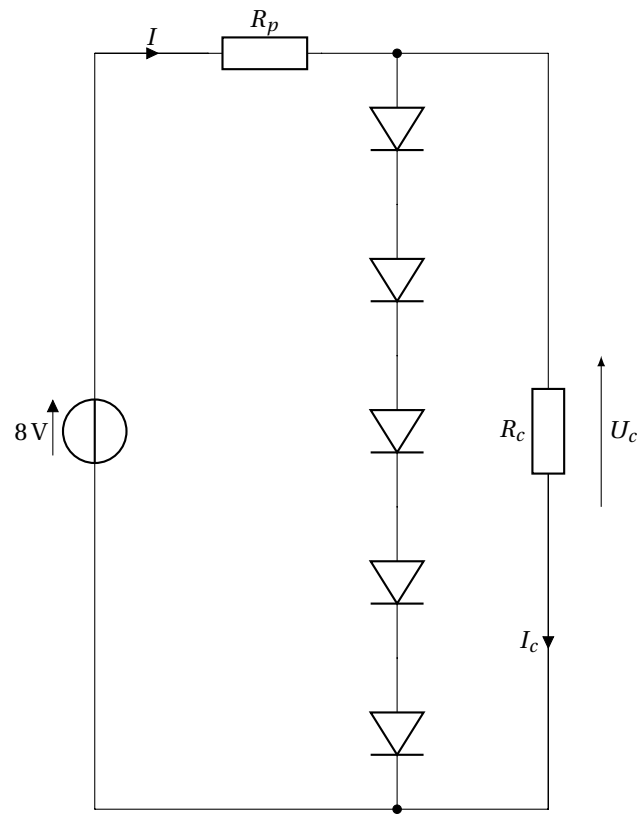
3.1 Diodes



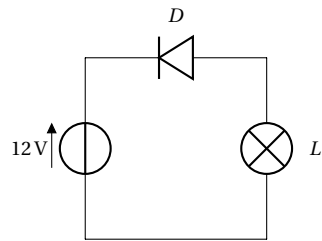
pont redresseur double alternances



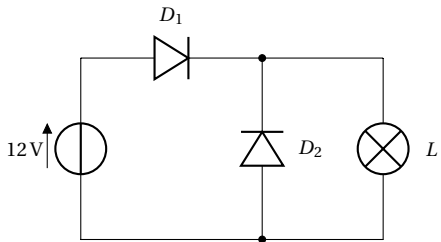
diode Zener



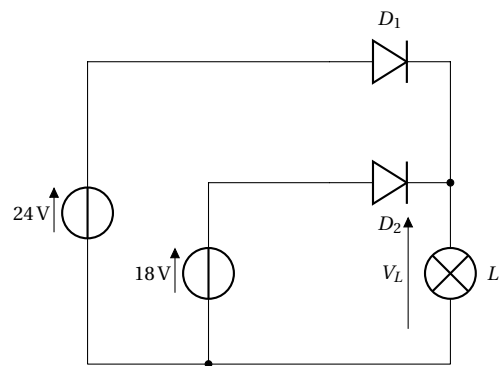
5 diodes en série



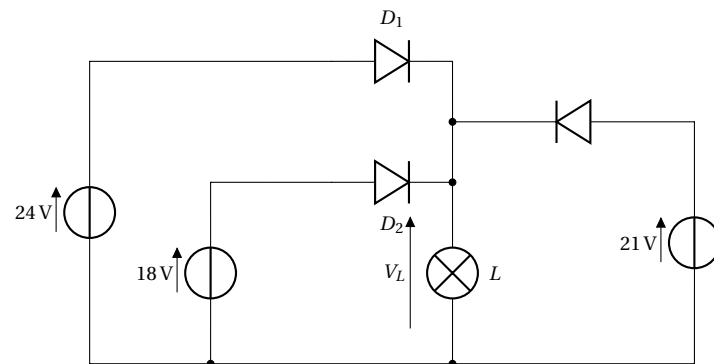
circuit n° 1



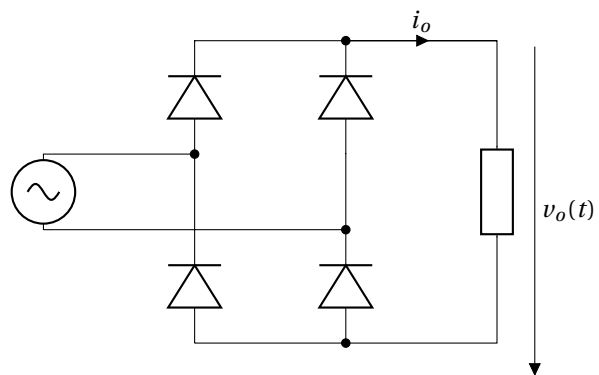
circuit n° 2



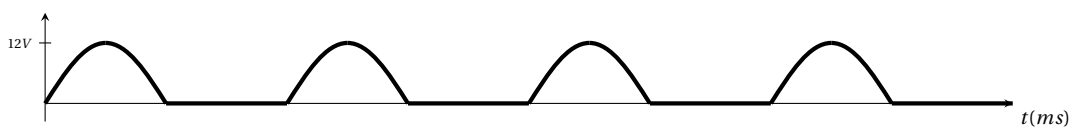
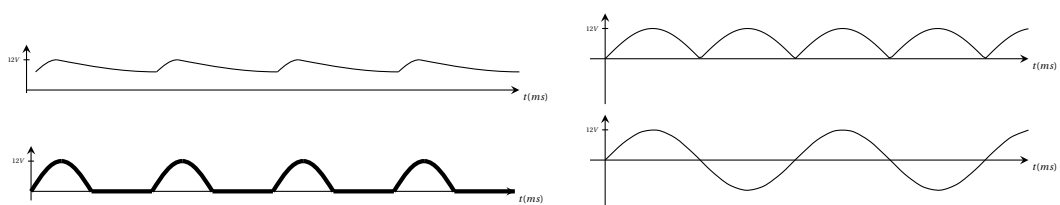
circuit n° 3



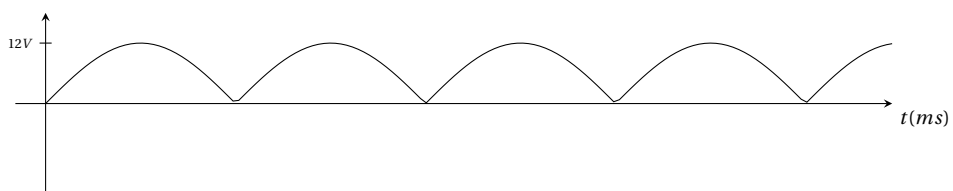
circuit n° 4



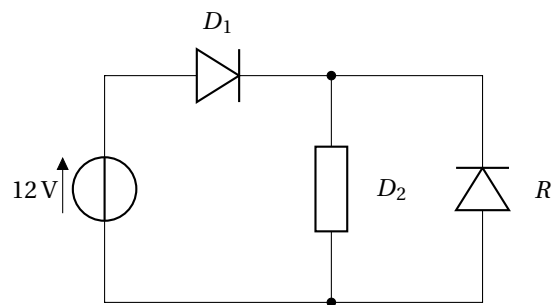
Circuit n° 1



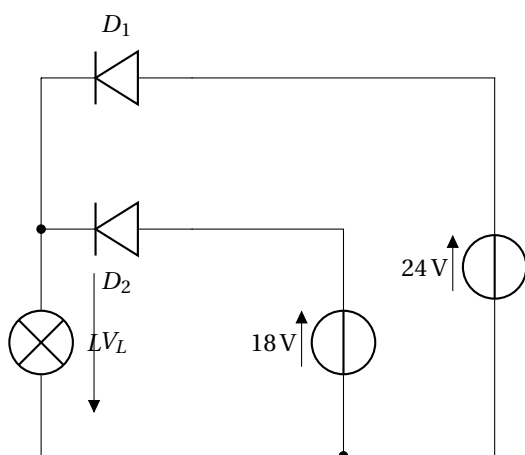
Courbe n° 3



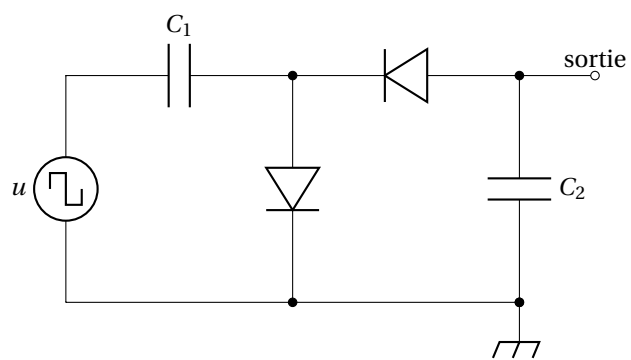
Courbe n° 4



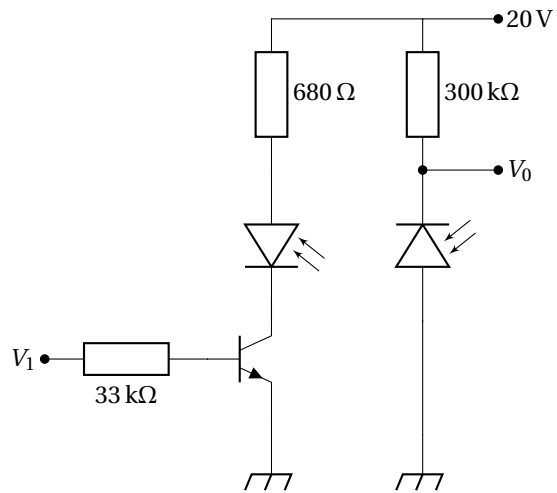
circuit n° 2



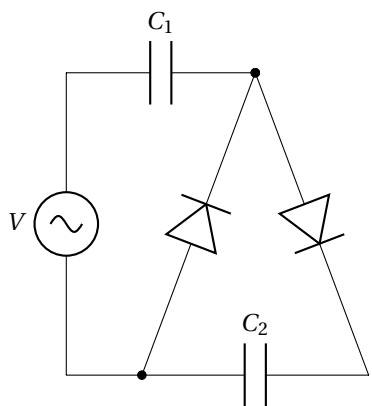
circuit n° 3



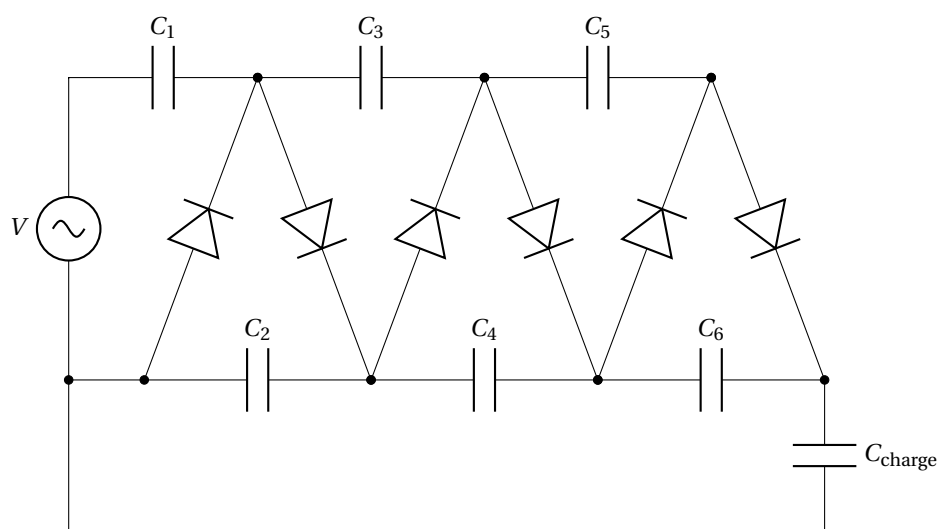
Pompe de charge



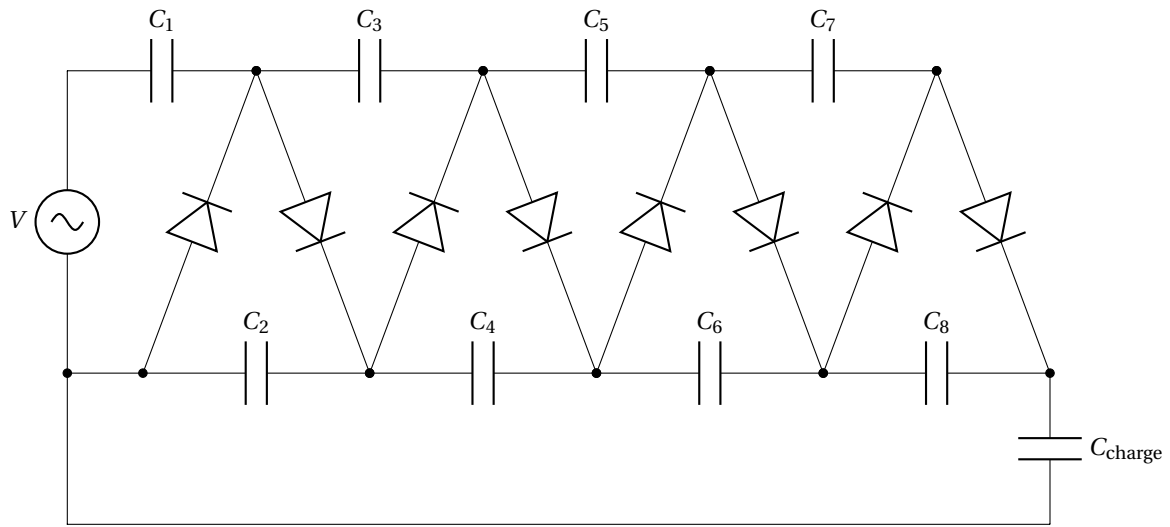
Photodiode.



multiplieur de tension 1



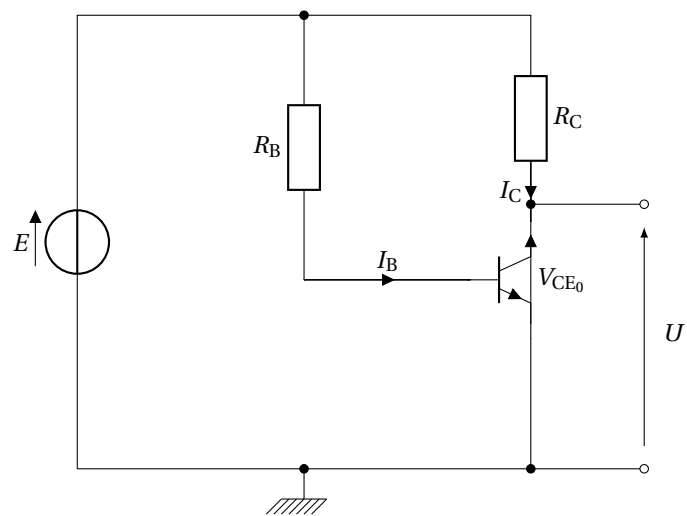
multiplieur de tension 2



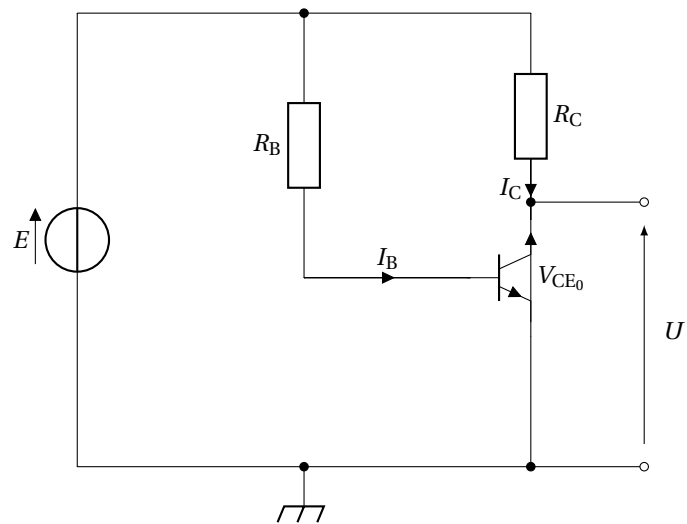
montage 2

3.2 Transistors bipolaires

3.2.1 Transistor NPN

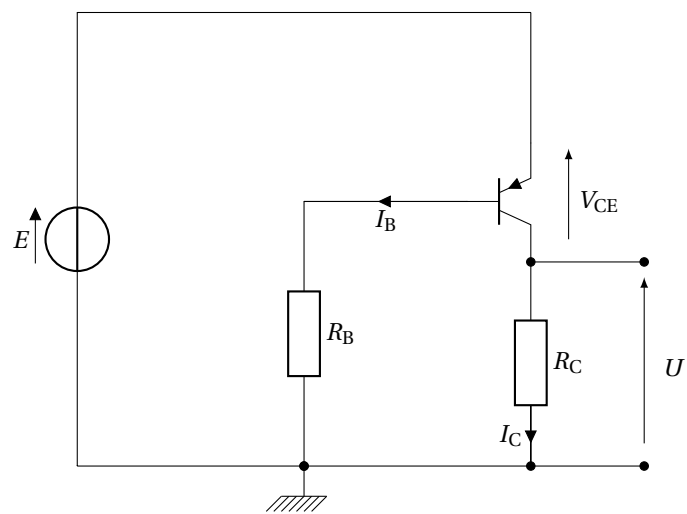


transistor bipolaire avec masse « compliquée »



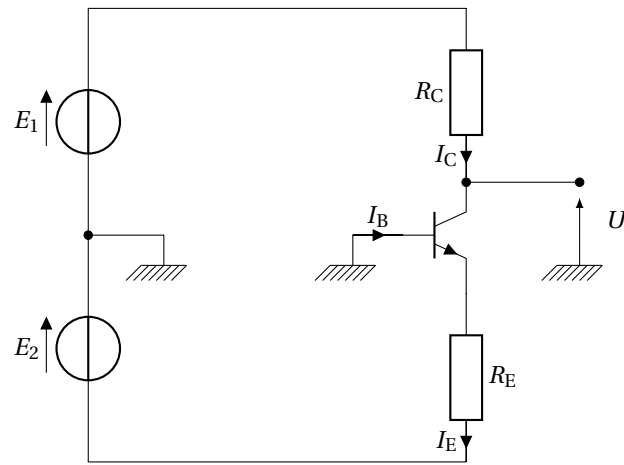
transistor bipolaire avec masse cground

3.2.2 Transistor PNP



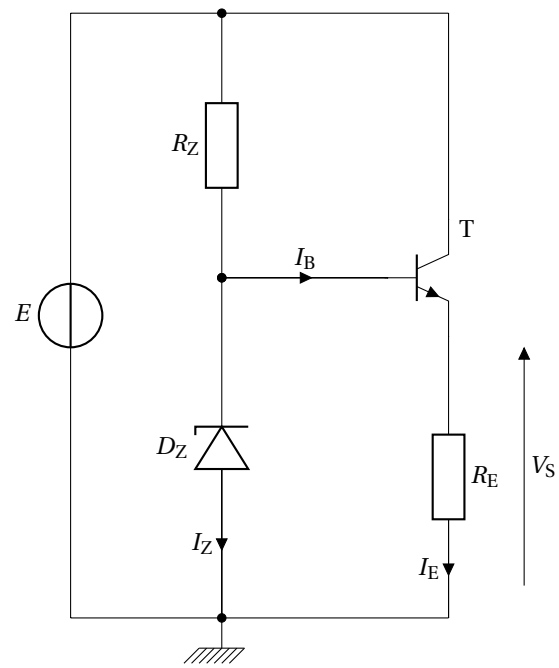
Transistor PNP

3.2.3 Transistor avec une alimentation à point milieu



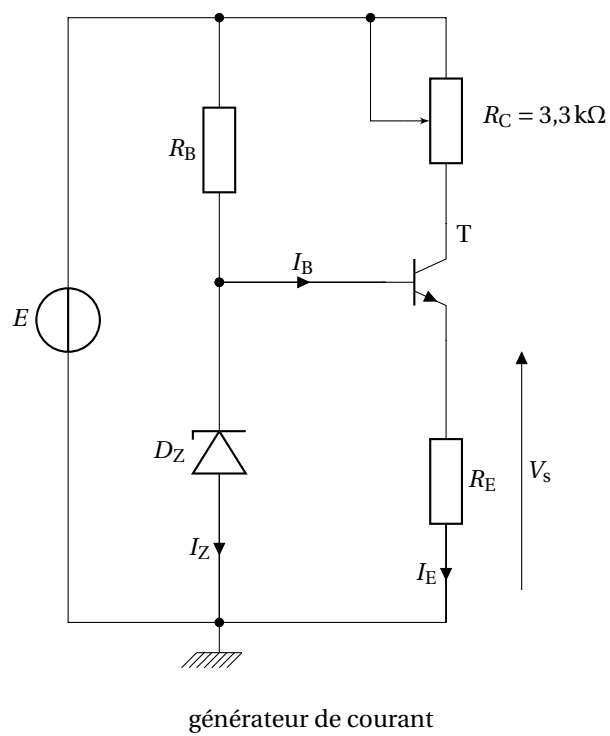
Transistor avec une alimentation à point milieu

3.2.4 Transistor avec diode Zener

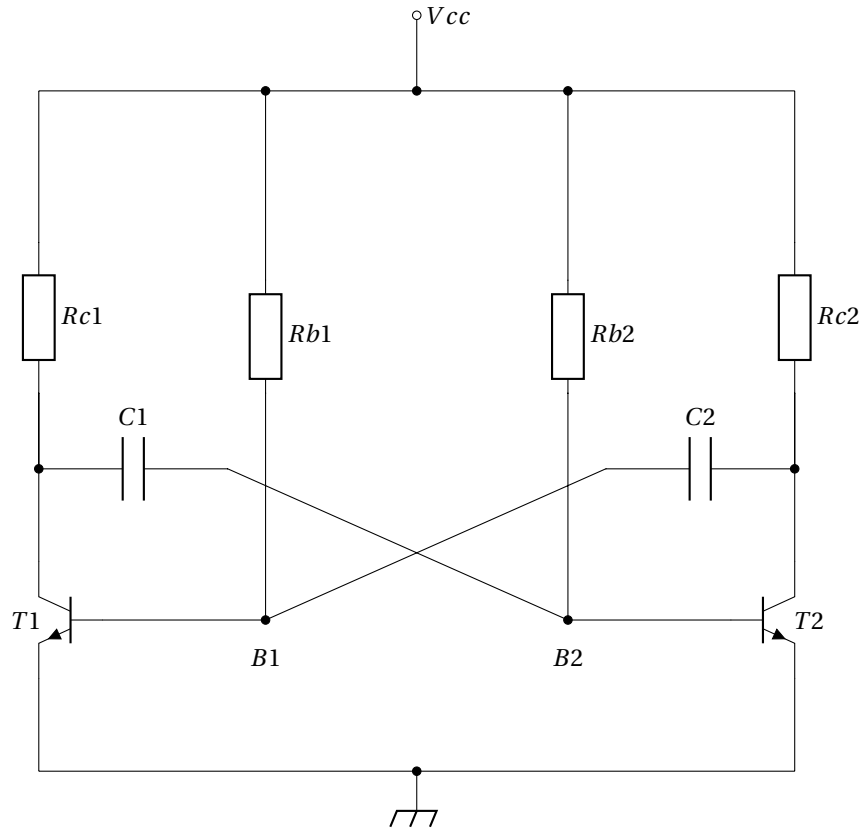


transistor bipolaire et diode Zener

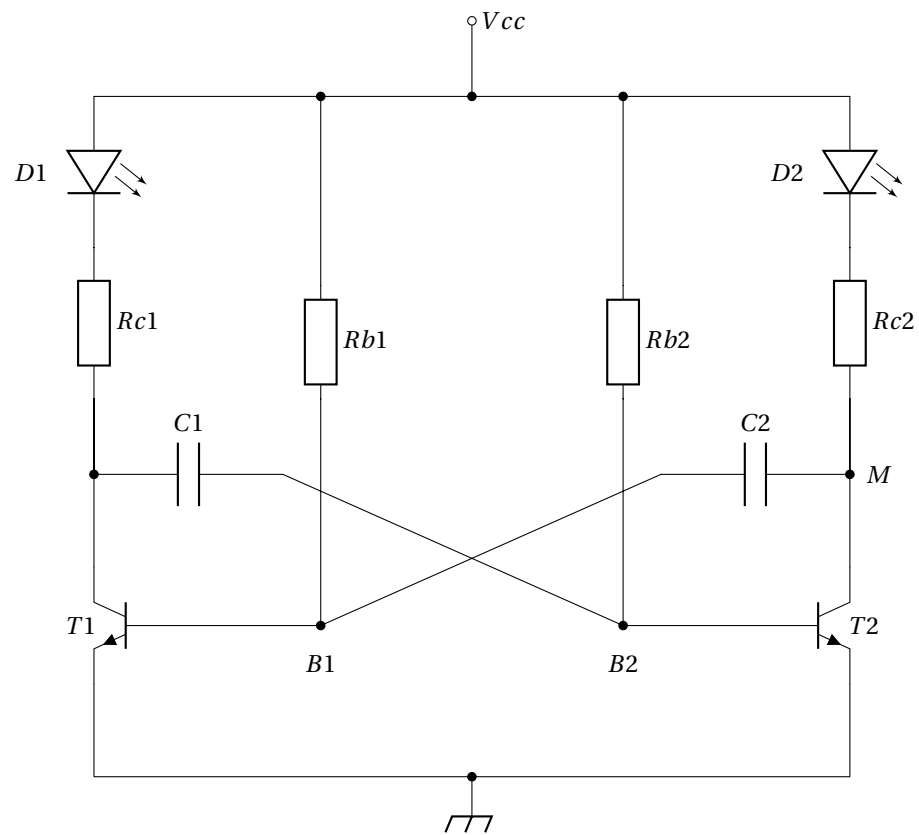
3.2.5 Générateur de courant



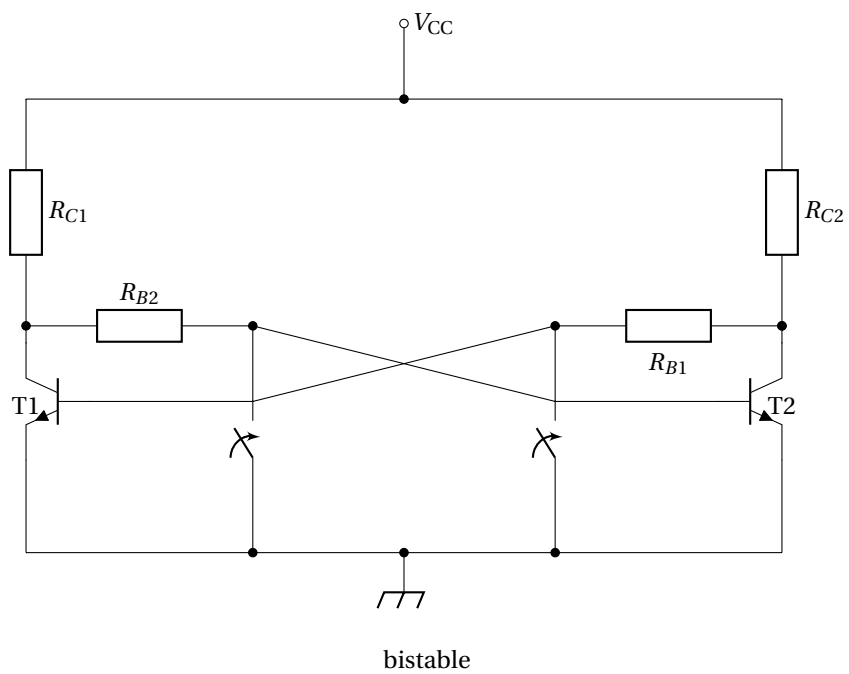
3.2.6 Bascules à transistors bipolaires

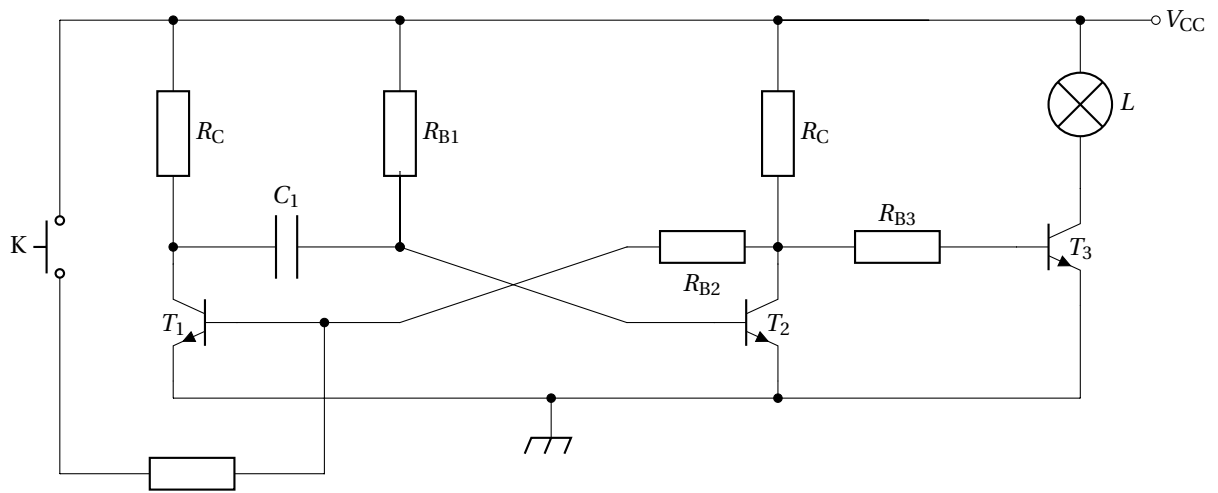
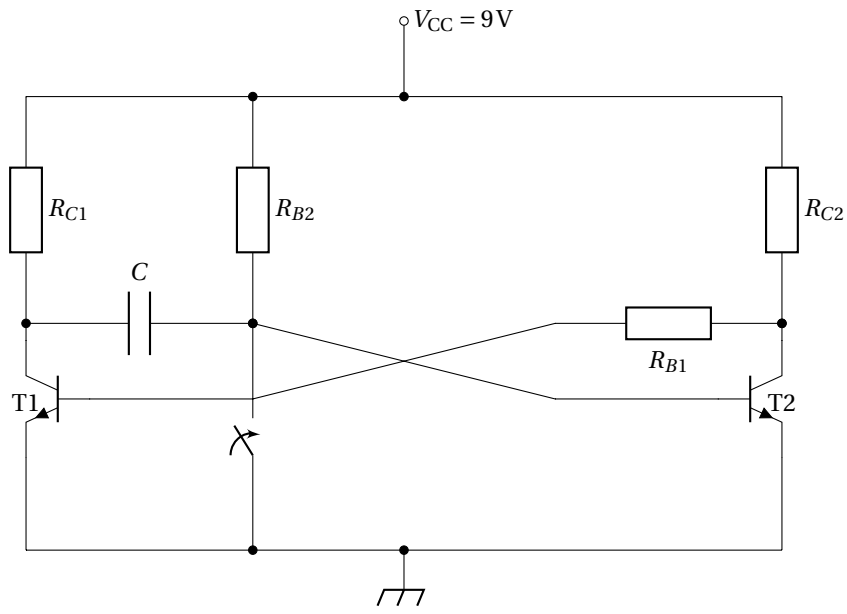


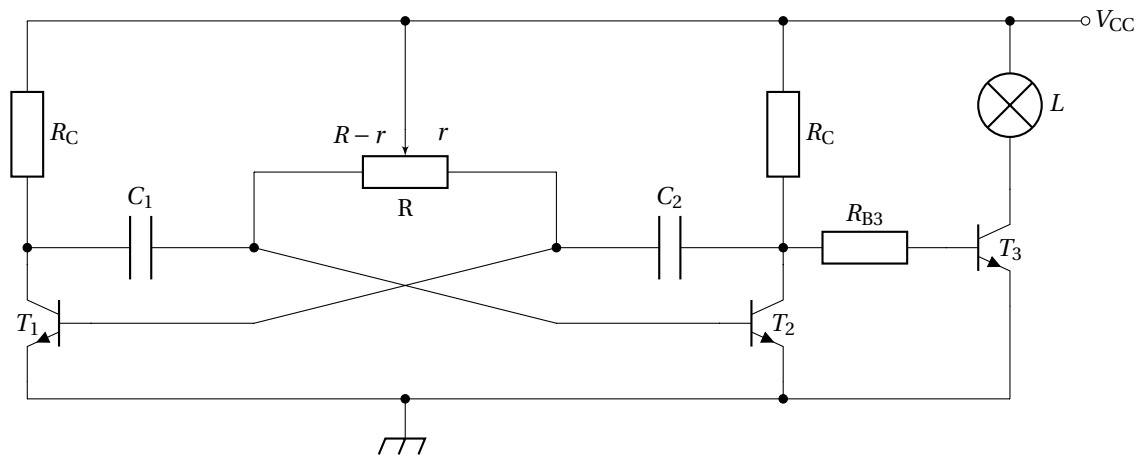
Bascules à transistors bipolaires



Bascules à transistors bipolaires avec DEL

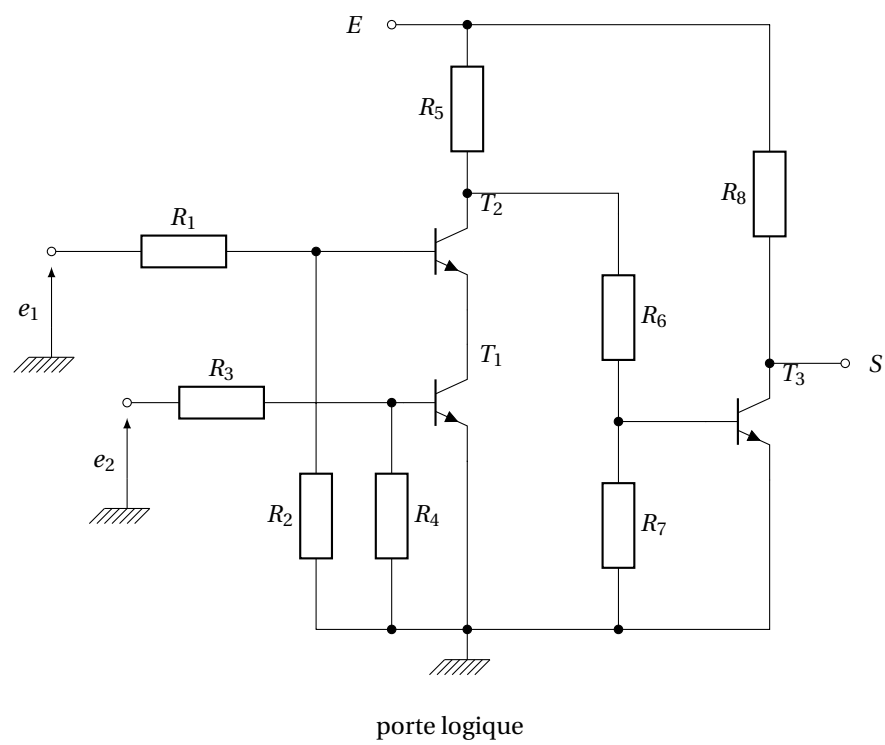




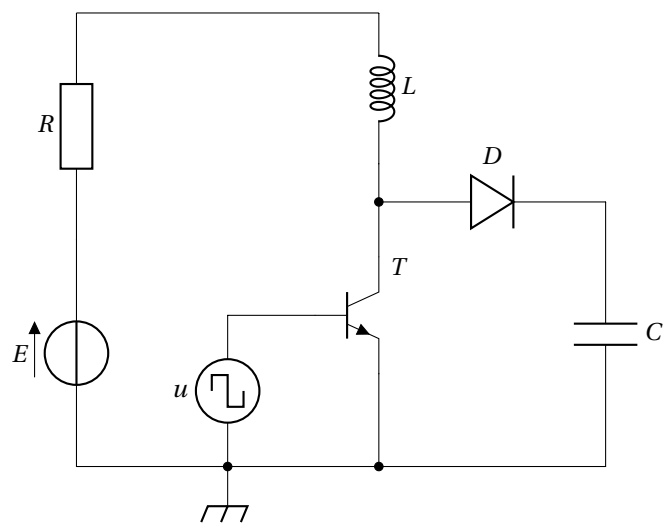


astable commandant un hacheur

3.2.7 Porte logique

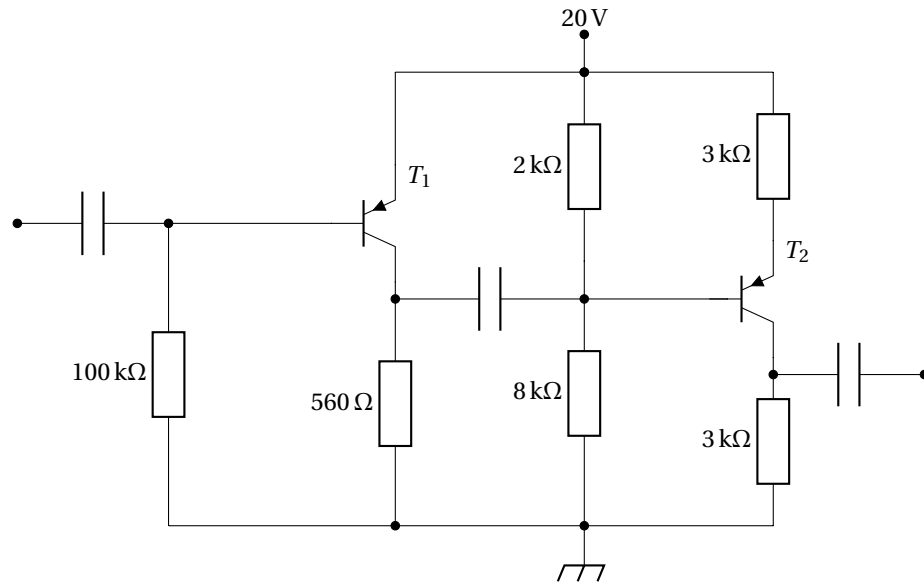


3.2.8 Hacheur survolteur

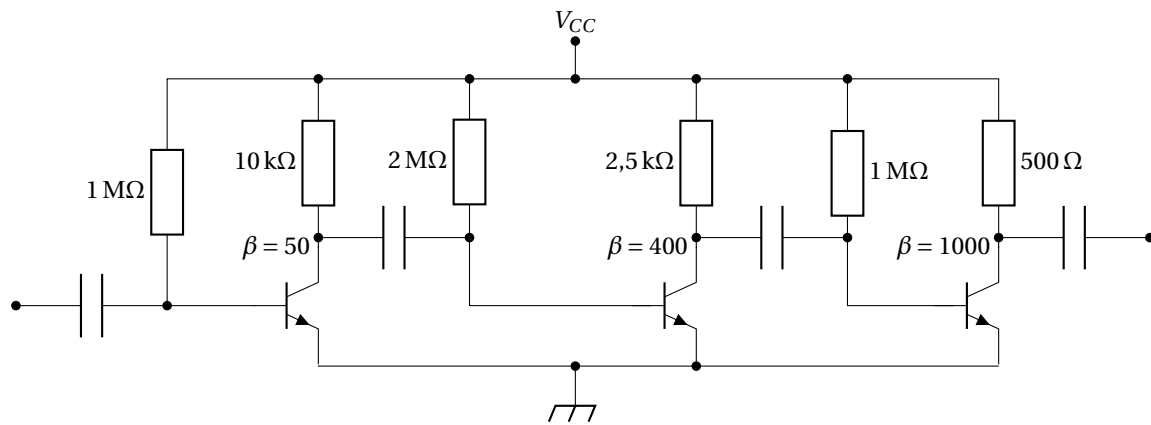


Hacheur survolteur

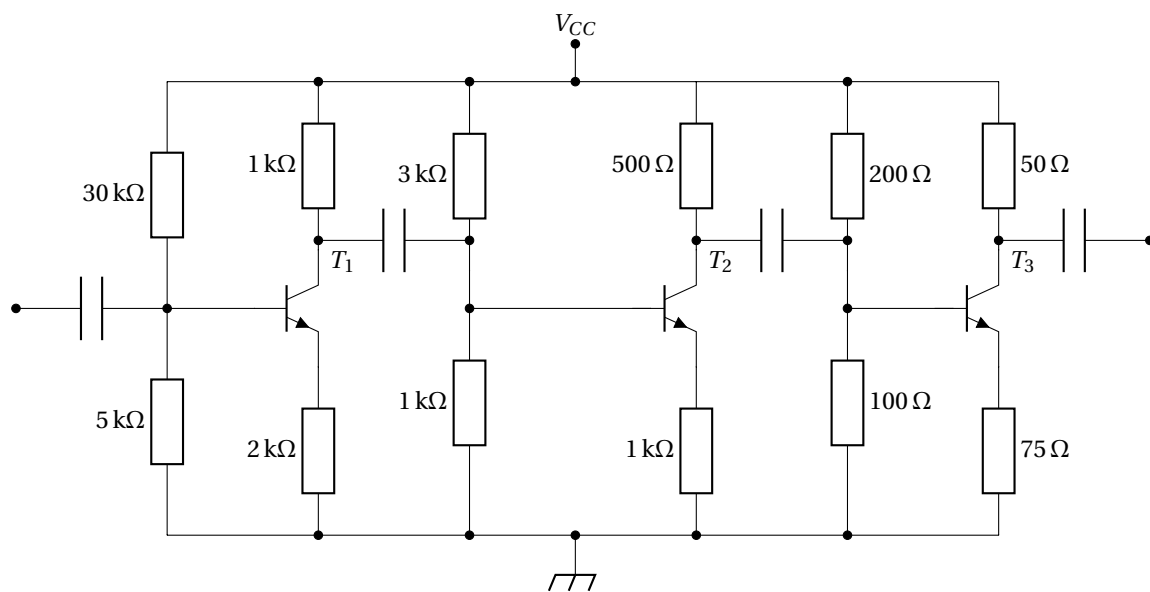
3.2.9 Amplificateur



Amplificateur à deux étages.

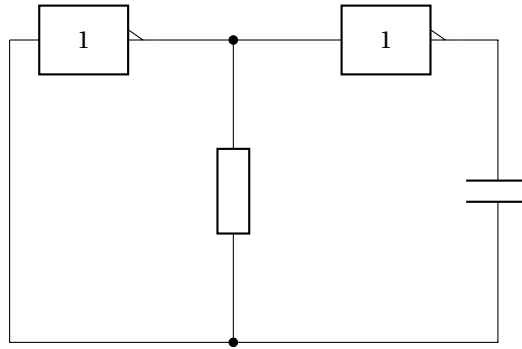


Polarisation d'un amplificateur à trois étages.

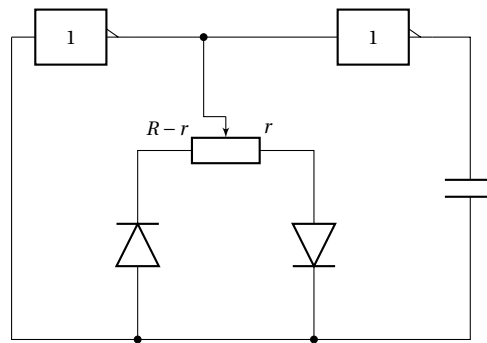


Amplificateur à trois étages.

3.3 Bascules réalisées avec des inverseurs logiques

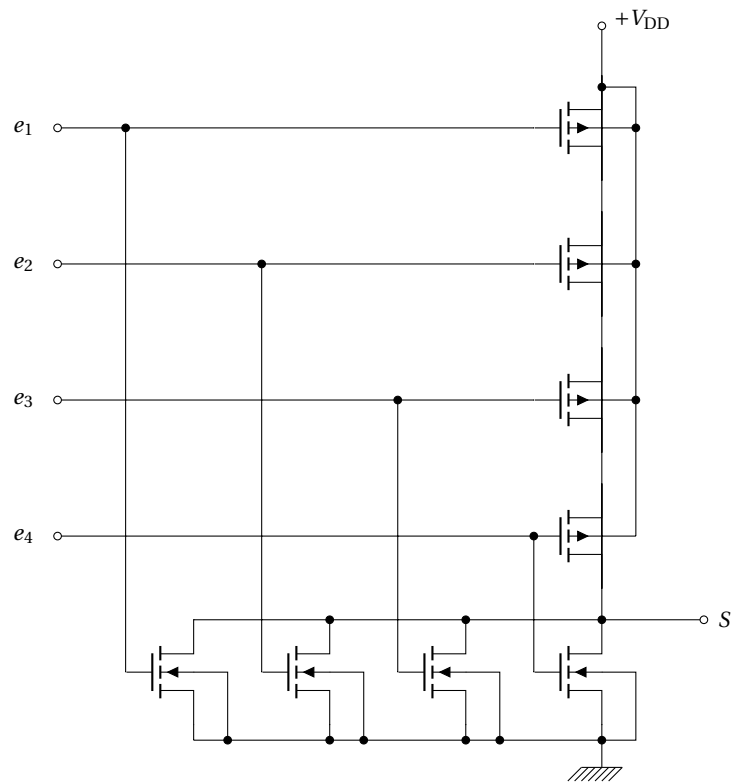


Bascule à inverseur logique symétrique

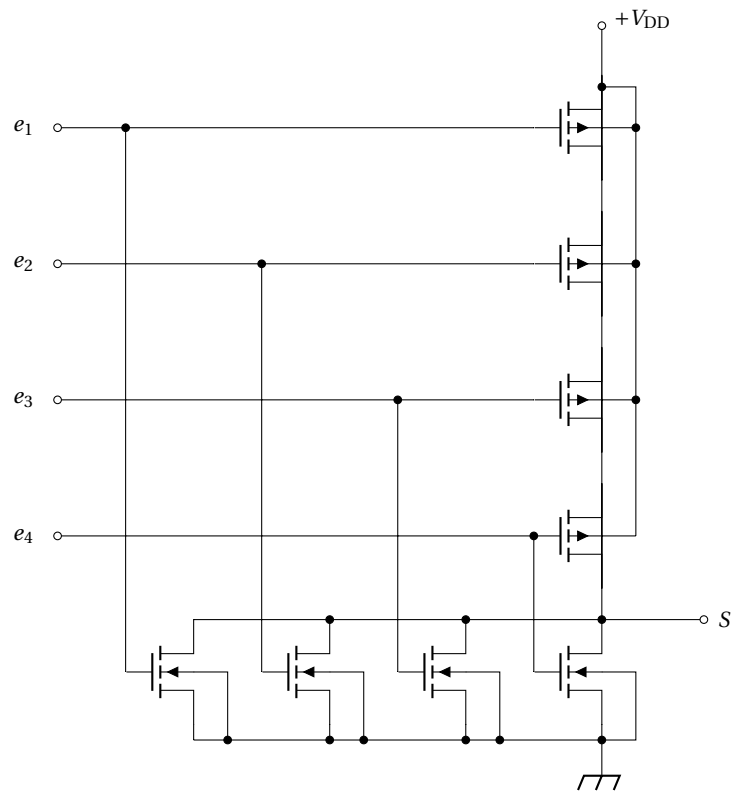


Bascule à inverseur logique asymétrique pour la commande d'un hacheur

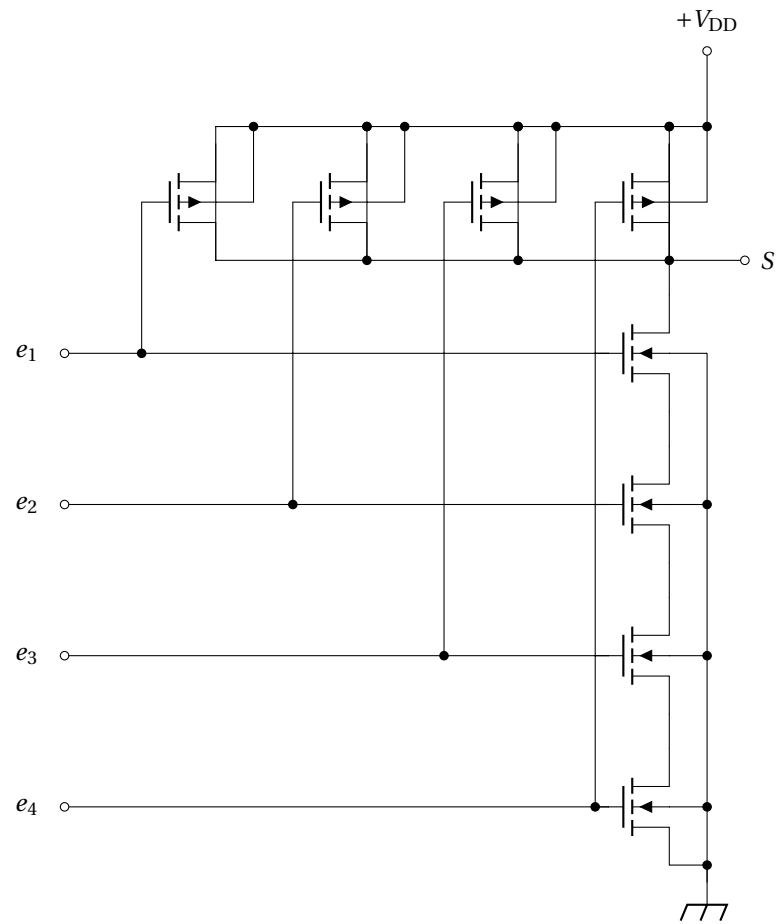
3.4 Transistors à effet de champ à grille isolée



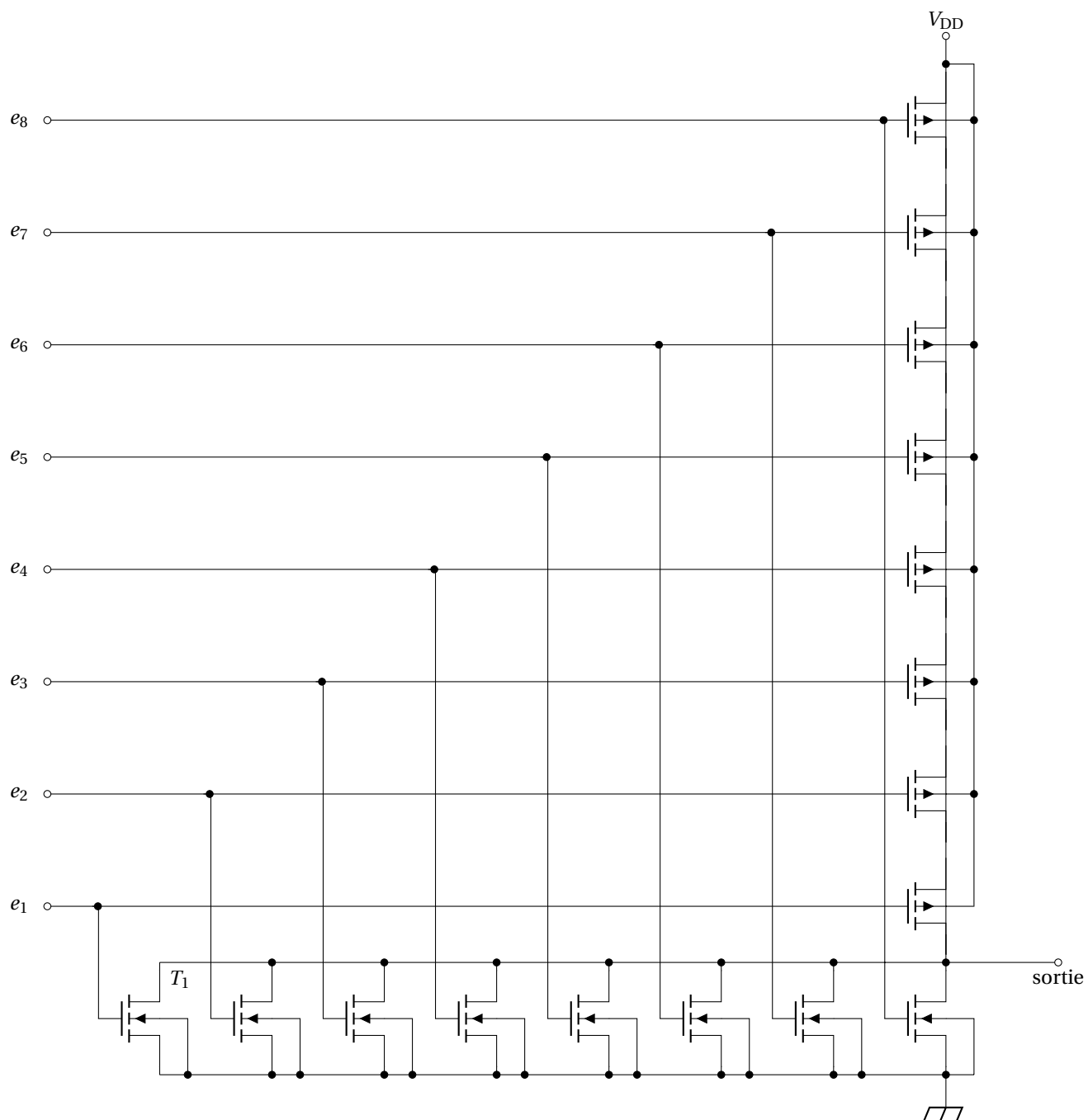
NOR



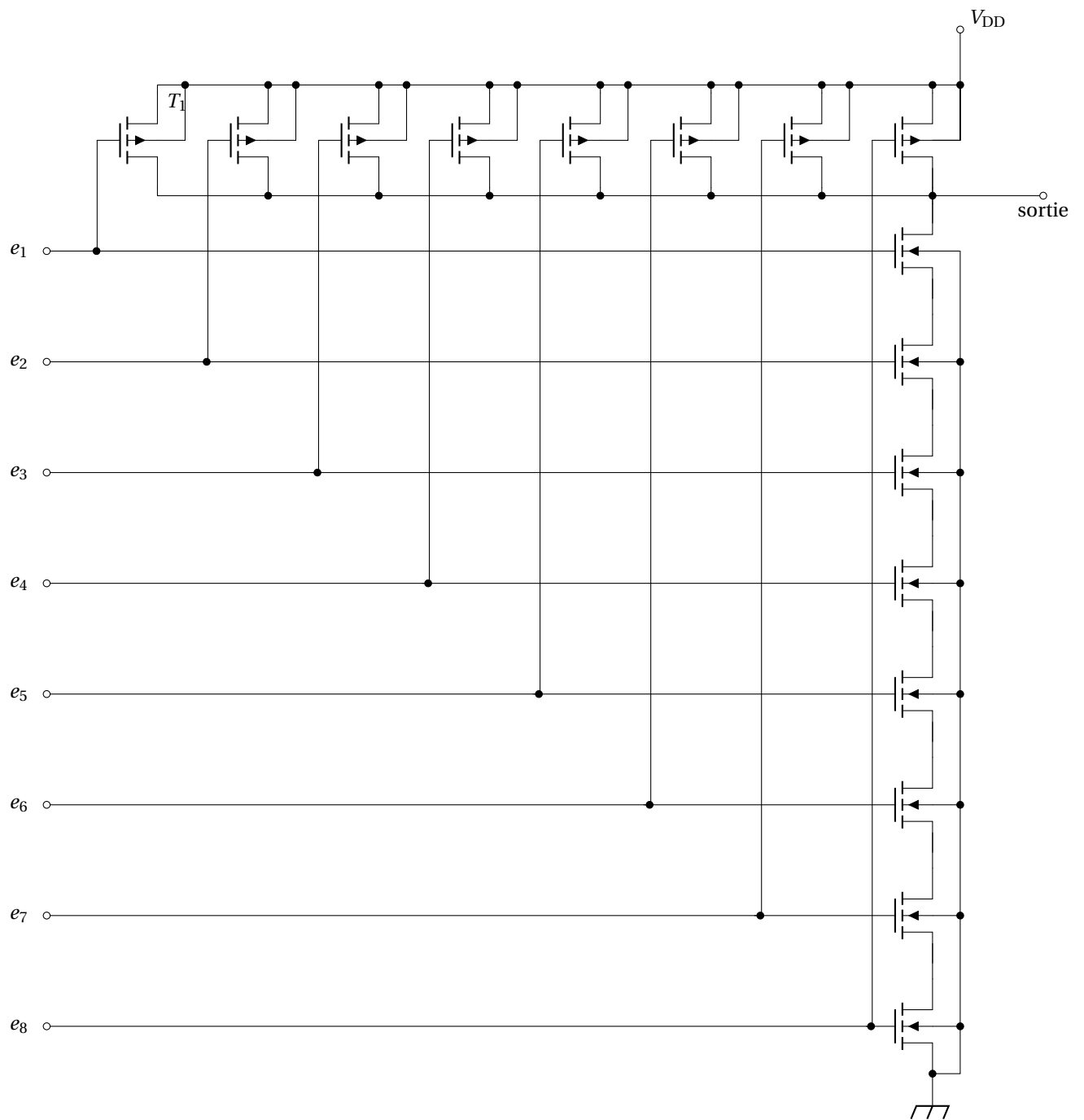
NOR



NAND



NON OU à 8 entrées



NON ET à 8 entrées

Pour le symbole de la masse, on pourra employer « `node[cground]{}` » ou bien la figure ci-dessous, plus belle mais moins simple d'utilisation.

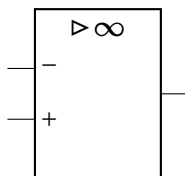


masse

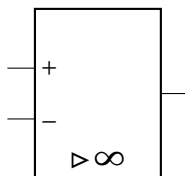
4 Amplificateur opérationnel

4.1 Symbol européen de l'ampli-op

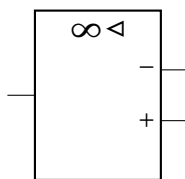
Le premier mai 2017, j'ai contacté l'équipe qui assure le maintien de circuitikz, Stefan Lindner et Stefan Erhardt, afin de leur demander d'élaborer un symbole aux normes européennes de l'amplificateur opérationnel et moins de 24 heures après, j'avais la réponse et le symbole était fait. Quelle réactivité! Merci à eux.



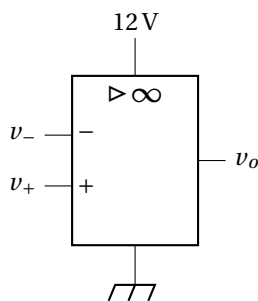
ampli op



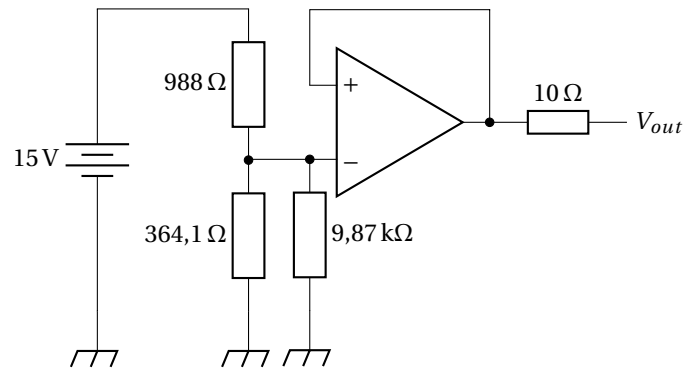
ampli op



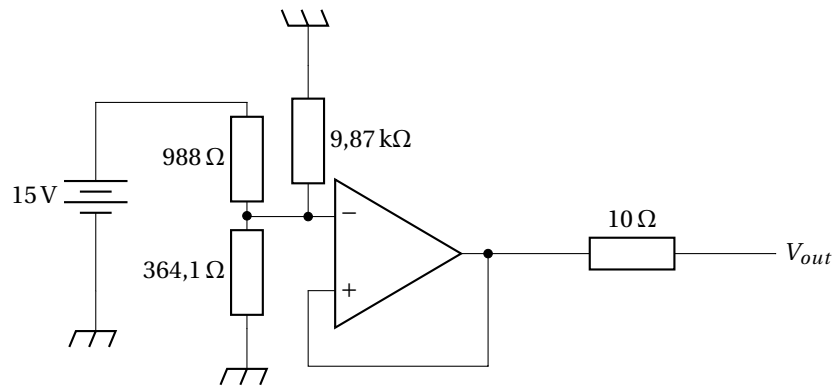
ampli op



ampli op avec ses alimentations

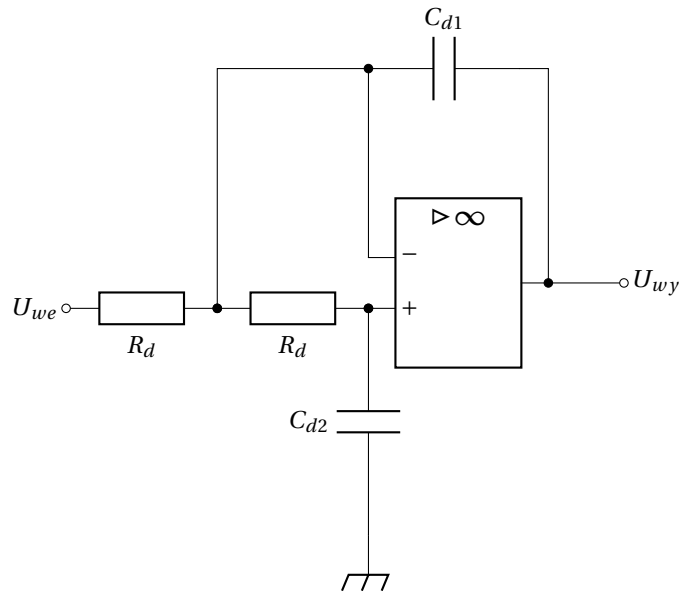


ampli op 1

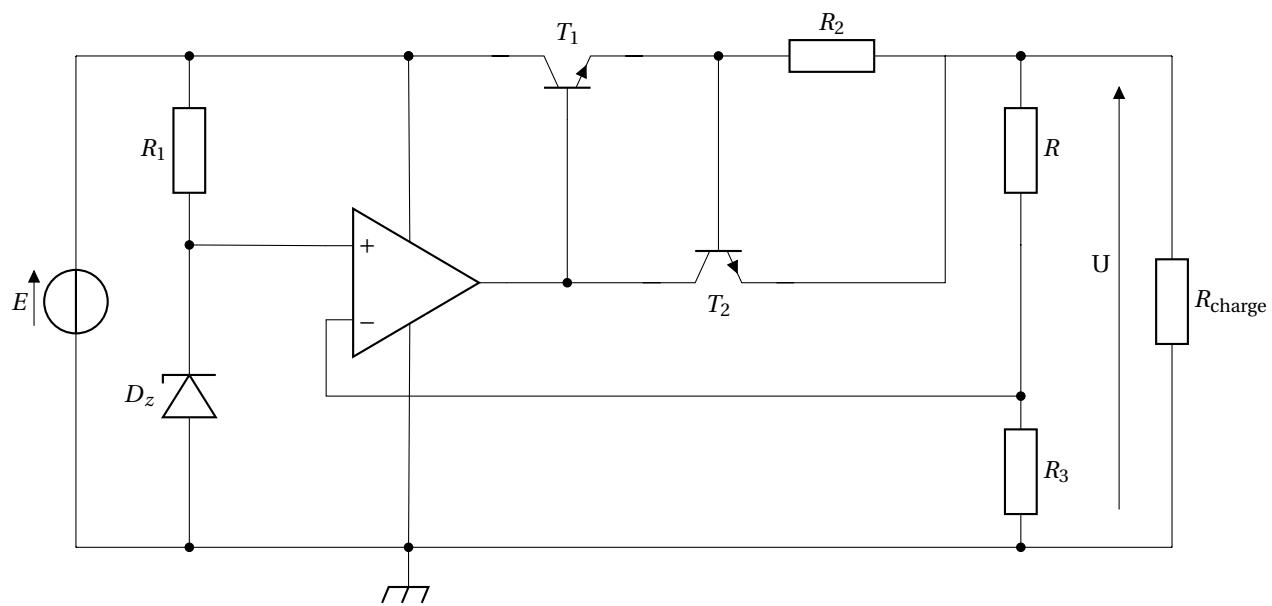


ampli op 2

Circuit réalisé avec des déplacements relatifs par rapport aux entrées et à la sortie de l'ampli-op, je pense qu'il vaut mieux travailler ainsi pour tous les composants qui ne sont pas de simples dipôles.



circuit réalisé à l'aide d'un symbole normalisé de l'aop



Alimentation stabilisée

Schéma bloc :

À utiliser avec le package « schemabloc » de Robert Papanicola.

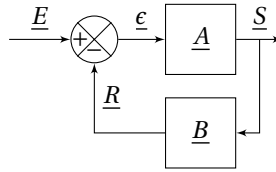


Schéma bloc d'un oscillateur quasi sinusoïdal, rebouclage soustractif.

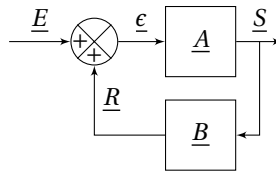
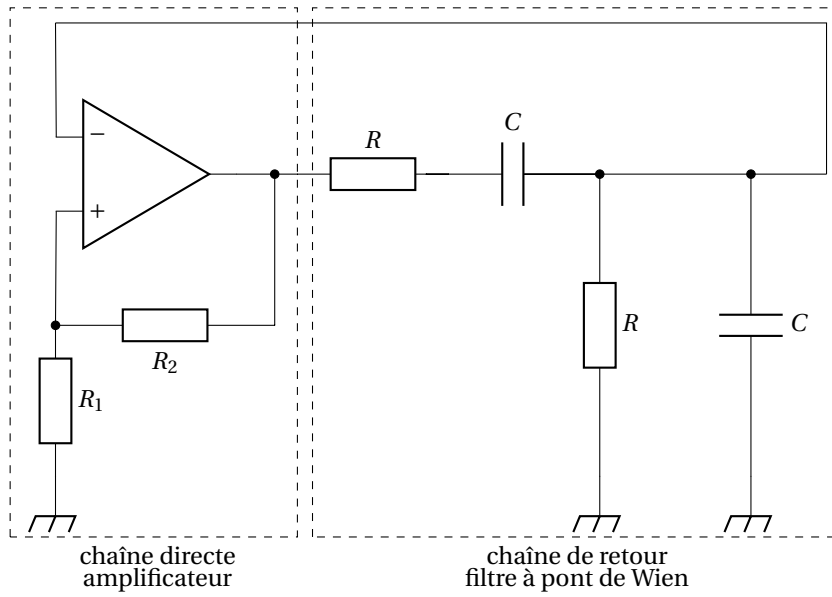


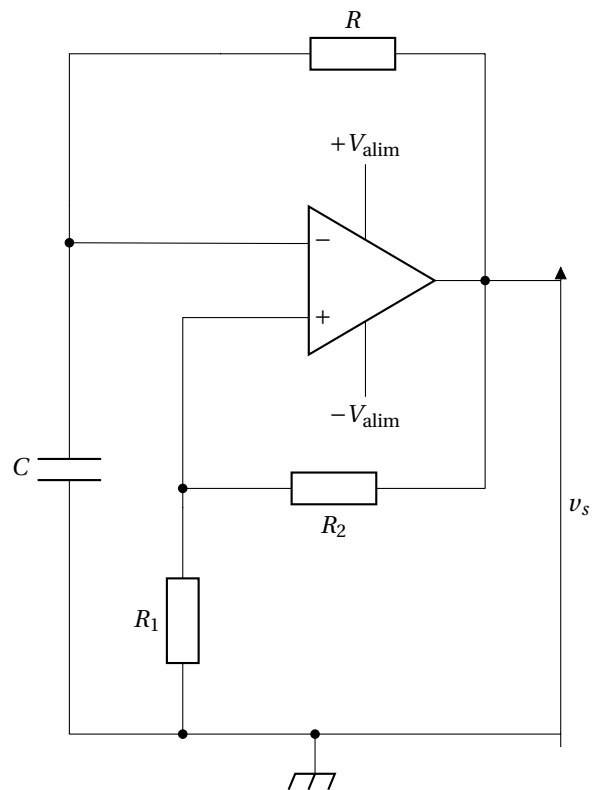
Schéma bloc d'un oscillateur quasi sinusoïdal, rebouclage additif.

Oscillateur à pont de Wien :



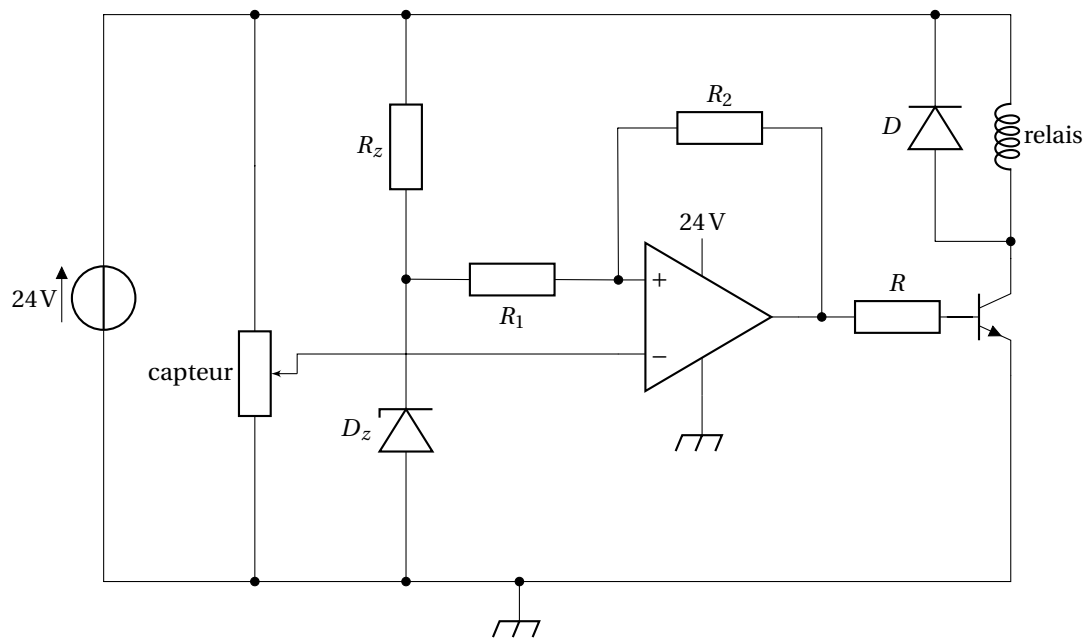
Oscillateur à pont de Wien.

Multivibrateur astable à rapport cyclique variable :



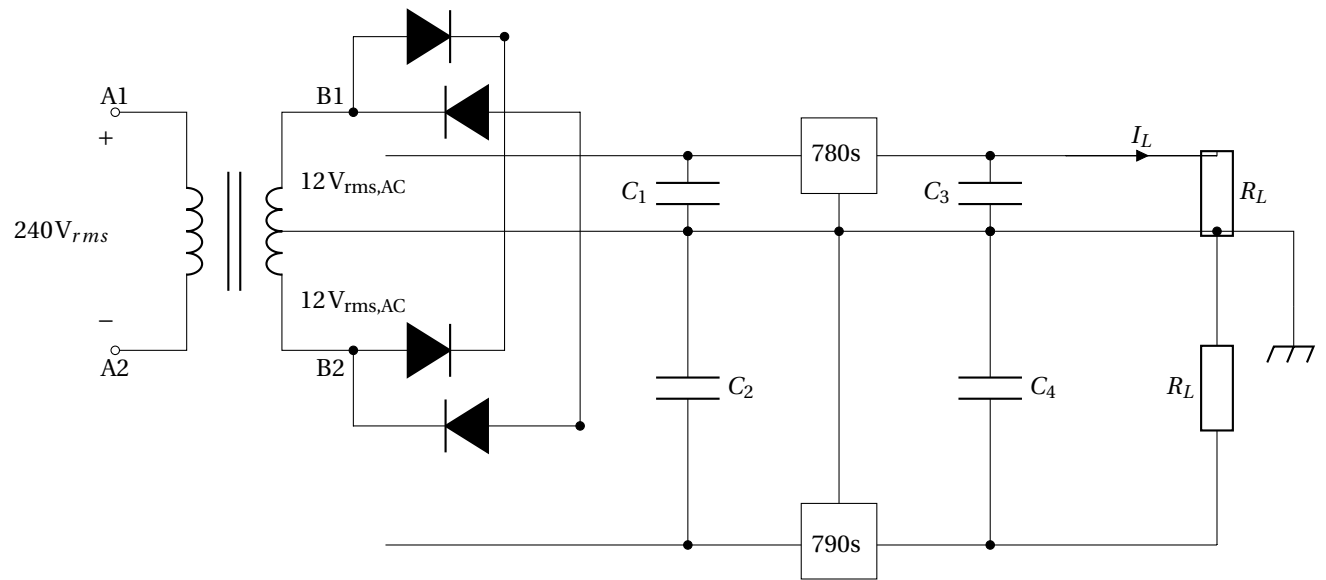
Multivibrateur astable.

Régulation tout ou rien :



Régulation de niveau tout ou rien.

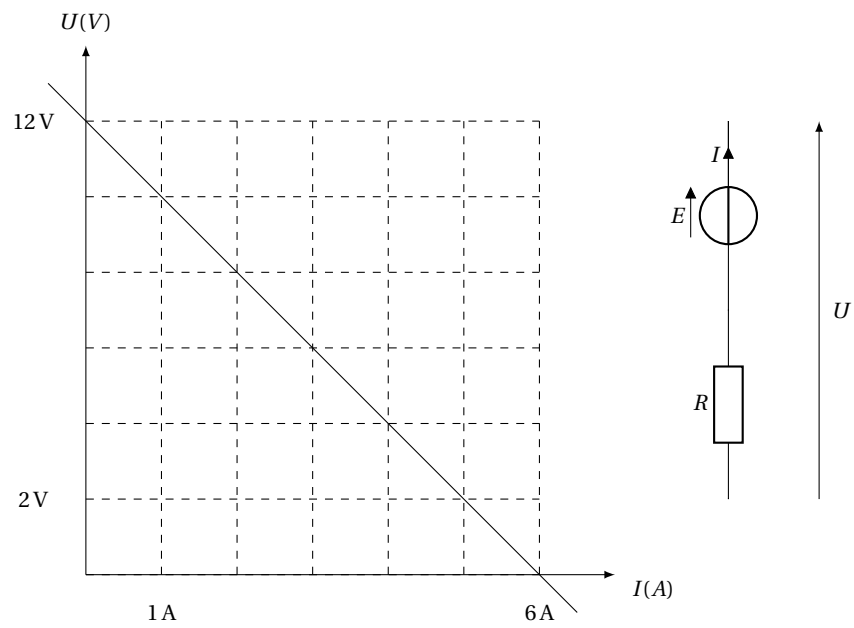
4.2 Autres schémas



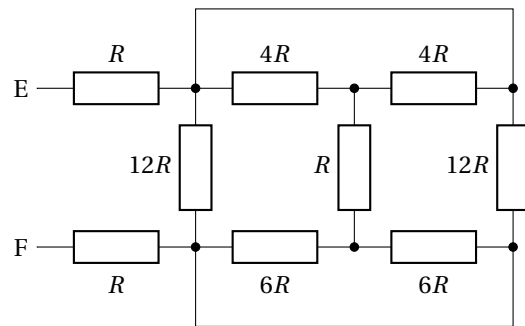
Redresseur

5 Électricité

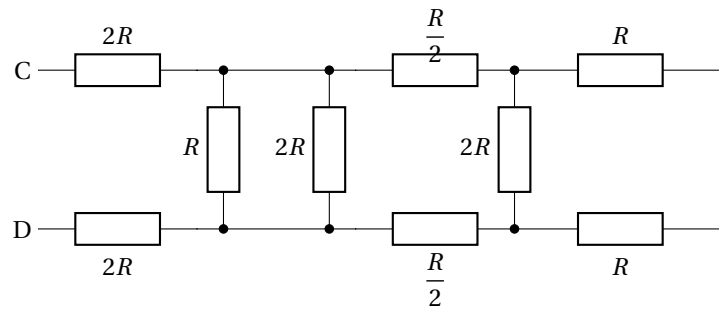
5.1 Continu



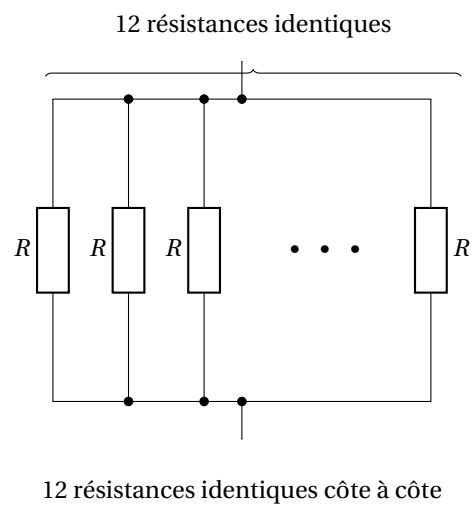
caractéristique électrique

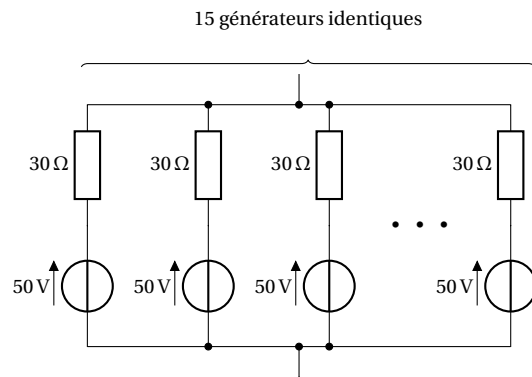


Calcul de résistance équivalente 1

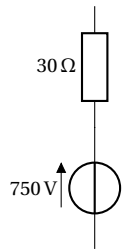


Calcul de résistance équivalente 2

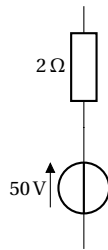




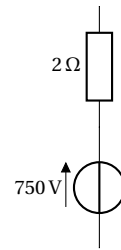
Le générateur équivalent aux générateurs en parallèle ci-dessus est :



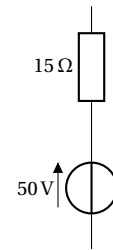
A



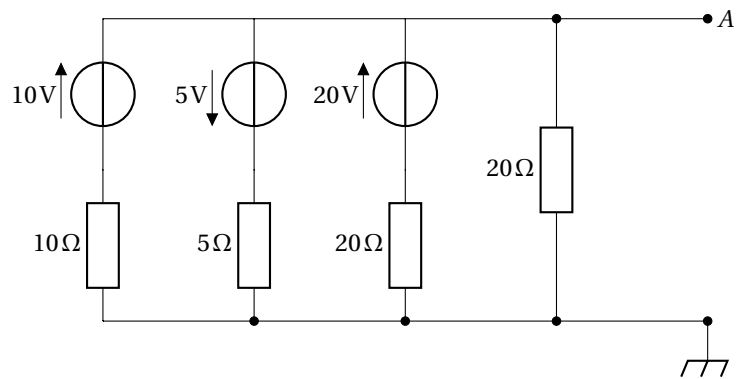
B



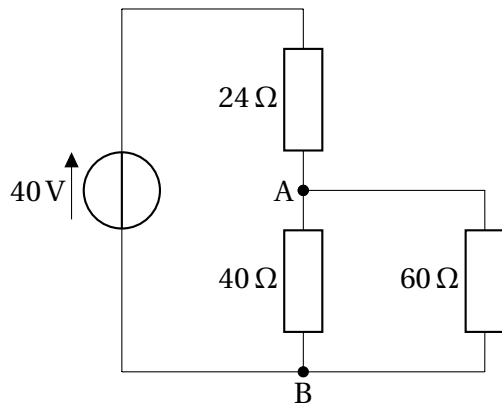
C



D

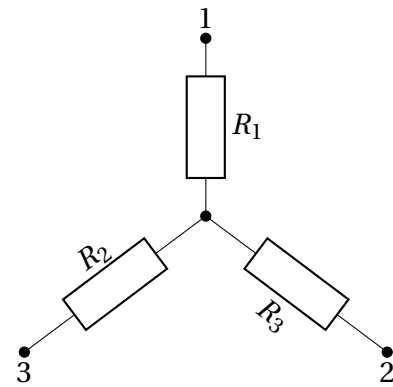
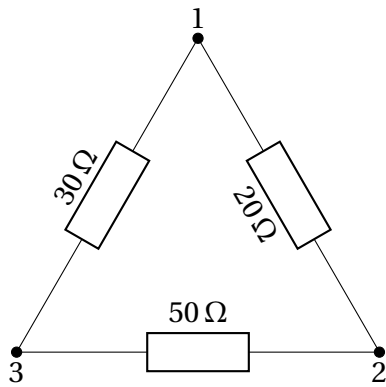


Diviseur de tension chargé

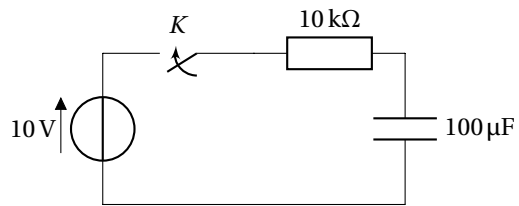


Millman

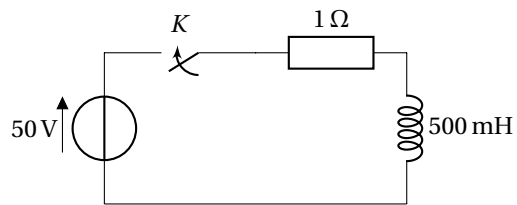
Théorème de Kennelly :



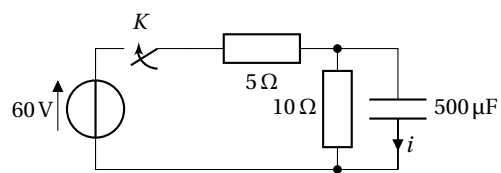
Kennelly



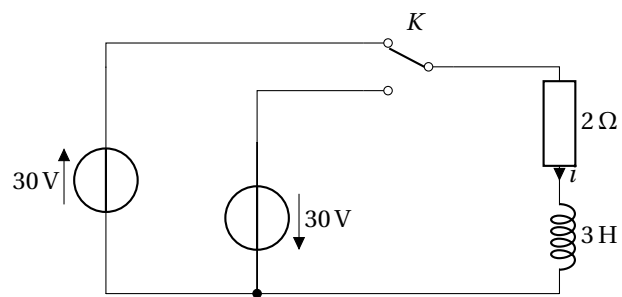
Charge d'un condensateur à tension constante



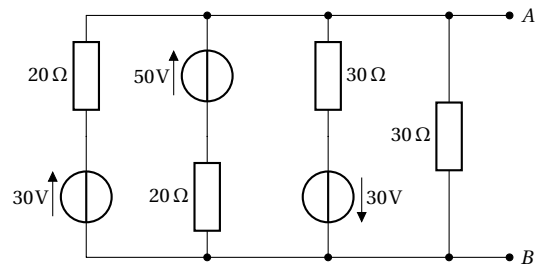
Charge d'une inductance à tension constante



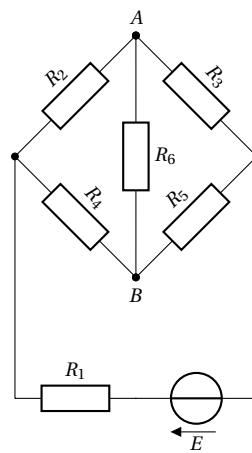
charge d'un condensateur



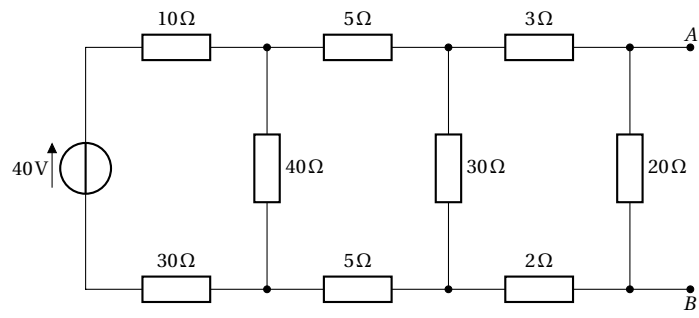
charge et décharge d'une inductance



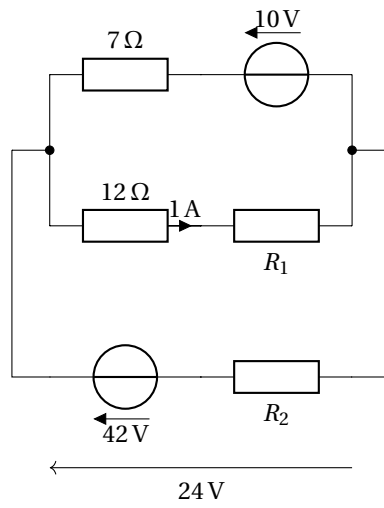
Encore un petit coup de Millman



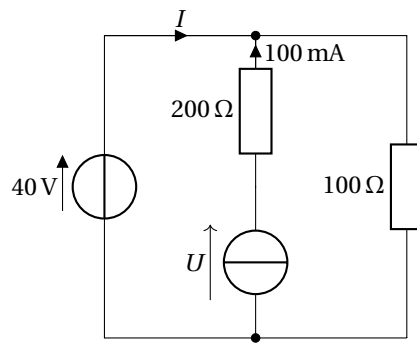
Thévenin



Thévenin encore

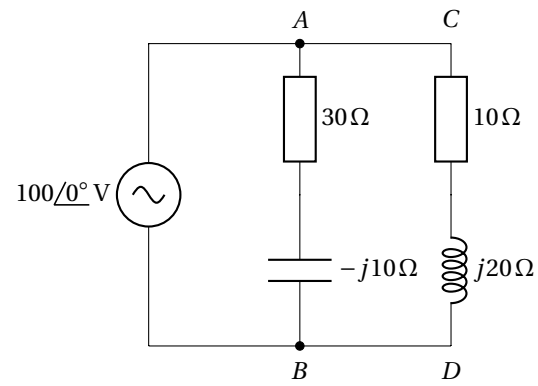


Ah ! les d.d.p. !

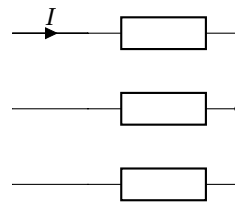


Thévenin

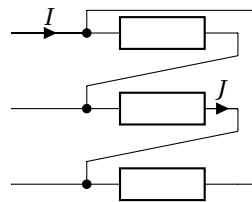
5.2 Alternatif



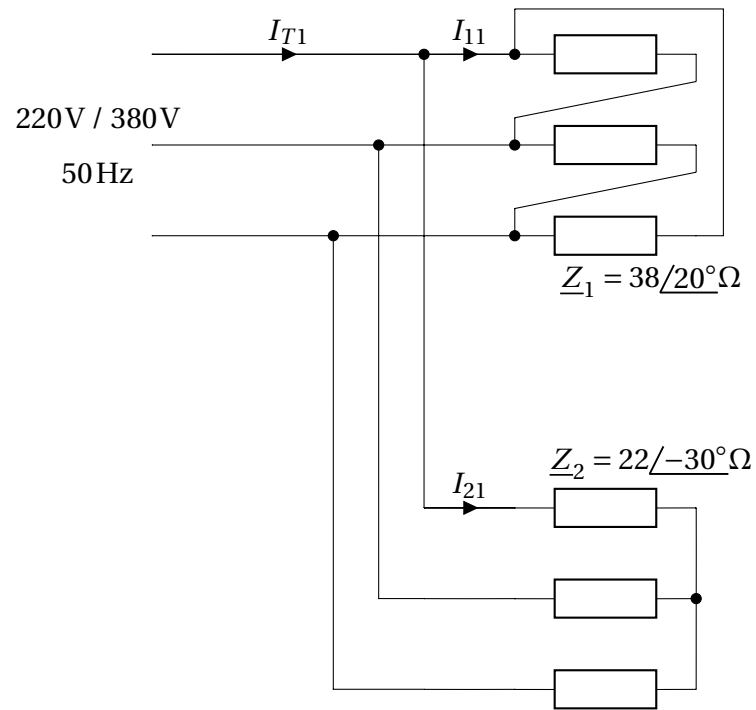
Alternatif monophasé



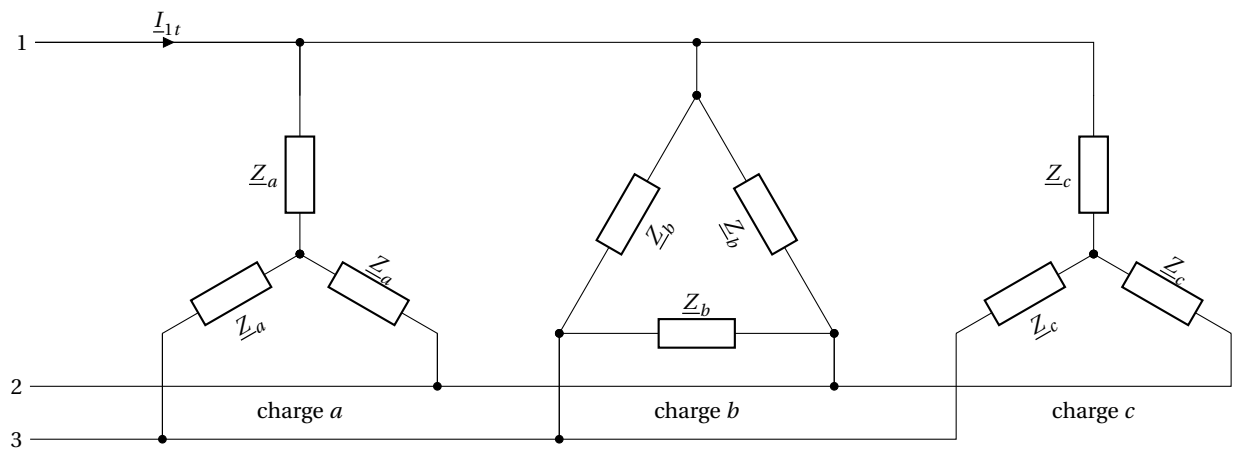
étoile



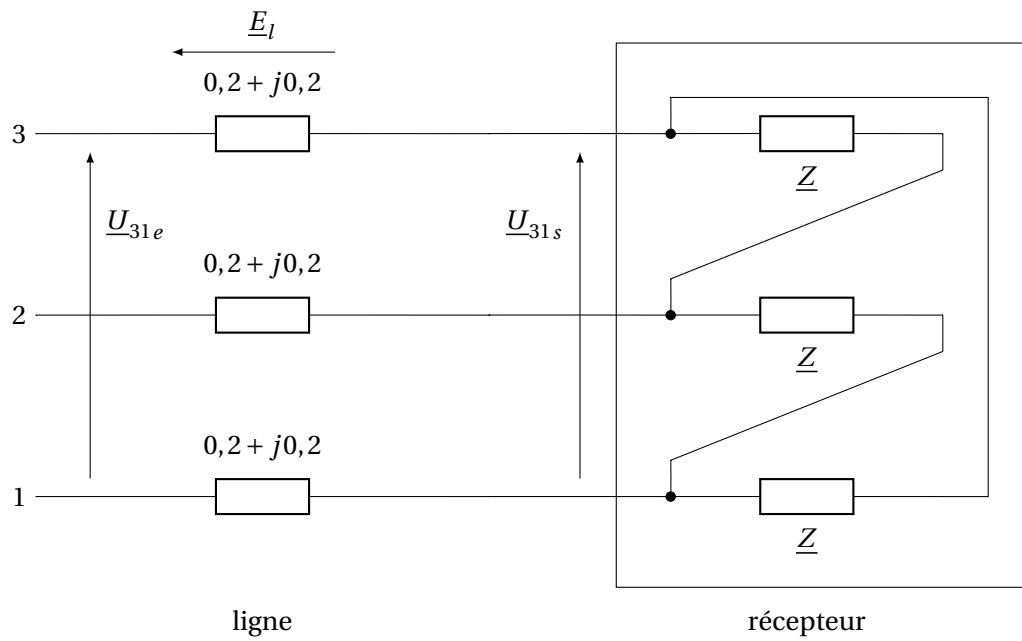
triangle



2 charges triphasées



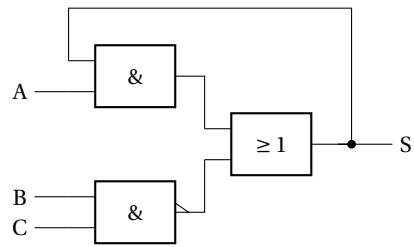
3 charges triphasées



récepteur triphasé avec ligne imparfaite

6 Automatique

6.1 Logigramme



logigramme

6.2 Tableaux de Karnaugh

$z:$

ab		a			
		00	01	11	10
c	0	1			
	1	1		1	1

b

Karnaugh 1

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) : x_1, x_3, x_2, x_4$$

$z:$

a		a	
		0	1
b	0	0	2
	1	1	3

Karnaugh 2

$z:$

a		a	
		0	1
b	0	0	2
	1	1	3

Karnaugh 3

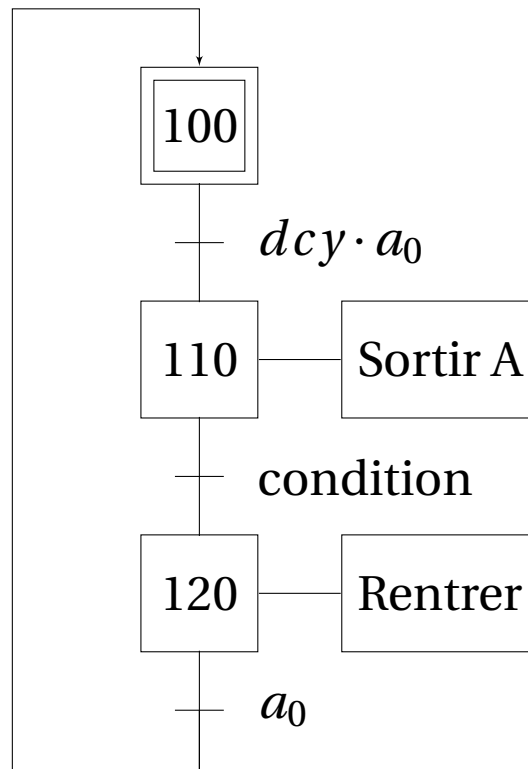
<i>z:</i>		<i>abc</i>							
<i>de</i>		000	001	011	010	110	111	101	100
	00	1	0	0	0	0	1	0	0
	01	1	0	0	0	1	1	1	1
	11	1	1	1	0	0	1	1	0
	10	1	0	1	1	1	1	0	0

Karnaugh 32 cases

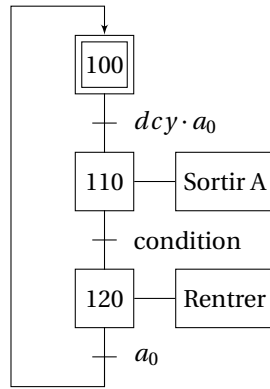
$X_3 X_2$ a

6.3 Grafcet

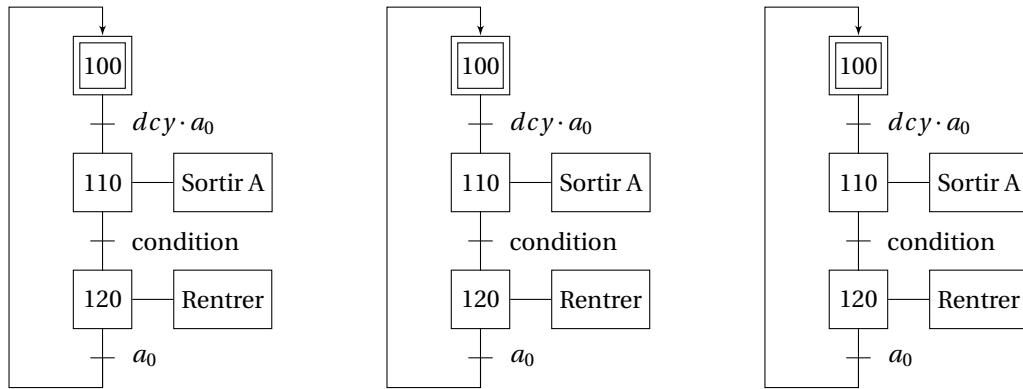
À utiliser avec le package « grafcet » de Robert Papanicola.



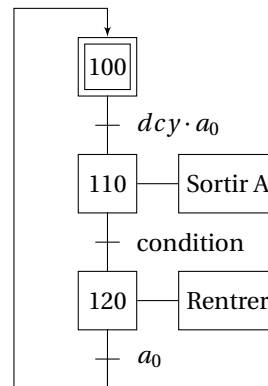
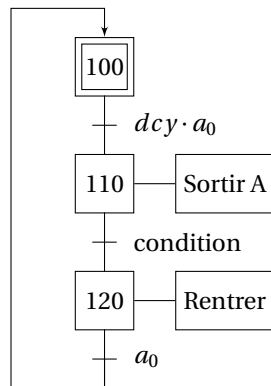
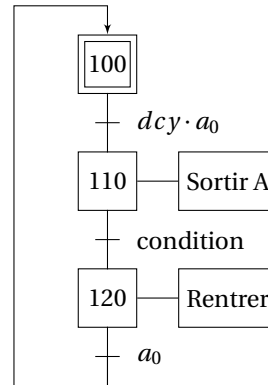
grafcet 1



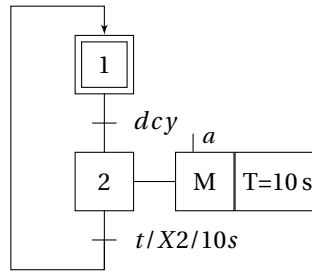
grafcet 2



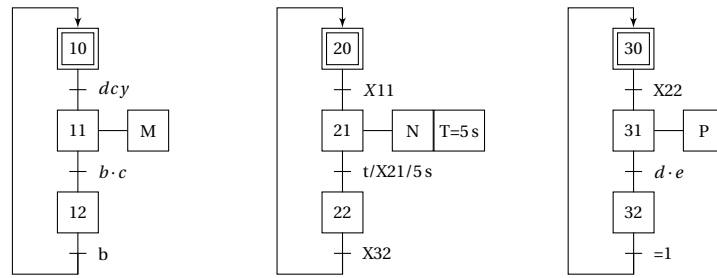
grafcet 3



grafcet 4



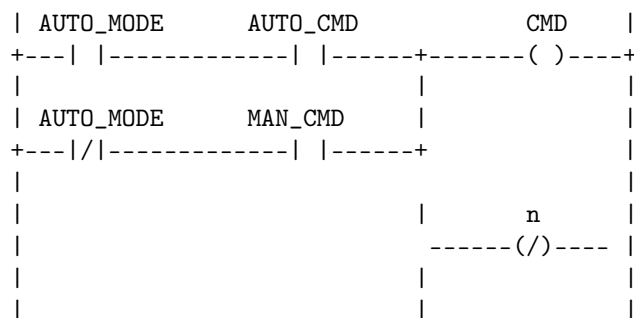
grafcet avec condition sur l'action et temporisation



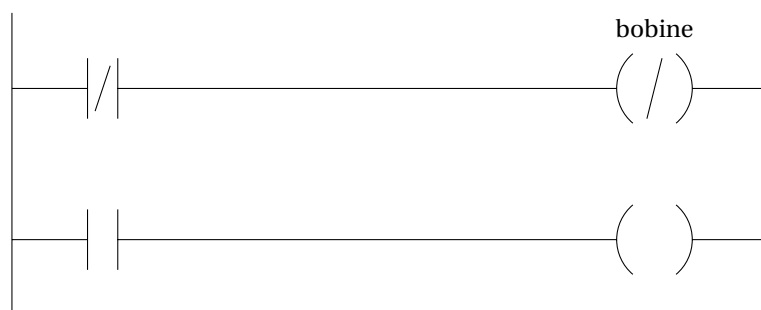
3 petits grafcet

6.4 Ladder

Je n'ai pas trouvé de package spécifique permettant de réaliser du langage ladder.



ladder avec verbatim



Ladder avec Tikz

