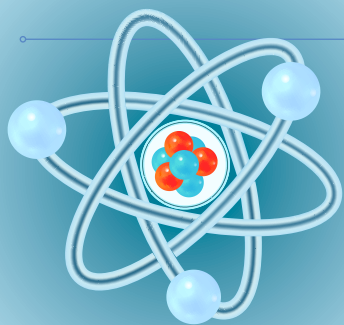




démarrer en électronique... (5) ...est moins difficile qu'on ne l'imagine !

Eric Bogers

Comme promis, voici du concret, du tangible.

Des résistances pour être précis.

Il y a résistances et résistances, certaines plus résistantes, et d'autres moins.

C'est simple, mais ça peut se compliquer...

Résistances passives

Par définition, la résistance est passive. Les résistances sont incapables d'amplifier un signal. Les autres composants passifs sont les condensateurs et les bobines ou selfs ; les composants actifs sont les transistors, les triacs et les diodes. Eh oui, les diodes figurent parmi les composants actifs, bien qu'elles n'amplifient pas, mais parce qu'elles appartiennent à la famille des semi-conducteurs avec lesquels on les range.

Voyons à quoi ressemblent les résistances. Dans la **figure 1**, nous avons les variétés de résistances les plus connues. En bas, une résistance à film métallique et au-dessus, une résistance à couche de carbone, toutes deux d'une puissance max. de 0,25 W. C'est la puissance maximale que cette résistance est capable de dissiper sous forme de chaleur sans détérioration de sa couche résistive. La puissance d'une résistance est un paramètre à surveiller !

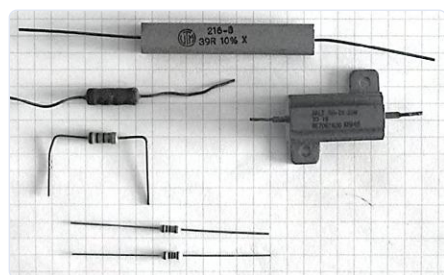


Figure 1. Quelques résistances.

Les résistances présentent non seulement une limite de dissipation de puissance à ne pas dépasser, mais aussi à une limite en tension ; si le seuil de tension de la résistance est dépassé, la surtension peut détruire la résistance (et le circuit dans lequel elle est montée). Pour les résistances courantes de nos projets de loisirs, la tension maximale est généralement de 250 V ; en pratique, nous n'aurons que rarement à nous soucier de tout cela.

Retour à la figure 1 : au milieu, à gauche, deux résistances avec une limite de puissance plus élevée (0,5 W et 1 W), et tout en haut une résistance de 39 Ω cimentée qui supporte jusqu'à 11 W. La résistance de puissance au centre à droite, vissée sur un radiateur, peut dissiper jusqu'à 25 W.

Les résistances ordinaires sont si petites (bas de la figure 1) qu'il est impossible d'y imprimer leur valeur sous une forme lisible. Leur valeur est codée par des anneaux de couleur. Il existe des résistances encore bien plus petites, dépourvues de pattes à souder, appelées CMS, pour composants montés en surface. Comme cette série d'articles est destinée aux débutants en électronique et que les CMS ne conviennent vraiment pas dans le cadre de l'initiation à l'électronique, nous ne nous étendrons pas sur ce sujet. Il y a déjà assez à dire des composants familiers et faciles à manipuler.

Des bagues de couleur

Il existe des résistances à quatre et à cinq bagues de couleur. Les deux ou trois

premières bagues indiquent la valeur de la résistance, qui doit encore être multipliée par un facteur (décimal) indiqué par l'avant-dernière bague. Enfin, la dernière bague indique la tolérance. Tolérance ? Oui, les résistances sont imprévisibles : prenons un lot de 1000 résistances et mesurons-en la valeur avec un ohmmètre précis. Nous constaterons qu'il n'y en a pas deux de la même valeur. L'un aura 1001,3 Ω , l'autre 998,6 Ω et ainsi de suite. C'est la faute à d'inévitables petits défauts de fabrication. La tolérance indique entre quelles valeurs extrêmes se situe la valeur réelle d'une résistance. La valeur réelle d'une résistance de 1000 Ω avec une tolérance de 5 % (donc une résistance à couche de carbone normale), se situera entre 950 Ω et 1050 Ω ; si la tolérance est de 1 %, c'est une résistance à couche métallique, la valeur réelle se situe entre 990 Ω et 1010 Ω . Il arrive, mais rarement que l'on tombe sur des valeurs aberrantes, en dehors des limites de tolérance.

Pour la plupart des applications, des résistances à couche de carbone de 5 % conviennent ; nous n'utiliserons les résistances à couche métallique (plus coûteuses) que si la précision est critique, dans les filtres par exemple et/ou dans un circuit d'amplificateur audio de haut de gamme dont le bruit doit être aussi réduit que possible.

Le **tableau 1** indique le code de couleur des résistances. Une résistance à film métallique de 1 % de 1 k Ω porte le code brun, noir, noir, brun, brun. Malheureusement, dans ce cas, faute de savoir dans quel sens le code doit être lu, il pourrait s'agir d'une résistance de

Tableau 1. Code de couleur des résistances.

					tolérance de la valeur
4 bagues	1 ^{ère} bague	2 ^e bague	-	3 ^e bague	4 ^e bague
5 bagues	1 ^{ère} bague	2 ^e bague	3 ^e bague	4 ^e bague	5 ^e bague
noir	-	0	0	1	
marron	1	1	1	10	±1%
rouge	2	2	2	100	±2%
orange	3	3	3	1 k	
jaune	4	4	4	10 k	
vert	5	5	5	100 k	±0,5%
bleu	6	6	6	1 M	
violet	7	7	7	10 M	
gris	8	8	8	100 M	
blanc	9	9	9	1 G	
or	-	-	-	0,1	±5%
argent	-	-	-	0,01	±10%

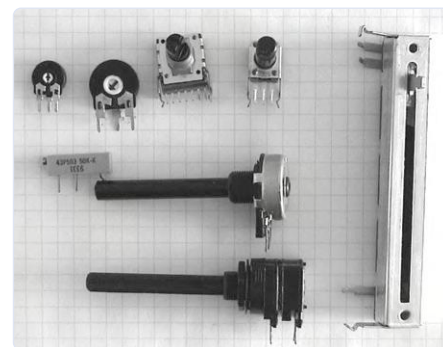


Figure 2 : Potentiomètres et résistances ajustables.

110 Ω... C'est un cas assez exceptionnel. En cas de doute, on vérifiera la valeur exacte avec un ohmmètre.

Un autre inconvénient des bagues de couleur est la confusion possible entre rouge et orange. Là aussi, en cas de doute, c'est l'ohmmètre qui tranche.

Les résistances sont produites en séries de valeurs standardisées, choisies de telle sorte que la tolérance positive maximale d'une valeur corresponde à la tolérance négative maximale de la voisine supérieure. Les plus courantes sont les séries dites E (voir **tableau 2**) produites à leur tour en différentes décades (par exemple 2,2 Ω, 22 Ω, 220 Ω, 2,2 kΩ, 22 kΩ, 220 kΩ et 2,2 MΩ). Il existe aussi des séries R, mais vos chances de les rencontrer un jour sont faibles. On ne peut pas tout savoir.

Si vous avez un jour besoin d'une valeur précise, mais à ce point tordue qu'elle n'existe dans aucune des séries E), elle peut être obtenue par un montage en parallèle et/ou en série de résistances E24 choisies de manière appropriée. Ou, bien sûr, vous pouvez utiliser une résistance variable...

Résistances variables

Le propre des potentiomètres et des résistances ajustables est de présenter une résistance que l'on peut faire varier. Les potentiomètres sont équipés d'un axe tournant sur lui-même que l'on peut munir d'un bouton. Quand il dépasse du boîtier d'un appareil, il peut être actionné par l'utilisateur. L'exemple le plus connu est bien sûr le contrôle du volume

d'un amplificateur classique (l'organe de réglage de volume des appareils numériques actuels est un générateur d'impulsions (codeur)). Les résistances ajustables sont implantées sur le circuit imprimé et ne sont généralement pas accessibles de l'extérieur. On les règle une fois pour toutes avec un mini-tournevis lors de l'étalonnage du circuit. La **figure 2** montre quelques exemples de potentiomètres : à droite, le curseur rectiligne utilisé sur les consoles de mixage, au milieu, deux potentiomètres ordinaires, en haut un spécimen monophonique et en bas un stéréophonique. Ce dernier se compose en fait de deux potentiomètres actionnés par un axe commun.

Dans un potentiomètre rotatif classique, un contact de traînée se déplace sur une piste de carbone. La qualité de ce contact électromécanique se dégrade à l'usage, et finit par produire des parasites gênants, surtout avec les amplificateurs. Quand un tel potentiomètre n'est pas hermétiquement clos, un aérosol spécial pour contacts électriques peut résoudre le problème, pour un temps au moins. Parfois on obtient une certaine amélioration (non moins temporaire) en faisant faire à l'axe de nombreuses allées et venues rapides. Le mieux est de changer de potentiomètre.

Les potentiomètres dits *cermet* (plus chers) sont moins sensibles à ces conséquences du vieillissement ; sur la fig. 2, vous en voyez deux exemplaires (mono à droite, stéréo à gauche). Enfin, dans le coin supérieur gauche, il y a deux résistances ajustables en version fermée, réputées moins sensibles à la poussière.

Tableau 2. Valeurs de résistance normalisées

E3	E6	E12	E24
1	1	1	1
			1,1
		1,2	1,2
			1,3
	1,5	1,5	1,5
			1,6
		1,8	1,8
			2,0
2,2	2,2	2,2	2,2
			2,4
		2,7	2,7
			3,0
	3,3	3,3	3,3
			3,6
		3,9	3,9
			4,3
4,7	4,7	4,7	4,7
			5,1
		5,6	5,6
			6,2
	6,8	6,8	6,8
			7,5
		8,2	8,2
			9,1

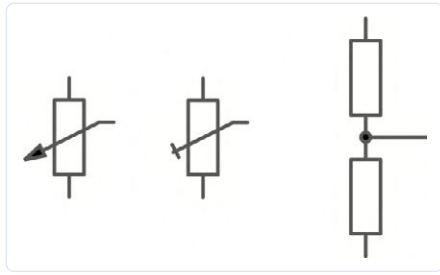


Figure 3 : Symboles de potentiomètres.

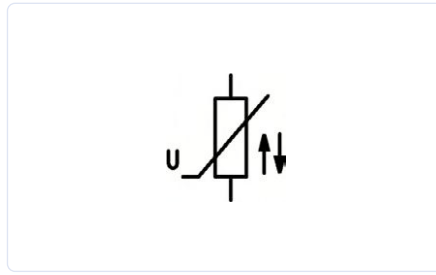


Figure 4 : Résistance commandée en tension (VDR).

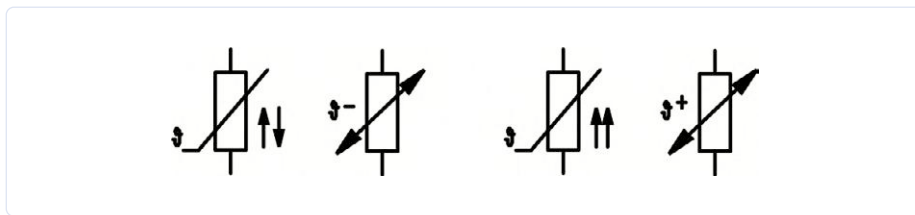


Figure 5 : Thermistances NTC et PTC.

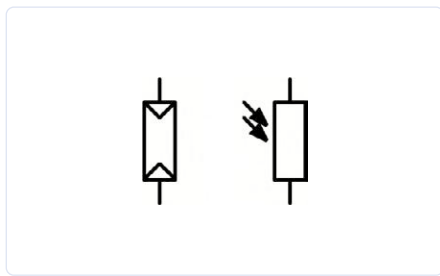


Figure 6 : Photorésistance (LDR).

Linéaire ou logarithmique ?

Dans les listes de composants, l'abréviation **log** ou **lin** indique la caractéristique de la courbe des potentiomètres : logarithmique ou linéaire, selon la progression de la valeur de la résistance d'un bout à l'autre de la piste. Les potentiomètres à courbe logarithmique sont utilisés principalement pour la commande de volume des amplificateurs, car notre sensibilité auditive présente elle-même une caractéristique (plus ou moins) logarithmique.

La **figure 3** montre des symboles de potentiomètres : à gauche un potentiomètre, au milieu une résistance ajustable et à droite le schéma équivalent. La valeur des deux résistances partielles varie selon la position du curseur (c'est-à-dire la connexion centrale dans le symbole du schéma) sur la piste résistive.

Comme celle des résistances normales, la puissance des potentiomètres est limitée.

Résistances spéciales

Il existe des résistances dont la valeur varie en fonction de phénomènes physiques. Voici les plus courantes.

La **figure 4** montre le symbole d'une **résistance commandée en tension (VDR)**. Dès qu'un certain seuil de tension est dépassé, une VDR devient très faiblement ohmique ; ce composant est utile pour protéger d'autres composants contre les surtensions. Les VDR sont souvent utilisées pour protéger les transformateurs de réseau contre les surtensions (qui peuvent se produire quand un conducteur neutre est mal connecté). Dans ce cas, la VDR est traversée par un courant d'une telle intensité que le fusible secteur saute : le danger disparaît. Généralement la VDR doit être remplacée par la suite.

Sur la **figure 5**, on trouve des thermistances, ou «résistance sensible à la température». À gauche NTC, à coefficient de température négatif, à droite PTC, à coefficient de température positif. Sur une résistance NTC, la valeur de la résistance diminue à mesure que la résistance se réchauffe ; sur une résistance PTC, c'est exactement l'inverse. Les résistances NTC sont parfois utilisées pour limiter l'intensité des courants d'appel : les amplificateurs de puissance classiques contiennent généralement de lourds transformateurs secteur et de volumineux condensateurs de lissage qui ne sont pas encore chargés au moment de la mise sous tension. L'intensité du courant immédiatement après la mise en marche est donc si élevée que dans le pire des cas cela peut faire sauter

Votre avis, s'il vous plaît

Nous vous invitons à donner votre avis sur cet article en écrivant à l'adresse redaction@elektor.fr

Ont contribué à cet article

Auteur : **Michael Ebner**

Rédaction : **Eric Bogers**

Maquette : **Giel Dols**

Traduction : **Louis Pinck**

le fusible du secteur. Une NTC (froide) peut résoudre ce problème en limitant l'intensité du courant dans un premier temps ; à mesure que la NTC est réchauffée par le courant qui la traverse, l'intensité du courant augmente moins brutalement avant d'atteindre sa valeur nominale sans avoir fait sauter de fusible. Habituellement, après quelques secondes, ces résistances de limitation de courant sont pontées par un relais (électromécanique) afin d'éviter toute perte de puissance dans la résistance NTC.

Enfin, la **figure 6** montre la photorésistance dont la résistance varie selon l'éclairement (LDR). Plus la LDR est éclairée, plus sa résistance diminue. Naguère, ces résistances étaient souvent présentes dans les photocapteurs, mais leur usage était restreint par la lenteur de leur réaction aux changements de luminosité. De nos jours, on préfère les photodiodes ou les phototransistors.

La prochaine fois, nous parlerons de condensateurs. 

200551-02



LIVRES

- > **Basic Electronics for Beginners**
www.elektor.fr/basic-electronics-for-beginners-e-book
- > **L'électronique pour les débutants**
<https://bit.ly/339BBAv>

ohm suite ohm

Ni CPU ni ALU, juste un opérateur logique NOR à deux transistors

Dennis Kuschel (Allemagne)

Rien de tel qu'un microcontrôleur pour désintégrer massivement la quincaillerie électronique tout en multipliant les fonctions dans un volume toujours plus restreint. Un seul μC moderne remplace un tiroir entier de composants dits discrets, mais bien encombrants. Chaque revers a sa médaille : ces millepattes-là il faut les programmer, dans un langage de programmation plus ou moins évolué. Et c'est ainsi qu'on perd le contact avec ce qui se passe matériellement dans un tel contrôleur.

Retour aux sources avec quelqu'un qui connaît son sujet !

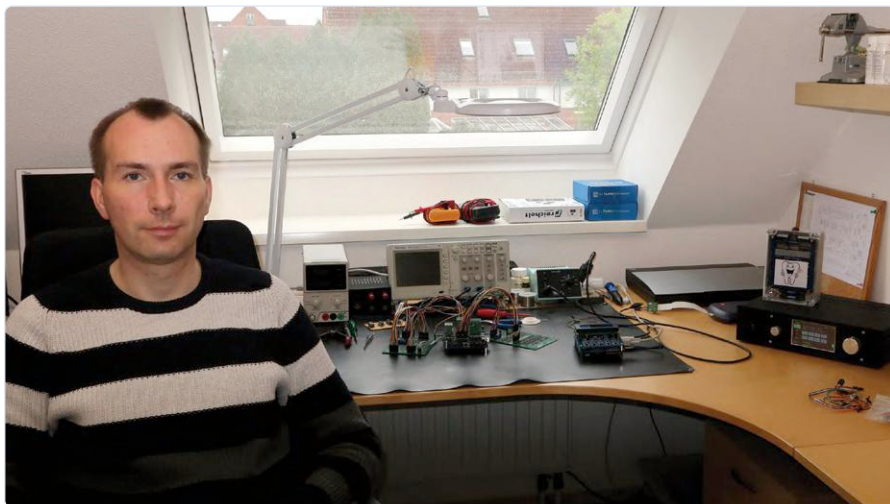


Figure 1. Dennis Kuschel dans son laboratoire. Une installation apparemment spartiate mais elle foisonne d'idées découaphantes.

Un macrocontrôleur

« La photo (fig. 1) de mon lieu de travail à la maison montre que mon équipement de mesure se limite à un oscilloscope et deux multimètres numériques. Je n'ai besoin de rien d'autre. Sur ma table, un exemplaire de l'ordinateur MyNOR (jeu de mots sur *minor* = (plus) petit) dont 10 circuits intégrés ont été remplacés par des transistors discrets (on voit surtout les fils de connexion colorés). »

« Pour Noël 1989, j'ai reçu mon premier ordinateur à moi, un Commodore 64. Les jeux ne m'ont pas satisfait longtemps, j'ai voulu écrire mes propres programmes et savoir comment cela fonctionne. Quatre ans plus tard (j'avais 17 ans), j'ai construit un nouvel ordinateur avec les pièces d'un C64 mis au rebut, et je l'ai programmé en assembleur. Pendant mes études, dans les années 90, j'ai eu l'idée de construire une unité centrale avec des opérateurs logiques simples et des circuits intégrés. Quelques années plus tard, il en est sorti MyCPU [1], un ordinateur construit à partir de plusieurs dizaines de circuits intégrés logiques de la série 74-CMOS - fonctionnant avec une version C64-Basic. »

« Partout où je l'ai présenté, ce MyCPU a suscité l'intérêt, mais aussi la consternation car, avec sa périphérie, il m'avait coûté ~1000 €. Vingt ans après, j'ai entrepris de construire un ordinateur entièrement discret, mais aussi simple et bon marché que possible, avec

deux conditions restrictives : pas d'ALU (Arithmetic Logic Unit), car la puce 74LC181 de l'ALU, jusqu'alors largement utilisée, n'est plus disponible et que les alternatives sont trop compliquées. Et d'autre part un seul circuit intégré de mémoire programmable (EPROM). »

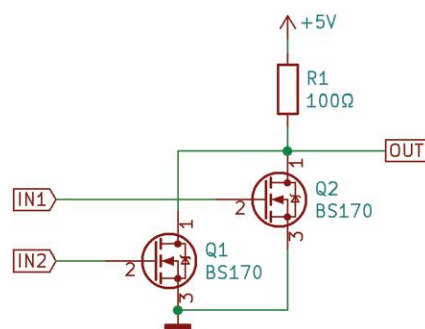


Figure 2. Au cœur de l'ordinateur MyNOR un unique opérateur NOR discret.

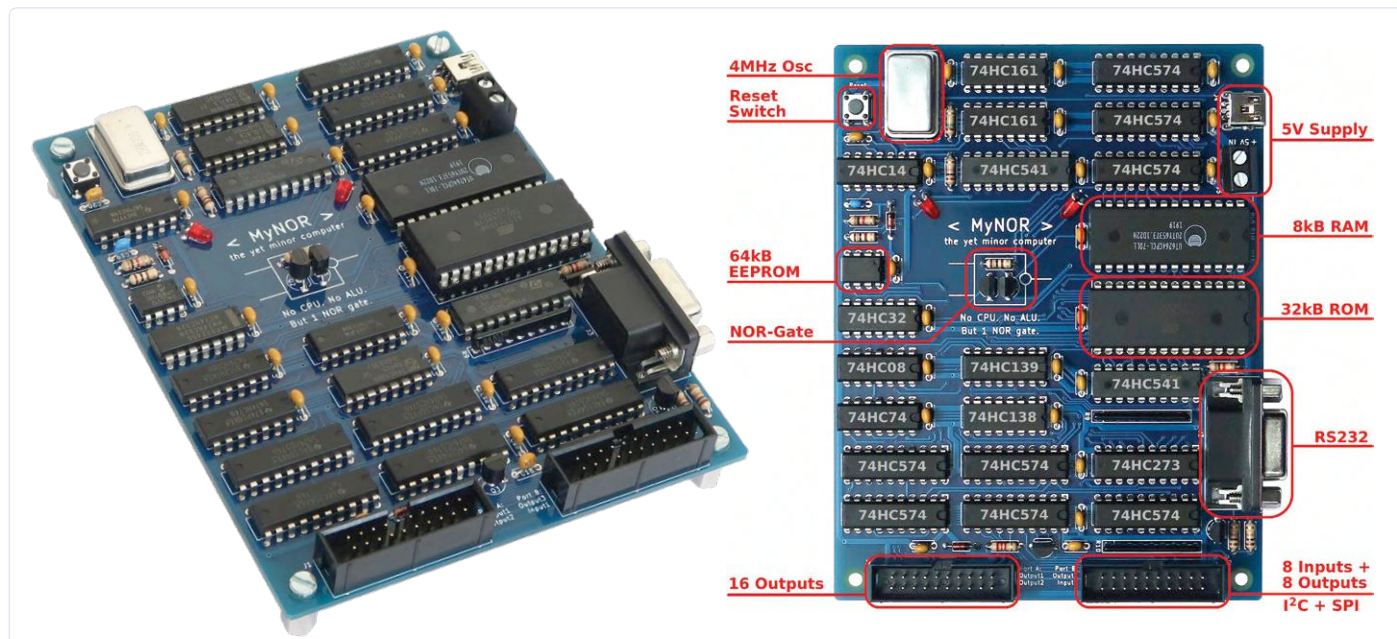


Figure 3. La version finale de MyNOR. La carte de droite montre que même la périphérie nécessaire est disponible.

« Mon nouvel ordinateur n'utilise qu'un seul opérateur NON-OU (NOR) pour les calculs - choisi parce qu'il est très facile à réaliser avec deux transistors MOSFET et une résistance (fig. 2). Toutes les opérations logiques et arithmétiques (AND, OR, EXOR, addition et soustraction) sont compilées par un logiciel à partir de nombreuses opérations NOR distinctes. »

« Il est donc logique que je l'aie baptisé MyNOR [2]. Le nombre total de composants est si petit qu'il tient sur une carte de 10 x 13 cm. La figure 3 montre la carte MyNOR telle qu'on la voit (à gauche) et avec des légendes (à droite). Elle contient également la périphérie nécessaire : une EEPROM de 64 Ko comme « mémoire de masse », tandis que 8 entrées numériques et 24 sorties numériques assurent la communication avec le monde extérieur. Ces 32 E/S permettent également de réaliser les interfaces habituelles (basées sur des protocoles logiciels) : RS232, I²C et SPI. »



Figure 4. À gauche la calculette de poche et à droite le MyNOR avec le(s) clavier(s) et l'écran.

Virgule flottante avec une seule porte NOR

« C'est incroyable ce qu'un tel petit ordinateur à carte unique sait faire ! J'ai par exemple intégré dans le système d'exploitation une simple calculatrice utilisable via l'interface RS232. La fonction principale de ce calculateur est en fait de prouver que les calculs en virgule flottante peuvent être effectués avec un seul opérateur logique NOR ! En outre, le système de commande contient un programme de terminal pour saisir simplement des instructions en assembleur. On peut donc programmer en assembleur directement dans MyNOR et les enregistrer dans l'EEPROM (un peu comme sur le C64). Bien sûr, il est également possible de télécharger un programme complet. Sous la forme d'un fichier texte qui contient le programme binaire, dans un format spécial. Il faut un peu de patience, le débit de la connexion est de 2400 bauds. »

« C'est quand on coupe le cordon ombilical avec le PC que notre ordinateur à carte unique devient vraiment passionnant. C'est pourquoi j'ai conçu deux cartes d'extension (fig. 4). La première ne comporte que 20 boutons, une LED, huit afficheurs à 7 segments avec leurs transistors de commande. Les afficheurs et les boutons sont multiplexés comme d'habitude. Tous les jours, au travail, j'utilise une « calculette de poche » construite de cette manière. »

« La deuxième carte d'extension fait de MyNOR un très petit ordinateur. En plus des poussoirs habituels, elle comporte un afficheur LCD 4x20, un haut-parleur, une horloge en temps réel à piles et un capteur de température. Une fois qu'il est flanqué de cette carte, les possibilités de MyNOR sont infinies : j'ai déjà programmé quelques jeux (dragueur de mines, Tetris), une minuterie de cuisine, une boîte à musique et un scanner de bus I²C. »

« Ma première version de MyNOR en grandeur nature était imparfaite, et pourtant cet exemplaire (y compris l'affichage à 7 segments) travaille encore deux fois par jour : j'ai converti MyNOR v1.0 en minuterie de brossage de dents pour mes enfants (fig. 5) ».



Figure 5. Minuterie de brosse de dents avec MyNOR v1.0 plus l'affichage à 7 segments v1.0. L'appareil sur lequel est posée la minuterie est un récepteur haut de gamme (FM et DAB+) avec égaliseur à 11 bandes intégré et commande tactile, construit par Dennis l'an dernier.

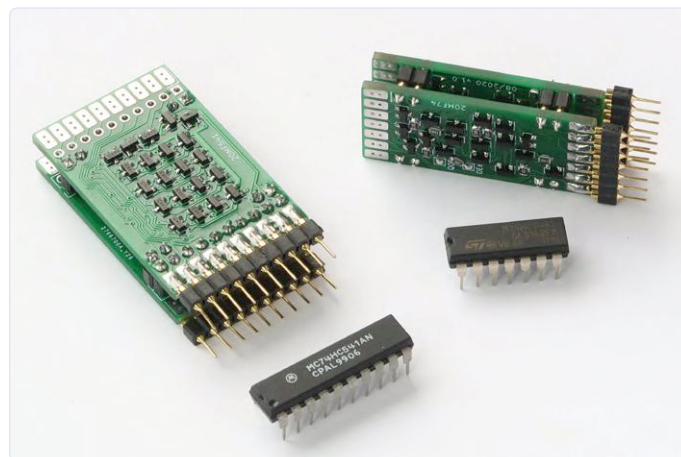


Figure 6. Deux circuits intégrés reconstitués au moyen de transistors. Les originaux sont là pour la comparaison (74HC541 et 74HC74).

« Je travaille actuellement sur une version encore plus discrète (c'est-à-dire encore moins intégrée) de l'ordinateur MyNOR ; c'est un grand défi que de vouloir remplacer 19 des seulement 22 circuits intégrés qu'il comporte par des circuits équivalents à transistors discrets. Mes premiers essais sont prometteurs. Sur la **fig. 6**, on retrouve deux des circuits intégrés reconstitués à l'aide de transistors discrets. »

« Au fait, je ne suis pas le seul à me passionner pour les unités centrales désintégrées à la maison. Nous sommes nombreux à partager notre passion sur le *Homebrew CPU Webring* ; si le sujet vous inspire, une visite du site [3] vaut la peine ». 

200552-02

À SUIVRE ?

Si vous êtes un adepte des unités centrales faites maison et que vous pensez avoir de la matière pour prolonger cet article, veuillez nous faire part de votre expérience en écrivant à redaction@elektor.fr

Votre avis, s'il vous plaît

Commentaires ou questions par courriel à redaction@elektor.fr

Ont contribué à cet article

Auteur : **Dennis Kuschel (Allemagne)**
 Rédaction : **Eric Bogers**
 Maquette : **Giel Dols**
 Traduction : **Émile Bodo**

À propos de l'auteur

Dennis Kuschel est entré en contact avec l'électronique à l'âge de six ans, dans la cour de l'école, en échangeant un sachet de bonbons contre une radio à transistors défectueuse. Peu de temps après, à la stupéfaction de ses parents, il a réussi à remettre cette radio en marche. Dennis travaille actuellement comme concepteur de matériel pour un fabricant allemand de caméras. Il y conçoit des circuits et des cartes à 10 couches Starrflex-HDI et programme des noyaux IP complexes pour les FPGA. En privé, il aime aller à contresens : «Keep it simple» est son credo - moins il y a d'électronique, moins il y a de risques de panne...

LIENS

- [1] **MyCPU** : www.mycpu.eu
- [2] **MyNOR** : www.mynor.org
- [3] **Cercle des unités centrales désintégrées** : www.homebrewcpuring.org