

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 !

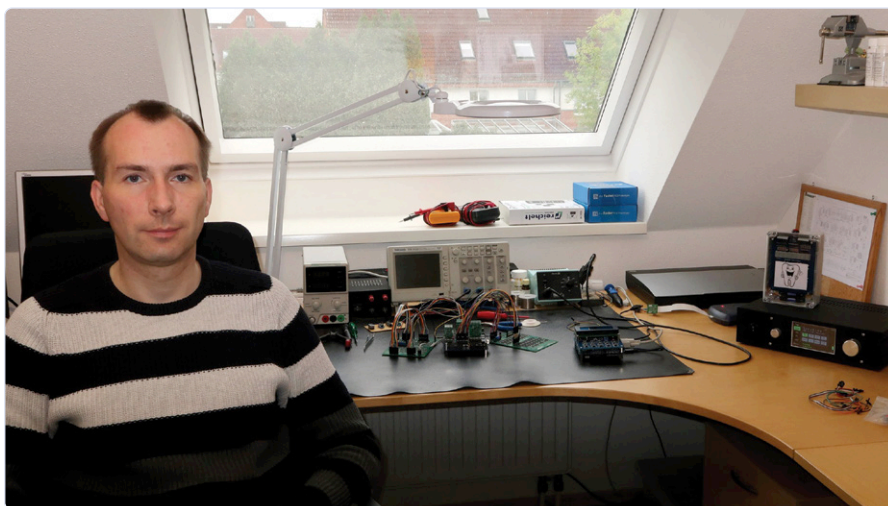


Figure 1. Dennis Kuschel dans son laboratoire. Une installation apparemment spartiate mais elle foisonne d'idées découaphantes.

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). »

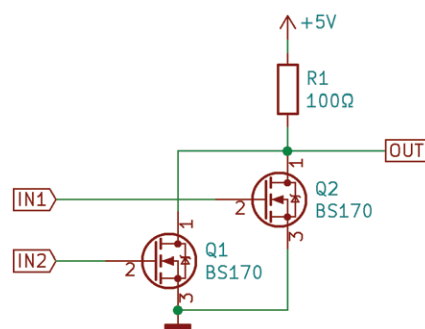


Figure 2. Au cœur de l'ordinateur MyNOR un unique opérateur NOR discret.

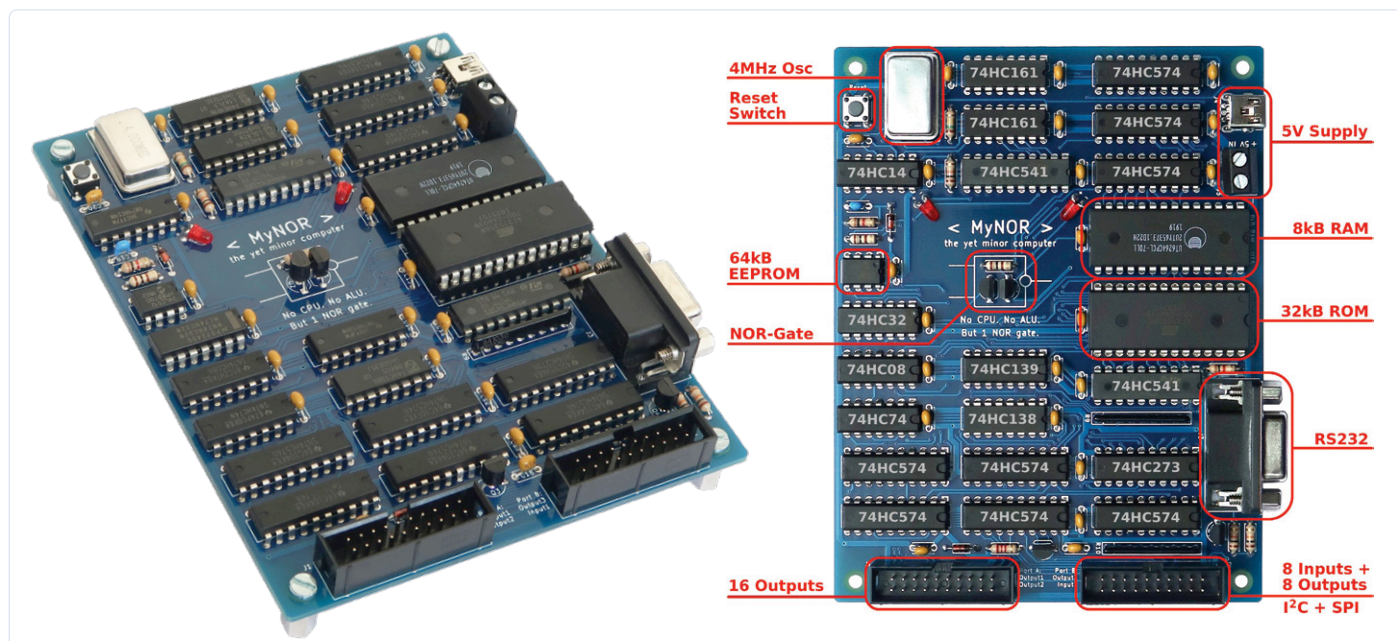


Figure 3. La version finale de MyNOR. La carte de droite montre que même la périphérie nécessaire est disponible.

« 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. »

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



Figure 5. Minuterie de brossage 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.

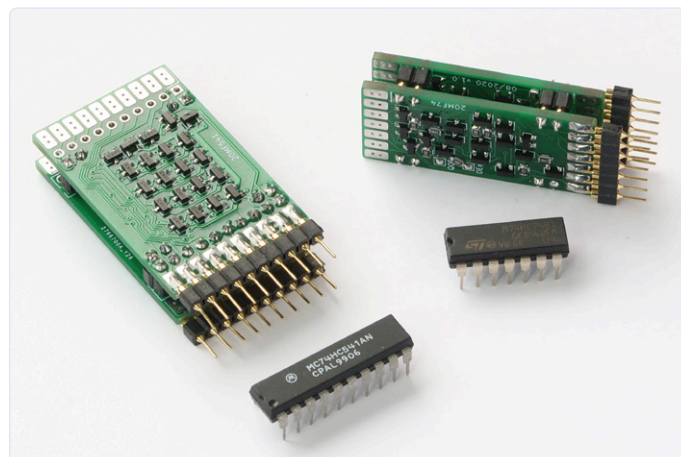



Figure 6. Deux circuits intégrés reconstitués au moyen de transistors. Les originaux sont là pour la comparaison (74HC541 et 74HC74).

« 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.homebrewcuring.org