

INITIATION A L'ELECTRONIQUE

Suite voir n° 1750

LES SORTIES BINAIRES

Les emplacements prévus sur le circuit imprimé pour les sorties binaires pourraient aller à un connecteur à quatorze broches, mais cela nous a semblé inutilement complexe et coûteux. Il est donc plus simple de souder dans ces trous des petits morceaux de fil de cuivre étamé, dépassant, du côté cuivre et du côté composant, d'environ 15 mm du plan du circuit.

Ces fils sont prévus pour y souder des fils de connexion vers les montages que nous utiliserons plus tard. Bien entendu, comme chaque fois que vous soudez quelque chose sur le circuit, faites-le en ayant débranché toute connexion entre le circuit et autre chose (alimentation, oscilloscope, voltmètre, prise de masse, etc.). Ainsi vous ne détériorez rien dans les composants de votre montage.

Cette façon de connecter les sorties binaires par soudage a cependant une contre-indication : quand vous soudez des fils souples sur les petits fils de cuivre étamé soudés dans les quatorze sorties binaires, ces derniers vont chauffer et risquent de se dessouder du circuit, de glisser, et même de provoquer, en se déplaçant quand ils sont très chauds, des décollements du cuivre sur le stratifié.

Un moyen possible pour prévenir cet ennui est le suivant (fig. 40) :

1° Choisissez des fils de cuivre étamé de diamètre suffisant pour une bonne rigidité (au moins 0,8 mm) et faites en sorte qu'ils « forcent » dans les trous prévus pour les recevoir, ce qui leur donne déjà une certaine tenue mécanique, même quand la soudure se trouve ramollie par la température du fil (lors d'un soudage ultérieur).

2° Déposez, autour de chaque fil, du côté « composants » du circuit imprimé, une goutte d'une bonne colle durcissant à la chaleur, de préférence de l'« Araldite » ; quand la colle sera durcie, les fils seront maintenus en place même si la soudure est momentanément ramollie.

PETIT MONTAGE ANNEXE

Puisque, jusqu'ici, tout s'est bien passé, vous pouvez être à peu près sûr que l'ensemble fonctionne correctement.

Pour l'essayer, il vous faut réaliser un petit montage extérieur, par exemple sur un morceau de stratifié de circuit imprimé (non gravé) de 35 x 75 mm, supporté par quatre colonnettes. Cette plaque supportera :

- un commutateur (modèle miniature) un circuit trois positions ;
- trois poussoirs à « contact fugitif », établissant le contact quand on appuie dessus ;
- deux petits interrupteurs unipolaires (miniatures) un circuit deux positions.

Le tout est câblé comme l'indique la figure 41. Les résisteurs R_4 et R_5 sont ceux qu'indiquent la figure 33, le poussoir P et le commutateur K de la figure 41 sont également représentés sur la figure 33. Les résisteurs R_2 et R_3 sont sur le circuit imprimé, aboutissant aux points désignés par :

- K_2 pour R_2
- K_3 pour R_3 .

Le point (B) de la figure 33 aboutit au commun du commu-

tateur ; il est repéré par la lettre K sur le circuit imprimé. Sur le petit montage de la figure 41 aboutissent aussi, en plus des fils de masse (-) et de + 12 V (+), les fils :

- L de commande des « latch » (mémoires tampon) des 4511 ;
- ZD de mise au zéro des décades (et des binaires) ;
- ZB de mise au zéro du compteur binaire seul ;
- i/e de sélection d'entrée de signal.

Quand l'interrupteur K', en position haute (trait plein sur la figure 41), met à + 12 V les broches (5) des transcodeurs d'affichage HEF 4511, l'affichage du compteur décimal est « figé » à la valeur qu'il avait lors du passage du fil L au niveau haut : les décades peuvent continuer à compter, le nombre affiché reste le même. Si l'interrupteur K' est en position basse (en pointillé sur la figure 41), l'affichage suit la progression des nombres comptés par les décades.

L'interrupteur K'', quand il est en position basse (pointillé sur la figure 41), met à la masse l'entrée i/e barre (fig. 35), validant l'entrée extérieure (repérée par « ex » sur le circuit imprimé). S'il est ouvert, les compteurs sont commandés par la sortie du 555, c'est-à-dire en « coup par coup » (par le poussoir P), à 10 Hz ou à 100 Hz, selon la position de K.

Les poussoirs P' et P'' servent simplement à remettre à zéro :

- tous les compteurs (pour P') ;

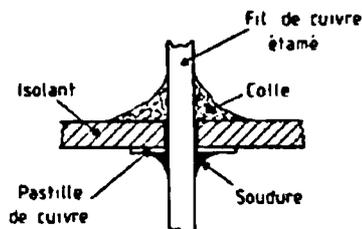


Fig. 40. - Comme les sorties du compteur binaire se font par de simples fils soudés sur le circuit imprimé, pour éviter que ces derniers ne se dessoudent quand on soude des fils souples sur eux, on les immobilise par un point de colle, par exemple de l'« Araldite ».

– les compteurs binaires seulement (pour P'').

TOUT EST PRET ? ON COMMENCE (mais il y a un petit « piège »)

Vous allez maintenant, en ayant mis l'interrupteur K' en position « ouvert », appliquer à votre ensemble du 12 V. A noter que le tout consomme essentiellement l'intensité qui passe dans les afficheurs décimaux et dans les LED d'affichage binaire. La consommation « propre » du montage est de l'ordre de 18 mA. Les afficheurs décimaux (à 5,5 mA par segment) peuvent aller jusqu'à 178 mA (affichage 8888) et les LED jusqu'à 78 mA si elles sont allumées toutes les douze, soit, au maximum, 275 mA pour le tout.

Ne vous affolez pas s'il arrive qu'aucun afficheur décimal ne s'allume à la mise sous tension. N'oubliez pas que les transcodeurs HEF 4511 sont prévus pour « ignorer » toute combinaison « impossible » sur leurs entrées A, B, C et D. En effet, ces entrées servent à appliquer, pour chaque transcodeur, un nombre décimal codé binaire (DCB), qui doit être de zéro (inclus) à neuf (inclus), représenté en binaire par les niveaux appliqués en D (« poids » 8), en C (poids 4), en B (poids 2) et en A (poids 1).

Donc, si l'on applique une combinaison « interdite », par exemple des niveaux hauts sur D et C simultanément, bas sur A et B, ce qui signifie :

$$8 + 4 = 12$$

autrement dit une valeur « inconnue » en décimal codé binaire (DCB), le transcodeur refuse le service, et il n'allume aucun segment de l'afficheur. « Mais, direz-vous, cela ne peut se faire : les décades 4518 ne peuvent fournir, sur

leurs sorties, que des chiffres DCB autorisés ! » En fonctionnement normal, vous avez parfaitement raison, mais, à la mise sous tension (jusqu'à la première remise au zéro), les quatre basculeurs qui composent chaque décade peuvent démarrer dans des états quelconques. Et ils ne s'en privent pas (comme ils doivent être contents de provoquer l'affichage de chiffres « interdits » !).

Donc, à la mise sous tension, quand une décade se trouve dans un état « interdit en service normal », autrement dit quand le chiffre qu'elle affiche en binaire sur ses sorties A, B, C et D dépasse 9, le transcodeur associé l'ignore avec mépris, et l'afficheur qu'il commande reste totalement éteint.

Si cela se produit, appuyez simplement sur le poussoir P' : vous devez alors voir 0000 sur les afficheurs décimaux, toutes les LED d'affichage binaire étant éteintes.

Un dernier mot à propos de ce « piège » des valeurs DCB « interdites » : si vous avez laissé l'interrupteur K' en position « fermé » (soit la position

appelée « mémoire » sur la figure 41), la mise au zéro par P' éteint bien toutes les LED, mais ne rallume pas les afficheurs éteints pour cause d'entrée « anormale » : en effet, quand K' est en position « mémoire », les transcodeurs gardent en mémoire les combinaisons DCB, même si elles sont « interdites », et agissent en conséquence.

COMMENCEZ A COMPTER

Le commutateur K étant en position 1 (coup par coup), appuyez sur P plusieurs fois : vous allez voir le nombre de signaux envoyés s'afficher simultanément en binaire (sur les LED) et en décimal (sur les afficheurs sept segments).

Soit dit en passant, c'est un excellent entraînement pour se rafraîchir la mémoire sur le comptage binaire, puisque le nombre binaire affiché sur les LED est, en même temps, « traduit » en décimal sur les sept segments.

L'auteur utilise cet ensemble quand il explique, en faisant

des cours, la numération binaire. On peut alors procéder comme suit :

- on met à zéro le tout (par P'');
- on met K' en position « mémoire » ;
- on envoie des signaux dans les compteurs, soit au coup par coup, soit à 10 Hz, soit à 100 Hz ;
- on demande à ceux qui regardent de « traduire » en décimal le nombre binaire affiché sur les LED (le comptage décimal n'est pas affiché, on lit toujours 0000 sur les sept segments) ;
- une fois le résultat de la « traduction » donné, on repasse K' en position « ouvert », et l'affichage décimal dit si la « traduction » était exacte ou non.

Autrement dit, si l'on commence le comptage avec K' en position « ouvert », le montage vous « traduit » en permanence les nombres binaires en nombres décimaux ; mais, si vous avez mis K' en position « mémoire » le montage vous « pose une colle », car il « connaît » le résultat décimal, mais il ne consentira à vous le

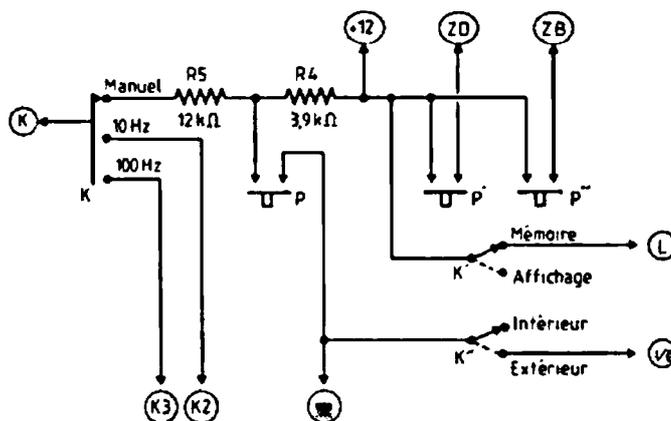


Fig. 41. – Pour accompagner l'ensemble des compteurs décimaux et binaires, il faut un petit sous-ensemble de commande, comportant un commutateur K (un circuit trois positions), deux interrupteurs, K' et K'', et trois poussoirs à contact fugitif, P, P' et P''. Le tout est raccordé au circuit principal par quelques fils souples.

montrer que quand vous aurez remis K' en position « ouvert ».

L'ADDITION EN BINAIRE

On peut faire mieux encore. Commencez, avec K' en position « ouvert », par mettre au zéro (appui sur P'). Envoyez un certain nombre d'impulsions (au coup par coup, en 10 Hz ou en 100 Hz à votre choix) et lisez alors le nombre binaire (que nous nommerons B₁), en le notant sur un papier (sous forme binaire). Appuyez alors que P'' (surtout par sur P') : vous allez remettre à zéro les compteurs binaires mais pas les décades (dont le contenu n'est toujours pas affiché, on lit 0000).

Si, maintenant, vous envoyez une nouvelle série d'impulsions, le compteur binaire va commencer à zéro, et vous lirez sur les LED, en binaire, le nouveau nombre B₂, que vous noterez aussi sur un papier. Faites (toujours en binaire) la somme B₁ + B₂ : vous trouvez un nombre binaire B₃, que vous traduirez en décimal. Si, maintenant, vous passez K' en position « ouvert », le nombre que vous allez lire, en décimal, sur les afficheurs à sept segments doit coïncider avec votre « traduction » de B₃ (l'auteur est persuadé que ce sera le cas !)

En effet, le second train d'impulsions a été compté à la suite du premier par les décades, ces dernières n'ayant pas été remises au zéro après le premier train. Les décades ont donc totalisé toutes les impulsions reçues.

LE CONVERTISSEUR DIGITAL-ANALOGIQUE

Nous allons maintenant faire connaissance avec un nouveau circuit d'une extrême im-

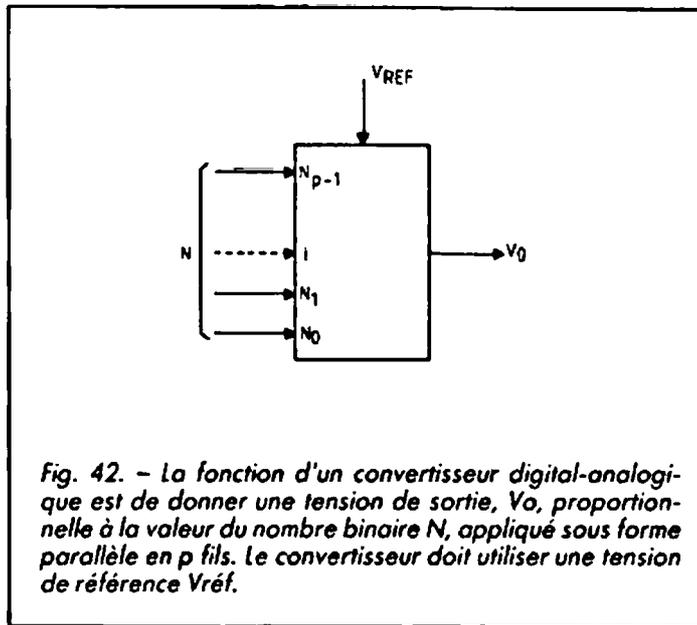


Fig. 42. - La fonction d'un convertisseur digital-analogique est de donner une tension de sortie, V_0 , proportionnelle à la valeur du nombre binaire N , appliqué sous forme parallèle en p fils. Le convertisseur doit utiliser une tension de référence V_{ref} .

portance, puisqu'il réalise le passage de l'expression « numérique » à l'expression « analogique ». On le désigne souvent sous le nom de « DAC ». Il ne s'agit pas d'un hommage au « maître à penser » de bien des gens (dont l'auteur), le regretté Pierre Dac, mais d'un Digital to Analog Converter (convertisseur du numérique à l'analogique). Le montage que l'on réalise avec ce DAC et un amplificateur opérationnel se présente comme l'indique la figure 42. L'ensemble comporte p entrées binaires, N_0, N_1, \dots, N_{p-1} ,

auxquelles on applique la représentation parallèle d'un nombre binaire N . Une autre entrée, V_{REF} , est prévue pour y appliquer la tension dite « de référence » (ou « étalon »), et le circuit comporte une sortie V_0 .

Le but de ce montage est de fournir une tension de sortie V_0 proportionnelle à la valeur de N (et aussi à la tension de référence V_{REF}). Pour fixer les idées et prendre le cas particulier correspondant à ce que nous ferons par la suite, nous supposons un DAC à huit entrées, de N_0 à N_7 .

Alors, quand on applique au montage de la figure 42 des nombres N croissant, unité par unité, de 0 inclus à 511 inclus (le maximum que l'on puisse exprimer avec huit chiffres binaires), la sortie V_0 augmente, cran par cran, prenant pour chaque valeur de N une valeur :

$$V_0 = k N e_0$$

La valeur e_0 est celle de la tension « de référence », le nombre k est une constante très inférieure à l'unité.

Ainsi, quand N augmente d'une unité, la tension V_0 augmente donc de :

$$q = k e_0$$

Cette valeur q est appelée le « quantum ». La tension de sortie V_0 ne peut pas prendre n'importe quelle valeur, puisqu'elle croît quantum par quantum.

UN SUCCESSION D'ESCALIERS DE 511 MARCHES

Donc, si l'on applique à l'ensemble les huit sorties d'un compteur binaire, ce compteur recevant des impulsions périodiques à son entrée, la tension V_0 varie comme le montre la figure 43.

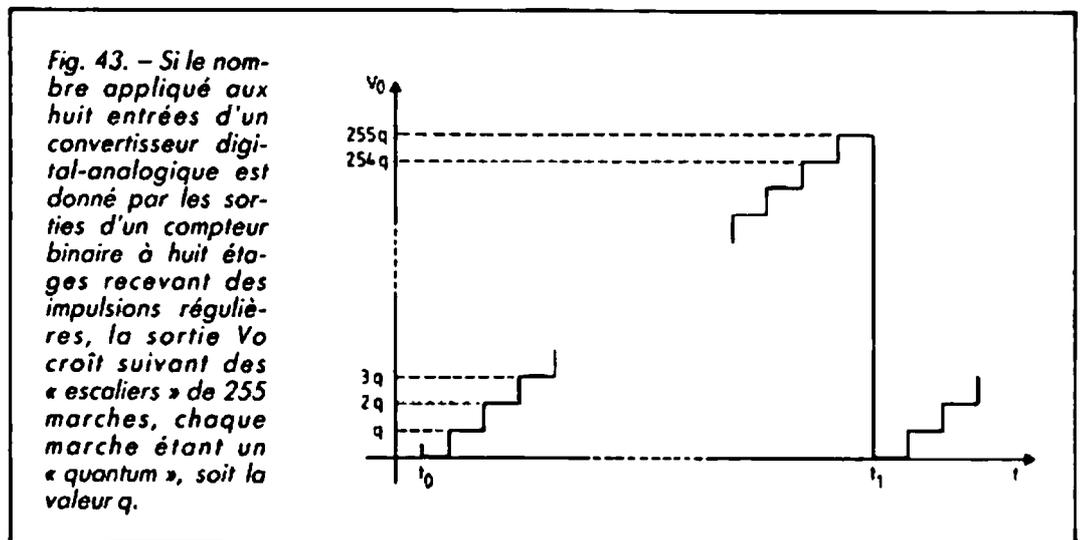


Fig. 43. - Si le nombre appliqué aux huit entrées d'un convertisseur digital-analogique est donné par les sorties d'un compteur binaire à huit étages recevant des impulsions régulières, la sortie V_0 croît suivant des « escaliers » de 255 marches, chaque marche étant un « quantum », soit la valeur q .

Au temps t_0 , le compteur binaire est au zéro, le nombre N est nul, la tension de sortie V_0 l'est aussi. Lors de l'arrivée de la première impulsion sur le compteur, N passe de zéro à un, V_0 monte de q (un quantum). A chaque impulsion arrivant à l'entrée du compteur binaire, N augmentant d'une unité, V_0 augmente de q . La courbe donnant V_0 en fonction du temps est un « escalier ». Par pitié pour le dessinateur du Haut-Parleur, nous n'avons pas représenté les 511 marches de cet escalier. Il peut sembler curieux que cet escalier soit suivi d'une descente « vertigineuse », mais c'est tout à fait logique : quand le compteur binaire a reçu 511 impulsions, il est « plein », toutes ses sorties étant au niveau 1. Si on lui envoie une impulsion de plus, il « recycle », se remettant à zéro..., et on report pour un nouvel escalier de 511 marches.

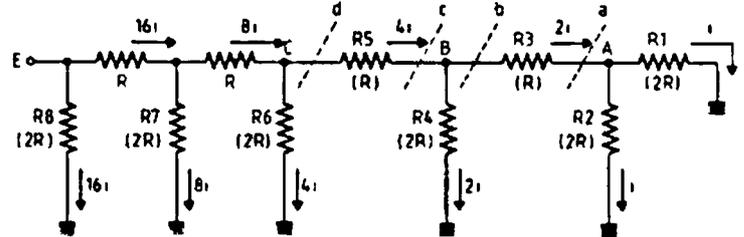
LE RESEAU « R-2R »

Bien que de nombreux utilisateurs de circuits se refusent, paraît-il, à savoir comment ces circuits fonctionnent (l'auteur trouve cela très triste), nous allons toutefois expliquer le fonctionnement du DAC et de l'amplificateur opérationnel qui lui est associé, car la solution est de celles dont on prend connaissance avec enchantement, tant elle montre l'intelligence exceptionnelle de celui qui l'a imaginée.

Imaginons (fig. 44) un réseau de résistances dont les éléments n'ont que deux valeurs de résistance, une que l'on nomme R , une autre, double de la précédente, que l'on nomme $2R$.

Si l'on coupait le réseau à gauche du nœud (A), selon le pointillé a, on trouverait deux résistances, R_1 et R_2 , ayant chacune une résistance $2R$, en parallèle vers la masse. Il y a

Fig. 44. - Structure du réseau, dit « R-2R », qui donne sur les sorties R_2, R_4, R_6, R_7 et R_8 (si ces sorties sont bien à la masse) des intensités $i, 2i, 4i, 8i$ et $16i$.



donc l'équivalent de R entre le point (A) et la masse.

Les résistances R_1 et R_2 , en parallèle, ayant la même résistance ($2R$), sont donc parcourus par le même courant i ; donc l'intensité du courant qui arrive à (A) doit être égale à $2i$.

Si l'on ne coupe plus le réseau en a, mais qu'on le coupe en b, on trouve, à droite de cette coupure, une valeur équivalente de résistance égale à $2R$, puisque, entre (A) et la masse, il y a, on l'a vu, l'équivalent de R (deux résistances de résistance $2R$ en parallèle), et que, entre la coupure en b et le point (A), on a rajouté le résistor R_3 , dont la résistance est R .

Ne coupons plus le réseau en b, et coupons-le en c. On va trouver, entre le nœud (B) et la masse, en parallèle :

- le résistor R_4 (résistance $2R$) ;

- l'ensemble formé par R_3 en série avec R_1 et R_2 mis en parallèle, dont nous avons vu la résistance équivalente $2R$. Donc, avec la coupure en c, la résistance équivalente entre (B) et la masse est de nouveau R .

Donc, si l'on coupe le réseau en c, on trouve encore, depuis le nœud (B) vers la masse :

- le résistor R_4 (résistance $2R$) ;

- le reste du réseau, de résistance équivalente $2R$.

Donc, le courant qui arrive en B se partage en deux parties égales, la moitié dans R_4 , l'autre moitié dans R_3 et le reste du réseau. Comme, dans R_3 , il passe $2i$, il y a aussi $2i$ dans R_4 ; l'intensité qui arrive au nœud (B) est donc égale à :

$2i$ (dans R_4) plus $2i$ (dans R_3 ..., etc.), soit $4i$.

On voit que le raisonnement peut se répéter indéfiniment.

Donc, à chaque nœud, le courant se partage en deux parties égales, une moitié allant, verticalement, vers la masse par un résistor de résistance $2R$, l'autre moitié allant, à droite, vers le reste du réseau. Donc, si l'on relie le point (E) au pôle positif d'une source de tension, le courant débité par cette source se répartit (sans compter le courant i dans R_1 , qui ne nous intéresse pas) en :

i dans le résistor R_2

$2i$ dans le résistor R_4

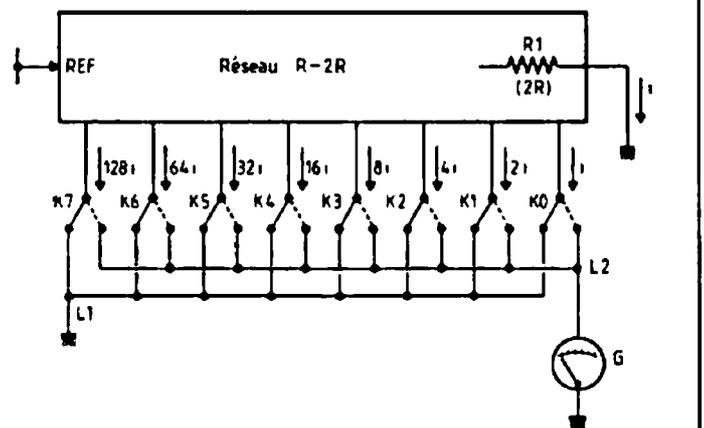
$4i$ dans le résistor R_6

$8i$ dans le résistor R_7

$16i$ dans le résistor R_8 , etc.

Autrement dit, le réseau R-2R nous permet d'envoyer vers la masse, par les différents résistances de résistance $2R$, des intensités en progression géométrique ($i, 2i, 4i, 8i, 16i, 32i$, etc.). Ces intensités sont toutes proportionnelles à la tension du point (E).

Fig. 45. - Un convertisseur digital-analogique peut utiliser un réseau R-2R, analogue à celui de la figure 44, mais avec plus d'éléments, ayant huit sorties. Chaque sortie est envoyée, par un commutateur K , vers une ligne L_1 ou vers une autre ligne L_2 . Les intensités qui s'ajoutent dans L_2 sont mesurées par un galvanomètre G , qui doit avoir une résistance nulle pour que L_2 puisse être considérée, ainsi que L_1 , comme reliée à la masse.



L'UTILISATION DU RESEAU

Supposons qu'un réseau R-2R, analogue à celui de la figure 44, mais comportant environ deux fois plus de résistances, soit monté comme l'indique la figure 45, dans laquelle nous n'avons plus dessiné les différents résistances, à part R_1 , celui qui est le plus à droite.

Les sorties vers le bas provenant du rectangle nommé « réseau » sont les « pieds » des résistances de valeur 2R, comme R_2 , R_4 , R_6 de la figure 44.

Comme on le voit, chaque sortie arrive sur un commutateur, qui permet d'envoyer l'intensité sortante :

- vers une ligne L_1 , quand le commutateur correspondant est dans la position « à gauche » (en trait plein sur la figure 45) ;
- ou vers une ligne L_2 , quand le commutateur est dans la position « à droite » (en pointillé sur la figure 45).

La ligne L_1 est directement connectée à la masse. La ligne L_2 aussi, par l'intermédiaire d'un ampèremètre G, dont nous supposons la résistance nulle (ampèremètre « parfait »).

Donc, quelles que soient les positions des différents commutateurs K, le réseau fonctionne bien dans les conditions indiquées sur la figure 44, les pieds des résistances de résistance 2R étant bien tous au potentiel zéro, ce qui fait que l'on peut considérer que ces pieds sont reliés à la masse.

Les commutateurs K étant tous dans les positions représentées en traits pleins sur la figure 45, tous les courants sortant du réseau (à part celui qui passe dans R_1) vont, par la ligne L_1 , à la masse. Aucun courant ne passe par L_2 . Le galvanomètre G indique donc zéro. Supposons maintenant que nous plaçons les commu-

teurs K_3 , K_2 et K_0 dans la position indiquée en pointillé, les autres (K_1 et K_4 à K_7) restant dans la position « vers la gauche ».

Il y aura alors un courant i arrivant à L_2 par K_0 . Le courant $2i$, passant par K_1 , ira dans L_1 . Le courant $4i$, passant par K_2 , ira aussi dans L_2 , de même que le courant $8i$, passant par K_3 .

Les courants $16i$, $32i$... $128i$, passant respectivement par K_4 , K_5 ... K_7 iront tous dans L_1 . Le courant total dans L_2 , lu sur G, sera donc :

$$8i + 4i + i = 13i.$$

LA COMMANDE DES COMMUTATEURS

Supposons maintenant que les commutateurs K_0 , K_1 ... K_7 soient commandés respectivement par les chiffres N_0 , N_1 ... N_7 d'un nombre binaire N, transmis sous forme parallèle. On voit que l'addition des courants dans la ligne L_2 correspond exactement à l'addition des « poids » des différents chiffres binaires de N. Dans l'exemple cité ci-dessus, ce nombre N serait, en binaire :

00001101

qui vaut bien 13. Son chiffre des unités, N_0 (ici 1) a commandé le basculement vers la droite de K_0 ; son chiffre des « dizaines », N_1 (ici zéro) n'a pas basculé à droite K_1 .

Les chiffres des quatraines (N_2) et des huitaines (N_3), tous deux égaux à un, ont commandé respectivement les basculements vers la droite de K_2 et K_3 .

Tous les chiffres de poids supérieur (seizaines, ou N_4 , trente-deuxaines, ou N_5 ...) sont nuls : les commutateurs de K_4 inclus à K_7 inclus sont donc restés dans la position « à gauche ».

Notre nombre N, qui vaut treize, a donc provoqué l'envoi d'un courant d'intensité $13i$ dans la ligne L_2 .

Ainsi, tout nombre N binaire, de huit bits, commandant, par chacun de ses chiffres, un commutateur K provoque l'envoi dans G d'un courant total égal à : Ni .

L'« AMPERE-METRE IDEAL »

Il reste encore à mesurer l'intensité qui va dans la ligne L_2 vers la masse, en utilisant un « ampèremètre de résistance nulle » (comme ce serait beau si un tel appareil existait !). Il existe cependant une solution très élégante, celle qui consiste à utiliser un amplificateur opérationnel en « convertisseur courant-tension », comme le montre la figure 46. On voit que ledit amplificateur est monté avec son entrée « + » (entrée à gain positif, ou « entrée non-inverseuse ») connectée à la masse.

Or chaque fois que l'on utilise un amplificateur opérationnel,

il faut retenir la double « règle d'or » :

Un amplificateur opérationnel maintient toujours, quand il le peut, le potentiel de son entrée « - » à la même valeur que celui de son entrée « + ».

Les courants d'entrée sont à considérer comme nuls.

La première règle d'or nous dit que l'amplificateur opérationnel va maintenir, s'il le peut, le potentiel du point (N) à la même valeur que celui de l'entrée « + », c'est-à-dire à zéro.

La deuxième règle d'or nous dit que le courant I_b est nul, donc le courant I envoyé à (N) ne peut passer que dans R. Il détermine donc une chute de tension à ses bornes égale à RI (comme le disait le regretté Ohm... qui avait bien raison !). Or l'extrémité gauche (N) de R est au potentiel zéro. Donc son extrémité droite, (S), est au potentiel $-RI$.

Donc, quand on envoie en (A) un courant d'intensité I , la tension de sortie V_0 est égale à $-RI$ (à condition que le produit RI ne soit pas une valeur de tension que l'amplificateur opérationnel ne peut pas fournir).

Détail qui nous intéresse beaucoup : le potentiel du point (N), où l'on envoie le courant I , est nul, comme si (N) était relié à la masse.

Donc, nous relierons la ligne L_2 de la figure 45 au point (N) de la figure 46, et tout se passera comme si L_2 était connectée à la masse. La tension de sortie V_0 sera proportionnelle à i , donc au nombre N dont les différents chiffres commandent les commutateurs K.

Cette tension est négative, mais, si cela nous gêne, il est très facile de monter un amplificateur opérationnel en « gain -1 », et de le connecter à la sortie du premier : il « conservera » V_0 et nous donnera, à sa sortie, $-V_0$.

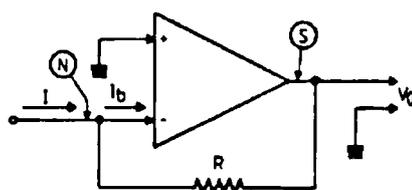


Fig. 46. - Pour remplacer le galvanomètre « idéal » G de la figure 45, on utilise un amplificateur opérationnel en convertisseur courant-tension.

(à suivre)

J.-P. CHEMICHEN