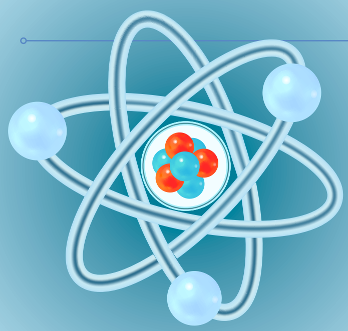

démarrer en électronique (4)

...est moins difficile qu'on ne l'imagine !

Eric Bogers (Elektor Pays-Bas)

Où en étions-nous avant que la pandémie ne chamboule tout et que nous nous mobilisions pour préparer l'édition spéciale pour l'été ? Ah oui, les résistances montées en série et en parallèle. Nous avons terminé l'épisode du numéro de mai par un casse-tête : le circuit en H.

Cet épisode est consacré à la transformation étoile-triangle ou Y-Δ, et si on part en sens inverse à la transformation triangle-étoile (**fig. 1**). Il s'agit de convertir la connexion en étoile (en haut) en connexion en triangle (en bas) de telle manière qu'aux points 1, 2 et 3 les deux se comportent de manière absolument identique pour le monde extérieur.
Pour la conversion de l'étoile en triangle s'appliquent les formules ci-dessous (dont nous nous contenterons sans les expliquer,

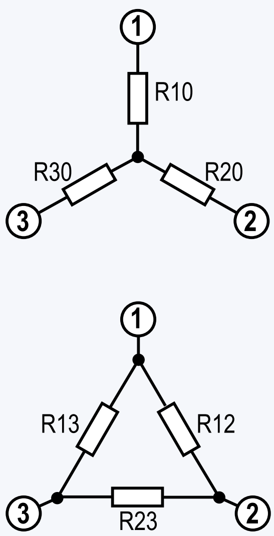

Figure 1. La transformation étoile-triangle.

Elektor est une revue d'électronique et non de mathématiques) :

$$R12 = \frac{R10 \cdot R20}{R30} + R10 + R20$$

$$R23 = \frac{R20 \cdot R30}{R10} + R20 + R30$$

$$R13 = \frac{R10 \cdot R30}{R20} + R10 + R30$$

Et pour la conversion dans l'autre sens :

$$R10 = \frac{R12 \cdot R13}{R12 + R23 + R13}$$

$$R20 = \frac{R12 \cdot R23}{R12 + R23 + R13}$$

$$R30 = \frac{R23 \cdot R13}{R12 + R23 + R13}$$

Attention aux désignations des différentes résistances !
Nous pouvons maintenant nous occuper du circuit en H (**fig. 2**). Regardez bien et vous verrez un circuit en triangle avec deux résistances supplémentaires (R4 et R5) à la base. Nous soumettons le triangle de R13, R12 et R23 à la transformation. Pour simplifier, les valeurs de résistance seront : R13 = 10 Ω, R12 = 20 Ω, R23 = 30 Ω, R4 = 40 Ω et R5 = 50 Ω. Avec la transformation, on obtient :

$$R10 = \frac{R12 \cdot R13}{R13 + R12 + R23} = \frac{200}{60}\Omega = 3{,}3\Omega$$

$$R20 = \frac{R12 \cdot R23}{R13 + R12 + R23} = \frac{600}{60}\Omega = 10\Omega$$

$$R30 = \frac{R23 \cdot R13}{R13 + R12 + R23} = \frac{300}{60}\Omega = 5\Omega$$

Ce qui reste est une simple combinaison de connexions en série et en parallèle ; nous vous laissons le soin de continuer à calculer. Le résultat est 29,05 Ω. Ça colle ?

En règle générale

Souvent, on peut faire l'économie d'une grande partie de ces calculs en examinant deux situations extrêmes et en réfléchissant un peu. Dans notre circuit en H de la fig. 2, nous enlevons la résistance R23 sans la remplacer. La résistance totale du réseau augmenter forcément, car, souvenez-vous que si nous augmentons une résistance dans un réseau ohmique, la résistance totale ne diminue jamais. Or ici nous augmentons R23 à l'infini.
Le calcul de la résistance totale du réseau est facile ; avec les mêmes valeurs de résistance que dans l'exemple, vous obtenez 29,16 Ω.
Remplaçons maintenant R23 par l'autre extrême : un pont qui réduit la résistance à 0 Ω. Vous n'avez pas oublié que si nous réduisons une résistance dans un réseau de résistances ohmiques, la résistance totale de ce réseau n'augmente jamais. Là encore, le calcul est simple, le résultat est de 28,8 Ω.
Quelle que soit la valeur réelle de R23, la résistance totale équivalente de notre circuit en H doit se situer entre ces deux valeurs extrêmes. Et si, comme dans cet exemple, ces valeurs ne diffèrent pas de beaucoup plus qu'environ 1 %, nous pouvons en pratique nous contenter de la moyenne des deux valeurs extrêmes. Les fans de décimales

s'amuseront à les calculer, en vain car l'erreur résultante est de toute façon offusquée par les tolérances des composants.

Dans certains cas, il faut faire le calcul car l'écart peut être tel que l'on ne peut pas se contenter du pifomètre pour la résistance totale !

Résistance des lignes

Avant d'en arriver (enfin !) au courant alternatif, nous devons parler brièvement de la résistance des lignes. Jusqu'à présent, nous avons négligé de prendre en compte la résistance des câbles de connexion, alors que tout câble et toute piste de circuit imprimé présente une certaine résistance, qui ne doit en aucun cas être négligée !
Pour la résistance d'un câble :

$$R = \frac{l \cdot \rho}{A} = \frac{l}{A \cdot \gamma}$$

Ici, ρ (*rho* en grec) est la résistivité et γ (*gamma* en grec) est la conductivité spécifique. Ce sont deux constantes matérielles. Avec les conducteurs courants (cuivre, aluminium, argent), il est un peu plus facile de calculer la conductivité spécifique.

Résistance spécifique et conductivité

matériau	ρ (Ω·mm²/m)	γ (m/Ω·mm²)
cuivre	0,017	56
aluminium	0,0287	34,8
argent	0,016	62

La formule pour le conducteur spécifique contient deux variables supplémentaires : la longueur *l du* conducteur et sa section *A*. Calculons cela pour un enrouleur de câble de 50 m avec une section de 1,5 mm². Le câble a deux fils, il faut donc compter le double de la longueur :

$$R = \frac{l}{A \cdot \gamma} = \frac{2 \cdot 50m}{1{,}5mm^2 \cdot 56m/\Omega^2} = 1{,}19\Omega$$

Faisons passer un courant de 16 A par ce câble. La chute de tension sur ce câble sera de :

$U = R * I = 1{,}19\ \Omega * 16\ A = 19\ V$

Et ce n'est pas fini... La résistivité d'un conducteur comme le cuivre varie selon sa température : la résistivité augmente avec la température. Ce qui donne :

$$\rho_T = \rho_{20}\left(1 + \alpha\left(T - 20°\right)\right)$$

Ici α (*alpha* en grec) est le coefficient de température, qui pour le cuivre est de 0,0038, et *T* est la température en °C La valeur de ρ est toujours donnée à 20 °C.

Chauffe Marcel...

Supposons que nous utilisions notre câble de rallonge par une chaude journée d'été. L'isolation devient agréable et chaude au soleil, et un courant de 16 A n'est pas rien non plus. Supposons que le conducteur en cuivre atteigne une température de 60°C. Si nous calculons cela, nous obtenons une perte de tension d'au moins 23,3 V (vous en doutez ? Eh bien faites le calcul !).
À température ambiante normale, le câble dissipe déjà une quantité considérable d'énergie convertie en chaleur :

$P_{dissipée} = I2 - R = (16\ A)^2 – 1{,}19\ \Omega = 304{,}6\ W$

C'est beaucoup, et le signe positif du coefficient de température a ici un effet négatif : un câble fortement chargé devient chaud. Par conséquent sa résistivité augmente, ce qui augmente la résistance électrique, ce qui augmente la dissipation de puissance et fait chauffer encore plus le câble et ainsi de suite : une surchauffe qui finit par constituer un risque d'incendie. D'où l'importance d'un geste souvent oublier : toujours dérouler les câbles sur tambour lorsqu'ils sont utilisés. Vous voici prévenus !

200320-03

La série d'articles *démarrer en électronique* est basée sur le livre *Basic Electronics for Beginners* de Michael Ebner, publié par Elektor.

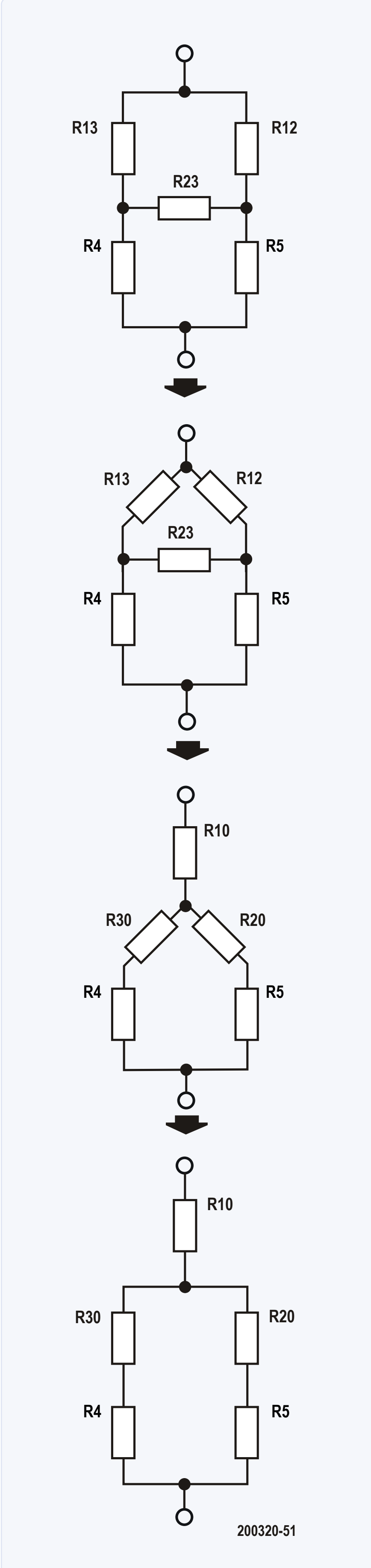

Figure 2. Voici comment traiter un circuit en H.