

# Des chiffres et des lettres

## Cijfers en letters door/par ON5JK – vertaling/traduit par ON5WF

Plus d'un lecteur froncera les sourcils à la vue de ce titre. C'était, dans un lointain passé, le nom d'un jeu populaire à la télévision française. Que se cache-t-il en fait sous cette expression ? Que certains chiffres (valeurs) et certaines lettres (définitions) peuvent semer la confusion ne vous étonnera pas.

Dans la section WLD, il y a eu récemment quelques sujets de discussions lors desquelles de telles incertitudes et de tels malentendus sont apparus. Un des sujets concernait l'adaptation d'une charge à une source et inversement. Comme par exemple, un haut parleur à un amplificateur, ou une antenne à un émetteur. Il est généralement admis que le transfert maximum d'énergie a lieu lorsque l'impédance de la charge est égale à l'impédance de sortie de l'émetteur.

**Première question** qui se pose : Qu'est-ce que "l'impédance de sortie" de l'étage final d'un amplificateur ?

On peut en trouver une première définition dans les ouvrages d'électronique de niveau supérieur des années 60. Il y est dit que toute source peut être remplacée par une force électromotrice en série avec une résistance interne (NDT : le dipôle équivalent de Thévenin). Il faut cependant faire une distinction entre "résistance interne" de la source et "l'impédance de sortie" de cette source. Cette dernière est définie comme étant la mise en parallèle de la résistance interne de la source et la charge extérieure de cette source. En d'autres mots, c'est cette valeur qui serait indiquée par un appareil de mesure extérieur branché aux bornes de la source avec sa charge.

Dans la littérature moderne, on ne parle plus de cela. On suppose simplement que la résistance interne de la source est égale à son impédance de sortie. Pour nous autres radioamateurs, c'est aussi le plus simple. On ne peut cependant pas écarter l'ancienne définition simplement du revers de la main. Dans le domaine des basses fréquences, elle est pratique lorsque l'on veut effectuer des calculs avec le théorème de Thévenin. Supposons que l'on veuille calculer la valeur d'un condensateur à placer en série avec un tweeter, l'ensemble étant branché aux bornes d'un woofer et le tout branché à la sortie d'un amplificateur. On a alors trois éléments : l'amplificateur, le tweeter et le woofer.

Après de nombreux mails et contacts téléphoniques avec les professeurs d'électronique de la haute école, il apparaît que l'ancienne définition de l'impédance de sortie n'était pas fautive, mais bien incomplète. Il aurait fallu préciser dans quel domaine celle-ci était applicable.

Pour les radioamateurs, il s'agit le plus souvent d'un émetteur relié par un feeder à une antenne. Nous supposons donc que pour la suite, nous parlons de l'impédance de sortie d'un émetteur et de l'impédance d'une antenne. Dans les prochains calculs, nous ne parlerons plus du feeder et de son impédance et nous supposons que l'antenne est directement raccordée à l'émetteur.

**Deuxième question** : quelle est la puissance d'un émetteur ? Est-ce la puissance disponible dans l'étage final ? La puissance dissipable maximum dans l'étage final ? Est-ce la puissance maximum à l'antenne ? La puissance maximum à l'entrée ? La puissance qui est ou peut être fournie à l'antenne ? La puissance rayonnée ? Beaucoup de questions et provisoirement peu de réponses.

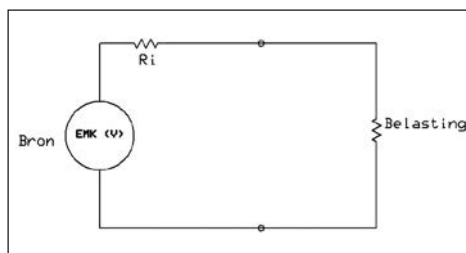
La meilleure et unique exacte description pourrait être : l'émetteur peut fournir XX watts à une charge de ZZ ohms. Nous supposons pour la suite que ZZ est égal à 50 Ω. Dans la littérature anglo-saxonne, on écrit souvent : "Capable to deliver XX Watts power into a 50 Ohm load". Cette expression serait à 100 % exacte.

Pour raison de simplicité, nous utiliserons le terme "résistance" à la place du terme "impédance". Surtout, parce que nous essayerons de faire en sorte que la  $R_i$  de l'émetteur ainsi que celle du coax avec l'antenne (éventuellement via le tuner) aient une valeur résistive égale à 50 Ω. Supposons d'abord que nous parlions de la puissance maximum dissipable dans l'étage final. On peut la considérer comme étant la puissance

Menigeen zal even de wenkbrauwen fronsen bij het lezen van deze titel. In het verre verleden was dit de naam van een populair spel op de Franse tv. Welke lading wordt hier door de vlag gedekt? Het zal u niet verbazen dat sommige cijfers (waarden) en sommige letters (definities) verwarring kunnen zaaien.

In de sectie WLD waren er onlangs enkele gesprekspanels waarin zulke onzekerheden en misverstanden naar voor kwamen. Een der onderwerpen was het aanpassen van belastingen op bronnen of omgekeerd. Zoals een luidspreker op een versterker, of een antenne op een zender. Het is een algemeen verbreide opvatting dat maximum transfer van energie plaats vindt als de impedantie van de belasting gelijk is aan de uitgangsimpedantie van de zender.

**Vraag één** die zich stelt: wat is de 'uitgangsimpedantie' van een trap of versterker?



Source et charge / Bron en belasting

In het handboek dat men gebruikte voor de hogere studies elektronica in de jaren 60, vindt men een eerste definitie ervan. Daarin zegt men, dat elke bron (trap) een EMK en een inwendige weerstand heeft in het vervangschema. Dat klopt. Maar men maakt een onderscheid tussen de 'inwendige weerstand' van de bron en de 'uitgangsimpedantie' van die bron. Deze laatste definieert men dan

als zijnde de parallelschikking van de inwendige bronweerstand en de uitwendige belasting van die bron. Met andere woorden, het is die waarde die een uitwendig meetapparaat zou aangeven wanneer men meet op de uitgangsklemmen van de 'bron' terwijl de 'belasting' erop staat.

In de modernere literatuur spreekt men hier niet meer van. Men stelt eenvoudig dat de 'inwendige weerstand' van de bron gelijk is aan de 'uitgangsimpedantie'. Voor ons, radioamateurs, is dat ook het eenvoudigste. Toch mag men de oudere definitie niet zomaar van tafel vegen. In het laagfrequentdomein is die handig als men berekeningen wil maken met de stelling van Thévenin. Stel je voor dat je de waarde wil berekenen van een condensator die in serie moet komen met een 'tweeter', om dat geheel in parallel op de 'woofer' te plaatsen, en het geheel op de versterkeruitgang te zetten. Men heeft dan drie elementen: de versterker, de tweeter en de woofer.

Na menig mailtje en telefonisch contact met de leerkrachten die nu in de hogeschool les elektronica geven, formuleerden die het als volgt: "de vroegere definitie van de uitgangsimpedantie was niet verkeerd, maar wel onvolledig. Men had moeten omschrijven in welk gebied die best bruikbaar was".

Voor ons gaat het meestal wel over 'een zender' en een 'antenne', gekoppeld via een 'feeder'. We zullen dus verder aannemen dat we spreken over de uitgangsimpedantie van een zender en de impedantie van de antenne. In onze verdere berekeningen spreken we niet meer over de feeder en zijn impedantie. We onderstellen dat de antenne rechtstreeks op de zender is aangesloten.

**Vraag twee**: wat is 'het vermogen van een zender'. Is dat het beschikbare vermogen van de eindtrap? Het maximum dissipeerbaar vermogen van de eindtrap? Is dat het maximum vermogen in de antenne? De maximale input? Het vermogen dat in de antenne gaat of kan gaan? Het uitgestraald vermogen? Veel vragen, voorlopig weinig antwoorden.

De beste en enig juiste omschrijving zou kunnen zijn: de zender kan XX watt leveren aan een belasting van ZZ ohm. We nemen verder aan dat ZZ gelijk is aan 50 Ω. In Engelstalige boeken zegt men vaak: "Capable to deliver 'XX' Watts power into a 50 Ohm load". Deze vermelding zou 100 % duidelijk zijn.

Laten we verder niet meer over 'impedantie' spreken, maar over 'weerstand'. Dat typt eenvoudiger. Vooral gezien we er proberen voor te zorgen dat  $R_i$  van de zender en ook de coax met de antenne (eventueel via tuner)

de court circuit de l'émetteur ou du générateur. La résistance de charge étant nulle, la fem débite sur sa résistance interne. Cette situation entraîne la destruction de l'étage final. On suppose en effet ici qu'il n'y a pas adaptation de la puissance de sortie dans le cas d'un ROS élevé. Nous supposons de plus que l'antenne absorbe 25 % seulement de la puissance maximum. Pour la puissance rayonnée, il faut de plus encore tenir compte du gain de l'antenne.

### Troisième question : Qu'entend-on par rendement ?

On peut considérer le rendement d'un étage de différentes façons.

- 1) Comparer la puissance fournie à l'antenne avec la puissance DC totale réellement fournie à l'étage.
- 2) Comparer la puissance fournie à l'antenne avec la puissance DC maximum que l'on peut théoriquement fournir à l'étage.

Le rendement défini selon (2) sera toujours inférieur à celui selon (1).

Considérons maintenant un étage de sortie qui peut dissiper au maximum 50 W ou supporter cette valeur comme puissance DC fournie à l'étage. Nous verrons plus loin que dans le cas d'un transfert maximum de puissance, le rendement selon (1) sera de 50 %. Il ne sera cependant que de 25 % selon (2). L'antenne absorbe en effet au maximum 12,5 W, et on perd 12,5 W par dissipation dans l'étage de sortie lui-même.

Quelques remarques en ce qui concerne maintenant le transfert maximum de puissance. Tout dépend de la façon dont on considère les choses. Je propose d'examiner quatre possibilités :

- 1) On part d'une source dont on connaît la puissance dissipable maximum, ainsi que la résistance de charge supposée fixe. L'impédance de sortie est supposée variable. Exemple : un émetteur de 50 watts pour une antenne de 50  $\Omega$ .
- 2) On part d'une source dont on connaît la puissance dissipable maximum ainsi que l'impédance de sortie supposée fixe. La résistance de la charge (antenne) est supposée variable. Exemple : un émetteur de 50 watts avec une impédance de sortie de 50  $\Omega$ .
- 3) On part d'une source avec indication de la tension de source (fem), et une résistance fixe de 50  $\Omega$ . Dans ce cas-ci, la résistance de la charge est supposée variable.
- 4) On part d'une source dont la fem est fixe avec une résistance de charge fixe. L'impédance de sortie est supposée variable. C'est souvent le cas pour des générateurs, moins pour les émetteurs et les antennes.
- 5) On peut aussi éventuellement faire le calcul avec une source de fem et de résistance interne fixes et une charge variable. Dans ce cas, c'est surtout la tension de sortie qui est importante.

### Discussion

Dans le premier cas, la valeur inconnue (et variable) est la résistance de source  $R_i$ . Dans le second cas, la valeur inconnue est la résistance de charge  $R_b$ . Dans le troisième cas, l'inconnue est aussi la résistance de charge  $R_b$ . Dans le quatrième cas, on a une résistance de source  $R_i$  variable, avec la puissance  $P$  qui lui est associée.

La puissance dissipable maximum peut être décrite pratiquement comme la puissance de court circuit. Cette puissance est entièrement dissipée par l'étage final lorsque l'on court-circuite sa sortie. C'est la puissance INPUT maximum de l'émetteur. Une puissance input plus élevée entraîne la destruction de l'étage final. Évidemment, nous supposons ici qu'il n'y a pas adaptation de la puissance de sortie dans le cas d'un ROS élevé.

### Calcul

Se référer aux tableaux.

Pour simplifier, nous travaillons avec la valeur populaire de 50  $\Omega$ .

*Exemple 1 : un émetteur avec une puissance input dissipable maximum de 50 W et une charge de 50  $\Omega$ . La résistance interne  $R_i$  de la source est variable. La tension maximum que peut fournir l'émetteur est égale à la racine carrée de  $(P \times R_i)$ . Elle est donnée dans la troisième colonne. Il en résulte un courant dont la valeur est donnée dans la cinquième colonne. La colonne quatre donne la tension de sortie, compte tenu de la résistance de la source. La colonne cinq donne le courant de court circuit ( $R_b = 0$ ). La colonne six donne le courant réel dans la charge. Notons que le transfert maximum se produit lorsque  $R_b = R_i$ . Le rendement énergétique le plus élevé est obtenu dans le cas de l'impédance de source la plus basse (83 %). Remarquons que l'antenne absorbe au maximum un quart (12,5 watts) de la puissance de court circuit de 50 watt.*

zullen gelijk zijn aan 50  $\Omega$  resistief. Laat ons aannemen dat we eerst spreken over het maximum dissipeerbaar vermogen van de eindtrap. Je kan het omschrijven als het 'kortsluitvermogen' van de zender of generator. Daarbij hebben we de EMK en de inwendige weerstand. De belastingsweerstand is dan nul. Kortsluiting dus. Bij overschrijden van die limiet gaat de eindtrap stuk. Er wordt immers geen 'terugregeling' van het vermogen verondersteld bij hogere SGV. We zullen verderop vaststellen, dat slechts 25 % van dat maximum vermogen in de antenne zal verdwijnen. Voor het 'uitgestraalde' vermogen dient men daarna nog rekening te houden met de winst van de antenne.

### Vraag drie: wat verstaat men onder 'rendement'?

Men kan het rendement van een trap op meerdere wijzen berekenen.

- 1) Het vermogen in de antenne vergeleken met het actuele totale DC inputvermogen.
- 2) Het vermogen in de antenne vergeleken met de theoretische maximum DC input.

Het rendement volgens (2) zal steeds lager zijn dan onder (1).

Neem nu een eindtrap die max. 50 W kan dissiperen of als DC-input kan verdragen. We zien verder dat bij maximum vermogentransfer het rendement 50 % zal bedragen volgens (1). Het zal echter slechts 25 % zijn volgens (2). Er gaat immers max. 12,5 W in de antenne, en er is 12,5 W verliesvermogen door dissipatie in de eindtrap zelf.

Wat nu betreft de maximum transfer van vermogen, enkele bemerkingen. Alles hangt ervan af, uit welke hoek men het bekijkt. Ik stel vier mogelijkheden voor om na te gaan:

- 1) Men vertrekt van een bron waarvan men het maximum dissipeerbaar vermogen kent, en ook de vaste belastingsweerstand. Variabel nemen we hier de uitgangsimpedantie. Voorbeeld: 'een zender van 50 watt voor een antenne van 50  $\Omega$ '.
- 2) Men vertrekt van een bron waarvan men het maximum dissipeerbaar vermogen kent en ook de 'vaste uitgangsimpedantie'. Variabel is hier de weerstand van de belasting (antenne). Voorbeeld: 'een zender van 50 watt met een uitgangsimpedantie van 50  $\Omega$ '.
- 3) Men vertrekt van 'een bron met vermelding van de bronspanning (emk)', en een vaste inwendige weerstand van 50  $\Omega$ . Variabel is hier de waarde van de belasting.
- 4) Men vertrekt van een vaste bronspanning en een vaste belastingswaarde. Variabel is hier de uitgangsimpedantie. Dit is meestal het geval bij 'generatoren', minder bij zenders en antennes.
- 5) Men kan eventueel ook de berekening maken met een vaste bronspanning, met een vaste bronweerstand en een variabele belasting. Hier zal vooral de uitgangsspanning van belang zijn.

### Bespreking

In het eerste geval is de onbekende (en variabele) waarde de bronweerstand  $R_i$ . In het tweede geval is de onbekende waarde de weerstand van de belasting  $R_b$ . In het derde geval is de onbekende ook de weerstand der belasting  $R_b$ . In het vierde geval is de bronweerstand variabel, met het daaraan gerelateerde vermogen, dus  $R_i$  en  $P$ .

Het maximum dissipeerbaar vermogen kan men praktisch omschrijven als het 'kortsluitvermogen'. Dat vermogen wordt helemaal door de eindtrap gedissipeerd bij kortsluiting van de uitgang. Het is de maximum INPUT van de zender. Bij hogere input gaat de eindtrap defect. Uiteraard bekijken we theoretisch een zender zonder 'terugregeling bij hoge SWR'.

### Berekening

Zie de tabellen.

Voor het gemak werken we met de populaire '50  $\Omega$ ' toestanden.

*Voorbeeld 1: zender met max. dissipeerbare input van 50 W, belasting 50  $\Omega$ .  $R_i$  van bron variabel.*

De maximale spanning die uit de zender kan komen, is gelijk aan de vierkantswortel uit  $(P \times R_i)$ . Deze staat in de derde kolom. Daaruit vloeit een stroom in de vijfde kolom. Kolom vier geeft de klemspanning rekening houdende met de bronweerstand. Kolom vijf geeft de kortsluitstroom bij  $R_{bel}=0$ . Kolom zes geeft de reële stroom in de belasting. Noteer dat de maximum transfer gebeurt bij  $R_{bel}=R_i$ . Het hoogste energierendement staat bij de laagste bronimpedantie (83 %).

Noteer dat van het kortsluitvermogen van 50 watt, er maximaal 12,5 watt in de antenne gaat.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
R source (Ohms) R bron (Ohm)	R charge (Ohms) R load (Ohm)	V max (Volts) V max (Volt)	V out (Volts) V out (Volt)	I max (Amp) I max (Amp)	I réel (Amp) I réel (Amp)	P dans la charge (watts) P in load (Watt)	P dans la source (watts) P in bron (Watt)	P tot (watts) P tot (Watt)	Rend % (1) Rend % (1)
10	50	22,36	18,63	2,236	0,372	06,92	01,38	08,30	83
25	50	35,35	23,57	1,410	0,471	11,11	05,55	16,65	66
50	50	50,00	25,00	1,000	0,500	12,50	12,50	25,00	50
75	50	61,23	24,49	0,816	0,489	12,00	17,99	30,00	40
100	50	70,71	23,57	0,707	0,471	11,11	22,22	33,33	33
		Rcharge=0 / Rload=0		Rcharge=0 / Rload=0					

**Exemple 2 : Émetteur avec une puissance input maximum dissipable de 50 W,  $R_i=50 \Omega$ . La charge est variable. Ceci est le cas le plus fréquent.**  
Avec 50 W/50  $\Omega$ , la tension et le courant maximum sont aussi fixés : 50 V avec 1 A (colonnes 3 et 5). Les colonnes 4 et 6 redonnent les valeurs, compte tenu de la charge. Dans ce cas-ci aussi, le transfert maximum de puissance est obtenu pour  $R_i = R_b$ . Le rendement maximum correspond à la charge la plus élevée.

**Voorbeeld 2: Zender met max. dissipeerbare input van 50 W,  $R_i=50 \Omega$ . De belasting is variabel. Dit is het meest voorkomende geval.**  
Met 50 W/50  $\Omega$  ligt de max. spanning en stroom ook vast. Dat is 50 V bij 1 A (kolommen 3 en 5). Kolommen 4 en 6 geven de waarden weer, rekening houdend met de belasting.  
Ook hier is de maximum transfer bij  $R_i=R_{bel}$ . Het hoogste energierendement is bij de hoogste belastingswaarde.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
R source (Ohms) R bron (Ohm)	R charge (Ohms) R load (Ohm)	V max (Volts) V max (Volt)	V out (Volts) V out (Volt)	I max (Amp) I max (Amp)	I réel (Amp) I réel (Amp)	P dans la charge (watts) P in load (Watt)	P dans la source (watts) P in bron (Watt)	P tot (watts) P tot (Watt)	Rend % (1) Rend % (1)
50	10	50	08,33	1,000	0,833	06,94	34,72	41,66	17
50	25	50	16,66	1,000	0,667	11,11	22,22	33,33	33
50	50	50	25,00	1,000	0,500	12,50	12,50	25,00	50
50	75	50	30,00	1,000	0,400	12,00	08,00	20,00	60
50	100	50	33,33	1,000	0,333	11,11	05,55	16,66	66
		Rcharge=0 / Rload=0		Rcharge=0 / Rload=0					

Dans les deux cas précédents, on obtient le rendement le plus élevé selon (1) lorsque la résistance de source est plus petite que la charge. Cependant, le transfert maximum de puissance se produit lorsque ces deux valeurs sont égales. Le rendement serait de 100 % pour une résistance de source nulle (pas de perte).

In beide voorgaande gevallen haalt men het hoogste rendement volgens (1) wanneer de bronweerstand kleiner is dan de belasting. De grootste transfer gebeurt echter wanneer beide waarden gelijk zijn. Het rendement zou 100 % zijn als de bronweerstand= 0 (nul)  $\Omega$  (geen verlies).

**Exemple 3 : Tension de source constante et connue (50 V) et résistance de source  $R_i = 50 \Omega$ . Par conséquent,  $P_{max} = 50 W$ . La charge est variable.**

**Voorbeeld 3: Constante bronspanning (50 V) gekend en  $R_i$  bron = 50  $\Omega$ . Bijgevolg is  $P_{max} = 50 W$ . Belasting is variabel.**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
R source (Ohms) R bron (Ohm)	R charge (Ohms) R load (Ohm)	V source (Volts) V bron (Volt)	V out (Volts) V out (Volt)	I max (Amp) I max (Amp)	I réel (Amp) I réel (Amp)	P dans la charge (watts) P in load (Watt)	P dans la source (watts) P in bron (Watt)	P tot (watts) P tot (Watt)	Rend % Rend %
50	10	50	08,33	1,000	0,833	06,94	37,72	44,66	16
50	25	50	16,67	1,000	0,666	11,11	33,33	44,40	25
50	50	50	25,00	1,000	0,500	12,50	12,50	25,00	50
50	75	50	30,00	1,000	0,400	12,00	08,00	20,00	60
50	100	50	33,33	1,000	0,333	11,11	05,55	16,66	67
		Rcharge=0 / Rload=0							

Mêmes conclusions que dans le cas des exemples 1 et 2.

Zelfde besluiten als bij de voorbeelden 1 en 2.

**Exemple 4 : Tension de source constante et connue (50 V) et charge fixe (50  $\Omega$ ). La résistance interne est variable. Conséquence : l'input ( $P_{tot}$ ) change fortement.** A la lecture de ce tableau, on pourrait, à tort, conclure que le rendement le plus élevé correspond au maximum de puissance dans l'antenne. Selon (1), c'est exact. Avec une résistance de source de 10  $\Omega$ , la puissance dissipable maximum doit être plus grande ! Elle vaut alors 250 W (50 V avec 10  $\Omega$ ). Avec  $R_i$  égal à 100  $\Omega$ ,  $P_{diss}$  maximum vaut seulement 25 W. Si, dans la ligne supérieure du tableau, on donnait aussi à la charge une valeur de 10  $\Omega$ , la puissance input maximum serait alors encore toujours égale à 250 W ( $[50 \times 50 / 10]$ ), mais la puissance dans l'antenne serait alors de 62,5 W. C'est plus que la valeur actuelle de 34,72 à la ligne 1. Le rendement selon (1) est alors de 50 %. Selon (2), il est seulement de 25 %. De cela, on peut déduire qu'un quart seulement de la puissance

**Voorbeeld 4: constante bronspanning (50 V) gekend en vaste belasting (50  $\Omega$ ). De inwendige weerstand is variabel. Gevolg: de input ( $P_{tot}$ ) verandert sterk.** Uit deze tabel zou men verkeerdelijk kunnen besluiten dat het hoogste rendement hier samenvalt met het hoogste vermogen in de antenne. Volgens (1) zal dat kloppen. Bij een bronweerstand van 10  $\Omega$  moet het maximum dissipeerbaar vermogen groter zijn! Het is dan 250 W (50 V bij 10  $\Omega$ ). Bij een  $R_i$  van 100  $\Omega$ , is deze max.  $P_{diss}$  slechts 25 W. Mocht men in de bovenste lijn van de tabel de belasting (Load) veranderen naar ook 10  $\Omega$ , dan zou het maximum inputvermogen nog steeds 250 W zijn ( $[50 \times 50 / 10]$ ), maar het vermogen in de antenne zal dan 62,5 W bedragen. Dat is meer dan de huidige 34,72 op lijn 1. Het rendement volgens (1) is dan 50 %. Volgens (2) is het slechts 25 %. Hieruit kan men stellen dat er slechts  $\frac{1}{4}$  van het maximum DC-input

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
R source (Ohms) R bron (Ohm)	R charge (Ohms) R load (Ohm)	V source (Volts) V bron (Volt)	V out (Volts) V out (Volt)	I max (Amp) I max (Amp)	I réel (Amp) I réel (Amp)	P dans la charge (watts) P in load (Watt)	P dans la source (watts) P in bron (Watt)	P tot (watts) P tot (Watt)	Rend % Rend %
10	50	50	41,67	5,000	0,833	34,72	06,94	41,66	83
25	50	50	33,33	2,000	0,666	22,22	11,11	33,33	67
50	50	50	25,00	1,000	0,500	12,50	12,50	25,00	50
75	50	50	20,00	0,666	0,400	08,00	12,00	20,00	40
100	50	50	16,67	0,500	0,333	05,55	11,11	16,66	33
		Rcharge=0 / Rload=0							

input DC est absorbée par l'antenne (En négligeant les pertes dans les câbles et les pertes supplémentaires dues aux ondes stationnaires en cas de non-adaptation des impédances).

*Exemple 5. La f.e.m et la résistance interne d'un générateur sont le plus souvent connues. C'est alors seulement la tension de sortie qui nous intéresse dans le cas d'une charge variable. Supposons par exemple une fem fixe de 50 V. Dans le tableau ci-dessous, on a supposé  $R_i$  respectivement égal à 10  $\Omega$  (jaune) et 25  $\Omega$  (vert), ainsi que 50  $\Omega$  (bleu) et 100  $\Omega$  (rouge).*

Dans chacun des quatre groupes, nous voyons que le rendement le plus élevé est obtenu pour la résistance de source la plus basse, la valeur variant avec la résistance de charge. Le transfert maximum de puissance se produit évidemment aussi pour la résistance de source la plus basse (10  $\Omega$ ), mais, par rapport à la puissance input DC maximum, il en va bien aussi autrement.

## Conclusions

Dans le cas des exemples 1 à 3, nous avons la situation normale d'un émetteur avec une antenne. Dans ce cas, la puissance transmise à l'antenne est maximum lorsque la résistance de la charge (50  $\Omega$ ) est égale à la résistance interne (impédance de sortie) (50  $\Omega$ ) de l'émetteur. Le rendement est alors de 50%. Ces valeurs sont surlignées en vert. La puissance transmise à l'antenne est alors bien égale à la puissance dissipée dans l'étage final de l'émetteur. Cependant, au maximum, un quart de la puissance input maximum est transmise à l'antenne ! Notons que le rendement maximum ne correspond absolument pas avec le maximum de puissance transmise à l'antenne. Le rendement, c'est-à-dire le rapport entre la puissance transmise à l'antenne et la puissance input totale, est donné chaque fois dans la dernière colonne. Remarquons qu'il est parfois beaucoup plus grand ou plus petit que dans le cas de notre situation idéale. Le rendement maximum est surligné en jaune dans les tableaux.

L'exemple quatre se présente rarement. On constate qu'ici, le rendement le plus élevé correspond au maximum de puissance. On peut associer cela au réseau de distribution électrique avec une charge fixe. Plus la résistance interne de l'alternateur est petite, plus le rendement et la puissance maximum sont élevés, dans le cas d'une tension de réseau fixe (240 VAC) avec une consommation fixe.

Finalement, dans le dernier exemple, avec un simple générateur (HF), on a intérêt à ce que la résistance interne de la source soit aussi basse que possible, sinon, la tension de sortie chutera plus fortement avec une valeur de charge relativement basse. Le tableau correspondant donne les résultats pour quatre résistances de source différentes (10 / 25 / 50 / 100  $\Omega$ ) et trois résistances de charge différentes (10 / 50 / 100  $\Omega$ ).

Ces considérations sont aussi valables dans le cas d'un réseau de distribution électrique. Dans ce cas, la résistance de source devra être de l'ordre d'une petite fraction d'ohm seulement. Un ohm traversé par 1000 ampères représente en effet une perte de 1 mégawatt.

Encore une remarque : lorsque la résistance de source (impédance de sortie) n'est pas égale à l'impédance de l'antenne, des réflexions se produisent. Si en plus, on utilise un feeder avec une autre impédance que celle de l'antenne, un régime d'ondes stationnaires s'établit sur la ligne de transmission. Lorsque l'impédance de ce feeder n'est pas égale à l'impédance de sortie de l'émetteur, une fraction de la puissance réfléchi à l'antenne sera aussi, au point de raccordement feeder-émetteur, à nouveau réfléchi vers l'antenne. A cause des pertes dans le câble, ces réflexions s'éteignent peu à peu, sans quoi, on aurait des allers et retours sans fin entre l'émetteur et l'antenne. Notons que dans le cas d'une ligne quart d'onde, ce régime d'ondes stationnaires est utilisé pour réaliser une adaptation entre deux impédances différentes. Dans ce quart d'onde, on est en présence de nombreuses réflexions se produisant de manière continue.

Eddy ON5JK

vermogen in de antenne gaat (als er geen andere verliezen zijn door kabelverliezen en extra verlies door staande golven bij niet-aanpassing van het geheel).

*Voorbeeld 5. Bij een 'generator' zijn de bronspanning en de inwendige weerstand meestal gekend. Daar is enkel de uitgangsspanning van belang, bij een variabele belasting. Nemen we als voorbeeld een vaste 'bronspanning' van 50 V. Deze tabel voor  $R_i$  respectievelijk gelijk aan 10  $\Omega$  (geel) en 25  $\Omega$  (groen), alsook voor 50  $\Omega$  (blauw) en 100  $\Omega$  (rood).*

R source (Ohms) R bron (Ohm)	R charge (Ohms) R load (Ohm)	V out (Volts) V out (Volt)	I (Amp) I (Amp)	P dans la charge (watts) P in load (Watt)	P dans la source (watts) P in bron (Watt)	P tot (watts) P tot (Watt)	Rend % Rend %
10	10	25,00	2,5000	62,50	62,50	125,00	50
10	50	41,67	0,8333	34,69	6,93	41,62	83
10	100	45,45	0,4545	20,65	2,06	22,71	91
25	10	14,29	1,4280	20,39	50,97	71,36	29
25	50	33,33	0,6666	22,21	11,11	33,32	67
25	100	40,00	0,4000	16,00	4,00	20,00	80
50	10	8,33	0,8330	6,94	34,69	41,63	17
50	50	25,00	0,5000	12,50	12,50	25,00	50
50	100	33,33	0,3330	11,08	5,54	16,62	66,66
100	10	4,55	0,4550	2,07	20,70	22,77	9
100	50	16,67	0,3330	5,54	11,08	16,62	33
100	100	25,00	0,2500	6,25	6,25	12,50	50

Bij elk van de vier groepen zien we het hoogste rendement bij de laagste bronweerstand ten opzichte van de belastingsweerstand. De maximum vermogentransfer gebeurt uiteraard ook bij de kleinste bronweerstand (10  $\Omega$ ), maar ten opzichte van het maximaal DC-inputvermogen ligt het wel even anders.

## Besluiten

In de voorbeelden 1 tot 3 hebben we een normale situatie bij een zender en een antenne. Daarbij gaat het meeste vermogen in de antenne als de weerstand der belasting (50  $\Omega$ ) gelijk is aan de inwendige weerstand (uitgangsimpedantie) (50  $\Omega$ ) van de zender. Het rendement, zegt men, is dan 50%. Deze waarden zijn groen gemerkt. Er wordt dan wel even veel vermogen in de antenne gestuurd als er in de eindtrap wordt 'gedissipeerd'. Toch gaat er maximum een vierde van het 'maximum inputvermogen' naar de antenne! Noteer dat het hoogste rendement absoluut niet samenvalt met het hoogste vermogen in de antenne. Het rendement, of de verhouding van het antennevermogen ten opzichte van de totale input, staat telkens in de laatste kolom. Noteer dat het soms veel groter of kleiner kan zijn dan bij onze 'ideale' toestand. Het hoogste rendement is geel gemerkt in de tabellen.

Het voorbeeld vier zal weinig voorkomen. Men ziet dat hier het grootste rendement samenvalt met het hoogste vermogen. Men kan dit associëren met de netstroomverdeling en een vaste belasting. Hoe kleiner de inwendige weerstand van de alternator, hoe groter rendement en maximum vermogen bij een vaste netspanning (240 VAC) in een vaste verbruiker.

Tot slot, in het laatste voorbeeld, bij een gewone (HF) generator is het ook zo dat de bronweerstand best zo laag mogelijk is, anders zal de uitgangsspanning sterker dalen bij een relatief lage waarde der belasting. In de tabel worden vier verschillende bronwestanden (10 / 25 / 50 / 100  $\Omega$ ) afgewogen tegenover drie verschillend belastingsweerstand (10 / 50 / 100  $\Omega$ ). Ditzelfde is ook waar bij de netstroomverdeling. Daar zal de bronweerstand slechts een kleine fractie van een ohm mogen zijn. Eén ohm bij 1000 ampère betekent immers een verlies van 1 Megawatt.

Verder te noteren: wanneer de bronweerstand (uitgangsimpedantie) niet gelijk is aan de impedantie der antenne, komen er ook reflecties. Als men daarenboven nog een feeder gebruikt met een andere impedantie dan de antenne, komen er staande golven. Als de impedantie van deze feeder niet gelijk is aan de uitgangsimpedantie van de zender, zal ook daar een deel van het door de antenne gereflecteerde vermogen op zijn beurt worden gereflecteerd richting antenne. Door de kabelverliezen sterft die reflectie wel stilaan uit, anders zou het voor eeuwig blijven heen en weer gaan tussen zender en antenne. Noteer dat men van deze voortdurende heen-en-weer reflectie gebruik zal maken om een kwartgolf aanpassing te maken tussen twee verschillende impedanties. In dat kwartgolfstuk vinden talloze reflecties plaats, voortdurend heen en weer.

Eddy ON5JK