

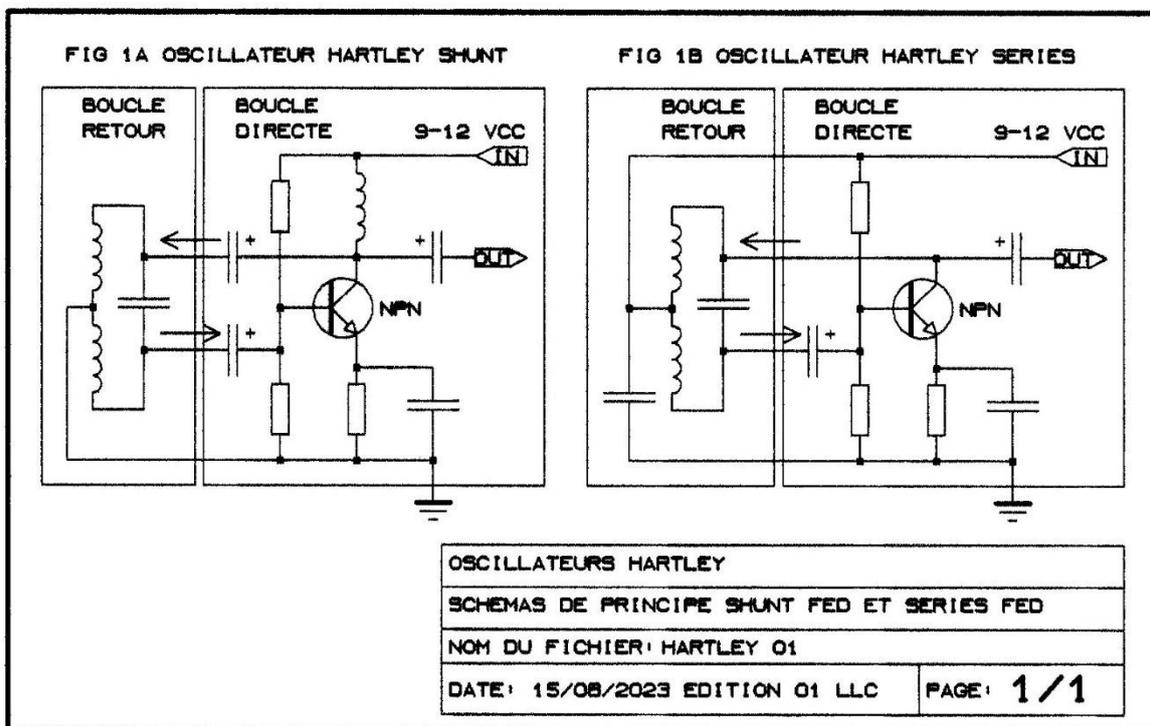
Sur l'oscillateur Hartley.

1. Introduction.

Le texte ci-dessous décrit un oscillateur Hartley et une de ses variantes. Cet oscillateur est très ancien puisqu'il a été mis au point en 1915 déjà. Cet oscillateur fait appel à un seul condensateur et à deux inductances en série avec une prise entre les deux. Il est souvent considéré comme l'opposé de l'oscillateur Colpitts qui lui fait appel à une inductance et à deux condensateurs en série avec une prise entre les deux. Le l'oscillateur Hartley est beaucoup utilisé dans la gamme de fréquences entre 30kHz et 30MHz. Il a la réputation d'être un peu plus difficile à maîtriser que l'oscillateur Colpitts parce que les deux inductances peuvent interagir entre elles par des mécanismes de couplage bien connus.

La littérature foisonne d'articles et de schémas qui permettent de construire des oscillateurs Hartley. Cependant l'approche n'est pas très facile. En effet, comme pour les autres oscillateurs, il y a de nombreuses variantes et les schémas peuvent être dessinés de nombreuses façons différentes, ce qui peut déconcerter les débutants et débutantes. Le texte ci-dessous n'a d'autre ambition que d'essayer d'aider un peu à s'y retrouver. Et peut-être aussi d'encourager les débutants et débutantes à construire eux-mêmes un oscillateur. Rien de tel qu'un peu de pratique pour apprendre !

2. Schéma de principe.



Le schéma de principe est donné dans la figure 1 ci-dessus. Comme les autres oscillateurs, l'oscillateur Hartley est composé d'une boucle directe et d'une boucle retour. La boucle directe est un amplificateur à qui on ne demande pas grand-chose en fait, si ce n'est d'entretenir l'oscillation qui est générée par la boucle de retour. Sans quoi le signal s'amortirait dès la première mise sous tension et l'oscillateur ne fonctionnerait pas longtemps! On peut réaliser cet amplificateur avec un transistor BJT (par exemple 2N3904), ou bien un transistor à effet de champs JFET (par exemple 2N3819), ou bien un ampli opérationnel OPA. Inutile de dire que avant les années 1950, on utilisait un tube électronique et

que ça fonctionnait tout aussi bien - si pas mieux. La boucle de retour est l'oscillateur proprement dit et c'est elle qui détermine la fréquence d'oscillation. On l'appelle circuit bouchon ou tank ou réservoir, parce que c'est en effet « un peu comme un réservoir d'oscillations » que l'amplificateur qui suit doit maintenir en vie. Dans le cas de l'oscillateur Hartley, c'est donc une boucle constituée d'un condensateur et de deux inductances. Si l'on utilise un transistor BJT, on peut réaliser les oscillateurs en mode émetteur commun, base commune et collecteur commun.

Le schéma de principe ci-dessus décrit un oscillateur Hartley en mode émetteur commun. La figure 1A montre le montage dit « shunt-fed ». Dans ce montage, le collecteur du transistor est raccordé au rail positif par l'intermédiaire d'une inductance de grande valeur ou bien plus simplement d'une résistance. Le circuit oscillant est en parallèle avec le transistor et il est complètement isolé par 2 condensateurs. Il n'y a pas de composante courant continu dans le circuit oscillant. La figure 1B montre le même oscillateur en montage dit « series-fed ». Dans ce montage, le collecteur du transistor est raccordé au rail positif par l'intermédiaire du circuit oscillant. Le circuit oscillant est donc sous tension et il est traversé par le courant de collecteur. Les 2 montages se retrouvent abondamment décrits sur les web et semblent équivalents.

3. Réalisation des oscillateurs.

On a réalisé les oscillateurs sur une plaque de montage rapide (breadboard en Anglais) et également avec la méthode Mahattan, bien connue des radio-amateurs. Les plaques de montage rapide ont l'avantage de permettre de changer rapidement les composants mais elles n'offrent ni une grande stabilité mécanique, ni des contacts particulièrement robustes. La fréquence d'oscillation se calcule par la formule bien connue

$$f_o = 1/(2\pi * (L_t * C)^{1/2}), \text{ avec } L_t = L_1 + L_2 \pm 2M,$$

où 2M représente le couplage entre les 2 inductances.

Dans notre cas les inductances sont séparées d'au moins un cm. Le facteur de couplage entre les inductances doit donc être faible (mais pas nul pour autant) et on n'en a pas tenu compte dans les calculs. On a utilisé des inductances de 68µH, 100µH, 150µH et 470µH et des condensateurs de 10nF, 47nF et 100nf, ce qui donne des fréquences théoriques entre 17.3 kHz et 138.7 kHz, et donc largement accessibles par le petit oscilloscope qui est limité à 200 kHz. On a utilisé les valeurs mesurées et non les valeurs théoriques. L'écart est parfois fort important.

La figure 2A représente un oscillateur en mode émetteur commun de type shunt-fed. On entre par la base et on sort par le collecteur. On retrouve la résistance de collecteur qui permet de sortir un signal, la résistance d'émetteur qui assure la stabilisation thermique du transistor, le condensateur de découplage de la résistance d'émetteur qui a pour fonction de drainer la composante alternative du signal vers la masse (ce que la base apprécie!), le pont diviseur de tension qui fixe le bias de la base et les 2 condensateurs de liaison ou de couplage qui éliminent la composante continue du signal.

La résistance de collecteur est de 4K7 et la résistance d'émetteur de 2K2, ce qui amène la tension de l'émetteur à 1.35 volts. Ce qui est correct puisque l'on estime souvent que la tension de l'émetteur doit être entre 10 et 15 % de la tension d'alimentation. Le pont diviseur de tension qui fixe le bias de la base est de R1 = 47 KOhms et R2 = 10 kOhms, ce qui donne 1.99 Volts sur la base, ce qui est également correct. Les condensateurs de liaisons sont largement surdimensionnés, un peu comme pour un ampli audio... En revanche, le condensateur de découpage de l'émetteur doit être choisi avec soin, parce qu'il influence considérablement la tension base-émetteur. Ceci est mis en évidence dans

le tableau des résultats des essais. A noter que dans ce mode émetteur commun, entrée et sortie sont déphasées de 180 degrés et que le circuit oscillant déphase aussi de 180 degrés. On a donc en tout un déphasage de $180 + 180 = 360$ degrés qui est une des conditions pour que l'oscillateur oscille!

La figure 2B décrit un oscillateur en mode émetteur commun de type series-fed. On remarquera que le transistor est bien alimenté à travers le circuit oscillant. Pour cela il faut retirer le condensateur de couplage entre le collecteur et le circuit oscillant. Après plusieurs essais, on a construit le pont diviseurs de tension pour le bias de la base avec 2 résistances de 22K, mais le rapport n'est pas critique. Les condensateurs de liaison sont de $1\mu\text{Farad}$ non polarisé. Pas critique non plus. Sur les plaques de montage rapide, il faut veiller à positionner les inductances le plus solidement possible, pour éviter des couplages instables et les dérives en fréquences qui peuvent se produire.

4. Résultats des mesures en montage shunt-fed (Fig 2A).

C en nF	L en μH	Fo (kHz) Théorique	Fo (kHz) Mesurée	Vc (V)	Ve (V)	Vb (V)	Vbe (V)	Ie (mA)
C = 10 Ce = 10	133.0	138.7	148.0 +/- 2	7.43	2.26	1.99	-0.30	1.02
	176.1	120.0	128.2 +/- 1	7.13	2.42	1.98	-0.46	1.10
	311.8	90.2	95.1 +/- 0.5	6.29	2.89	1.98	-0.92	1.31
	849.5	54.6	57.5 +/- 0.2	7.00	2.49	1.98	-0.52	1.13
C = 10 Ce = 100	133.0	138.7	142.5 +/- 2	8.16	1.93	1.98	0.02	0.87
	176.1	120.0	124.8 +/- 1	7.92	2.05	1.98	-0.06	0.93
	311.8	90.2	93.5 +/- 0.5	7.49	2.25	1.96	-0.28	1.02
	849.5	54.6	56.3 +/- 0.4	7.95	1.98	1.97	0.00	0.90
C = 47 Ce = 100	133.0	63.7	74.7 +/- 0.5	8.99	1.45	1.99	0.54	0.65
	176.1	55.4	64.8 +/- 0.3	8.92	1.47	1.99	0.52	0.67
	311.8	41.6	47.4 +/- 0.3	8.87	1.51	1.99	0.47	0.69
	849.5	25.2	28.3 +/- 0.2	8.86	1.52	1.99	0.47	0.69
C = 100 Ce = 470	133.0	43.7	49.6 +/- 0.2	9.04	1.36	1.99	0.61	0.62
	176.1	37.9	42.7 +/- 0.2	9.05	1.37	1.98	0.61	0.62
	311.8	28.5	32.5 +/- 0.2	9.08	1.40	1.99	0.58	0.64
	849.5	17.3	17.9 +/- 0.1	9.04	1.40	1.98	0.58	0.64
Conditions transistor au repos en classe A				9.14	1.35	1.99	0.58	0.61

5. Résultats des mesures en montage series-fed (Fig 2B).

C en nF	L en μH	Fo (kHz) Théorique	Fo (kHz) Mesuré	Vc (V)	Ve (V)	Vb (V)	Vbe (V)	Ie (mA)
C = 10 Ce = 100	133.0	138.7	146,3 +/- 1	11.67	7.71	5.52	-2.17	3.50
	176.1	120.0	125.4 +/- 1	11.67	7.57	5.31	-2.22	3.44
	311.8	90.2	92.5 +/- 0.4	11.70	6.94	4.20	-2.74	3.15
	849.5	54.6	54.4 +/- 0.2	11.67	7.31	5.27	-2.06	3.32
Conditions transistor au repos en classe A				11.67	5.05	5.71	0.65	2.29

Dans le tableau ci-dessus on a rassemblé quelques mesures réalisées sur les montages shunt-fed et series-fed. On a utilisé les désignations conventionnelles, V_c , V_e , V_{be} et $I_e = V_e/R_e$.

On remarquera que les fréquences mesurées à l'oscilloscope sont toujours plus élevées que les fréquences théoriques attendues, sauf la pour fréquence 54,4 kHz dans le cas du montage series-fed. On a déjà observé cela sur un oscillateur Colpitts décrit précédemment. Il est probable que sur ces plaques de montages rapides, « il traîne des pF et des μ H un peu partout » et que les fréquences en soient affectées. En plus, la fréquence varie un peu avec le positionnement des inductances, à cause du couplage qui n'est pas rigoureusement nul. On s'y attendait un peu.

On remarquera aussi que, dans certaines conditions, la tension base-émetteur V_{be} devient négative, et en particulier dans le cas du montage series-fed (-2 Volts). C'est un phénomène connu sous le nom de

Automatic sliding class C bias ou bias glissant automatiquement en classe C.

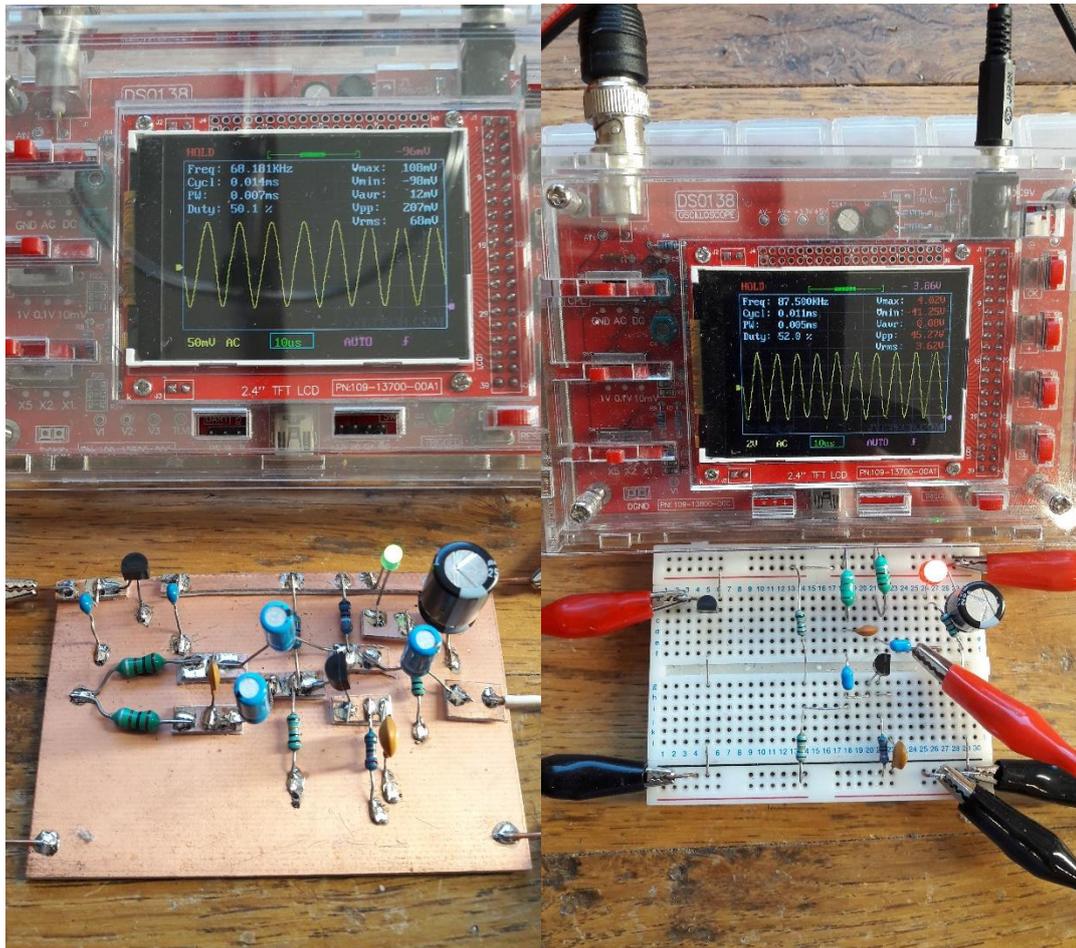
Ici c'est un peu plus compliqué et cela mérite une tentative d'explication (même si elle est maladroite). Heureusement que ce sujet est largement développé dans les tutoriels en ligne. Le bias glissant automatiquement en classe C peut grossièrement être décrit comme suit.

Lorsque l'on met le montage en tension, le transistor fonctionne en classe A. C'est normal et c'est prévu, parce que le pont diviseur de la base fixe la tension de la base à une valeur de 0.65 volt supérieure à celle de l'émetteur. Mais dès que le circuit oscillant se met à osciller, le courant qui traverse le transistor augmente et la tension de l'émetteur augmente aussi. La tension de la base ne change pas parce qu'elle est plutôt bien stabilisée par le pont diviseur de tension. En conséquence, la différence de tension entre la base et l'émetteur V_{be} diminue jusqu'à devenir négative dans certains cas. On a donc déplacé le point de fonctionnement du transistor de la classe A vers la classe C. En fait, ce n'est pas dommageable du tout. On ne demande pas au transistor d'amplifier un signal sans le déformer comme ce serait le cas, par exemple, pour un amplificateur BF Hi-Fi. On lui demande tout juste de générer des pulses de tension suffisants pour maintenir l'oscillateur en vie. La classe C convient parfaitement.

6. Photos des montages.

La photo de gauche montre un montage Hartley en mode émetteur commun et shunt-fed selon la méthode Manhattan. Sur cette photo, on remarquera que la prise entre les deux inductances est à mise à la masse. Le transistor 2N3904 est à droite. Un régulateur de tension 78L09 est installé à gauche pour alimenter l'oscilloscope.

La figure de droite montre un montage Hartley toujours en mode émetteur commun et series-fed cette fois. Ici on voit que la prise entre les deux inductances est connectée au rail positif. Ici aussi le transistor 2N3904 est à droite et le régulateur de tension à gauche. Dans les deux cas on a installé un gros condensateur de découpage en entrée du circuit. On peut sans doute s'en passer s'il y a de gros condensateurs de filtrage en sortie de l'alimentation. On peut juger de la qualité du signal de sortie sur l'oscillateur. Ce n'est probablement pas parfait mais de prime abord ... ce n'est pas trop mal !



7. Références.

- Tutoriels de www.learnabout-electronics.org sur les oscillateurs
- The Hartley Oscillator <https://www.electronics-tutorials.ws>
- Hartley Oscillator sur ecstudiosystems.com
- Atelier F1IEJ.blogspot.com sur l'oscillateur Hartley
- Oscillateur Hartley sur Wikipedia

Rédigé par LLC le 15/08/2023.