

Réalisation d'un Réflectomètre (TDR)
Schéma électronique et circuit imprimé
Initiation mesure

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

<http://f6kgl.f5kff.free.fr>

Malgré le soin apporté à la rédaction de ce document, l'auteur n'est pas responsable des conséquences entraînées par les erreurs, inexactitudes ou maladroites rencontrées dans ce document. Merci de remonter vos remarques constructives et mises à jour.

Version du document

Version	Date	Commentaires
1.0	05/04/2013	1 ^{ère} Version finalisée : réalisation d'un mini réflectomètre : schéma de principe, schéma électronique, circuit imprimé et quelques exemples d'utilisation.
1.1	01/07/2013	Mises à jour : dimension du circuit imprimé et suppression des accents dans le nom du fichier.

I. Présentation du projet

Le projet considéré est la réalisation d'un réflectomètre simple (TDR en Anglais) et son utilisation pour des mesures sur les câbles. TDR signifie Time Domain Reflectometer, soit en français « réflectomètre dans le domaine temporel ». Le réflectomètre dans le domaine temporel est utilisé par les professionnels pour détecter et localiser des problèmes sur les câbles qui sont souvent enterrés. Dans notre cas, le réflectomètre est un outil pédagogique pour montrer les problèmes de réflexions, d'adaptation d'impédances, etc...

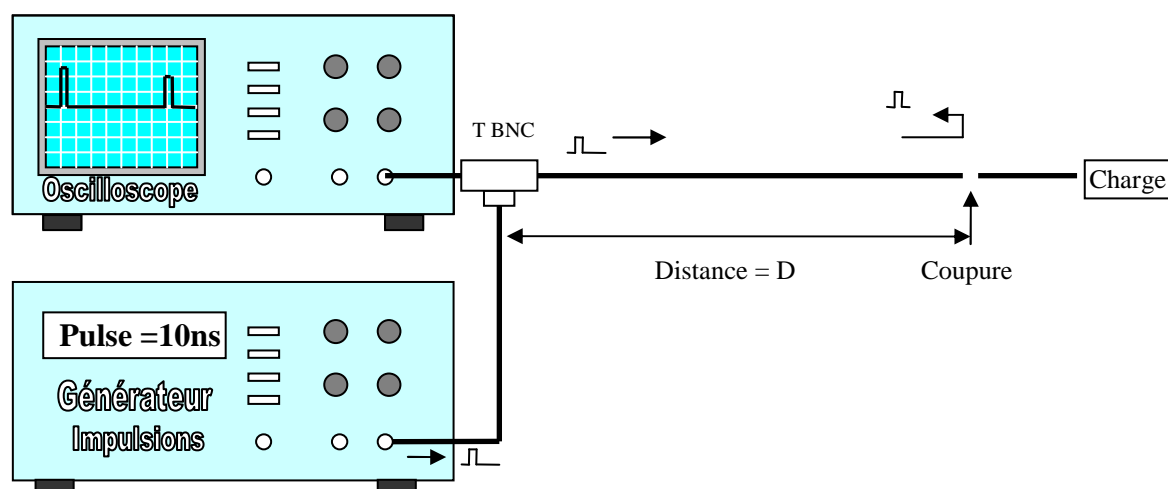
Cet appareil couplé à un oscilloscope permet de connaître :

- à quelle distance se trouve un défaut du câble (court-circuit, coupure, changement d'impédance),
- le coefficient de vélocité (vitesse de propagation) du câble connaissant sa longueur,
- la longueur du câble connaissant le coefficient de vélocité,
- l'impédance caractéristique du câble.

II. Principe de fonctionnement :

Le réflectomètre fonctionne, un peu, comme un radar qui envoie dans l'éther une impulsion électromagnétique de forte puissance à la rencontre d'un éventuel obstacle. Cet obstacle retourne alors un écho (affaibli) qui revient à la station radar quelques nanosecondes après la transmission. Le radar en déduit alors la distance le séparant de l'obstacle connaissant la vitesse de propagation des ondes dans l'air.

D'une manière similaire, le réflectomètre (partie générateur d'impulsions) envoie à intervalles réguliers des impulsions très courtes dans le câble. L'oscilloscope visualise les impulsions transmises à l'entrée du câble ainsi que les éventuelles impulsions de retour (~ écho).



L'observation des impulsions retournées permet de déduire/mesurer :

- l'adaptation en bout de câble,
- la longueur du câble en connaissant le coefficient de vélocité (vitesse de propagation) du câble,

- ou à l'inverse le coefficient de vitesse du câble en connaissant sa longueur,
- l'impédance caractéristique du câble.

La durée, qui sépare l'impulsion transmise de celle de retour, est mesurée sur l'oscilloscope, elle permet de connaître la distance parcourue (distance aller-retour = $2 * D$) si on connaît la vitesse de propagation dans le câble. Ce coefficient est fourni par le fabricant du câble (~ une de ses caractéristiques). Par exemple, le coefficient de vitesse d'un câble RG58 est de 0,66, ce qui signifie que l'impulsion se propage dans le câble à 0,66 fois la vitesse de la lumière soit $0,66 \times 300\,000\text{ km/s} = 19,8\text{ cm}$ par nanoseconde ou 1,98 m en 10 nanosecondes.

Il est bien évident que cet appareil ne peut rivaliser avec des appareils professionnels bien plus coûteux. Cet appareil est plutôt un outil pédagogique qui permet de mieux appréhender et visualiser les problèmes d'adaptation, de puissances directe et réfléchie (par exemple le raccordement d'un émetteur à une antenne au moyen d'un câble (coaxial)).

III. Un réflectomètre professionnel le TDR1502 de Tektronix

Tektronix fabrique des réflectomètres professionnels dans lesquels les parties générateur d'impulsions et oscilloscope sont réunies dans le même boîtier. Actuellement les réflectomètres sont dotés de microcontrôleurs qui permettent une plus grande souplesse et ergonomie d'utilisation. L'écran cathodique est remplacé par un écran LCD. Certains réflectomètres modernes s'interfacent directement avec un ordinateur.

Ci-dessous, un exemple d'un ancien réflectomètre Tektronix TDR1502 avec ses accessoires utilisé par l'auteur. Le réflectomètre est muni en option d'une mini imprimante pour l'impression des mesures. L'essai réalisé ci-dessous est effectué sur un câble court chargé par une impédance supérieure à l'impédance caractéristique du câble, on visualise l'impulsion positive de retour qui s'ajoute à celle émise (câble court).



IV. Trois cas typiques de charge en bout de câble.

Le générateur a une impédance de sortie Z_g adaptée (égale) à l'impédance caractéristique du câble Z_0 (fournie par le constructeur voir en annexe les caractéristiques de quelques câbles).

1. Cas d'un câble non chargé à son extrémité

Dans ce 1^{er} cas, on raccorde une extrémité du câble au réflectomètre, l'autre extrémité est laissée libre.

Sur l'oscilloscope, on visualise l'impulsion générée et après une durée T une impulsion de même polarité avec un affaiblissement qui dépend de la longueur et des pertes du câble.

Une explication simpliste : tout se passe comme si le générateur d'impulsions ne voyant sur sa sortie qu'un câble d'impédance caractéristique Z_0 règle la puissance de l'impulsion émise en fonction de Z_0 . En effet, le générateur « ne sait pas » comment se termine le câble. L'impulsion arrive, après un certain temps, à l'autre extrémité du câble (légèrement affaiblie) et comme il n'y a pas de charge pour dissiper la puissance de l'impulsion, celle-ci s'en retourne vers le générateur avec la même polarité.

Ce phénomène n'est évidemment pas apprécié par le générateur.

On comprend aisément qu'un émetteur de transmission non chargé n'appréciera pas non plus le phénomène même si dans son cas il ne transmet pas des impulsions mais en général une porteuse modulée par l'information à transmettre.

Dans la pratique, cela peut correspondre à une coupure accidentelle d'un câble. Le réflectomètre permet alors de caractériser ce problème et de le localiser (distance séparant le réflectomètre de la coupure du câble).



2. Cas d'un câble chargé par une impédance Z_L égale à son impédance caractéristique

Dans ce 2^{ème} cas, on raccorde une extrémité du câble au réflectomètre, l'autre extrémité est chargée par une impédance égale à l'impédance caractéristique du câble. Sur l'oscilloscope, on ne visualise que l'impulsion générée (aucune impulsion de retour).

Une explication simpliste : tout se passe comme si le générateur d'impulsions ne voyant sur sa sortie qu'un câble d'impédance caractéristique Z_0 règle la puissance de l'impulsion émise en fonction de Z_0 . En effet, le générateur « ne sait pas » comment se termine le câble. L'impulsion arrive, après un certain temps, à l'autre extrémité du

câble (légèrement affaibli) et comme la charge Z_L est parfaitement adaptée, elle dissipe toute la puissance de l'impulsion reçue, elle ne retourne rien !

Ce phénomène est apprécié par le générateur ! Tout est bien dans le meilleur des mondes !

On comprend aisément qu'un émetteur de transmission d'impédance de sortie Z_g égale à l'impédance caractéristique du câble Z_0 et chargé par une impédance Z_L (par exemple une antenne) (égale à Z_0 et Z_g) appréciera cette adaptation parfaite.



3. Cas d'un câble terminé par un court-circuit

Dans ce 3^{ème} cas, on raccorde une extrémité du câble au réflectomètre, l'autre extrémité est mise en court-circuit.

Sur l'oscilloscope, on visualise l'impulsion générée et après une durée T une impulsion de polarité inversée avec un affaiblissement qui dépend de la longueur et des pertes du câble.

Une explication simpliste : tout se passe comme si le générateur d'impulsions ne voyant sur sa sortie qu'un câble d'impédance caractéristique Z_0 règle la puissance de l'impulsion émise en fonction de Z_0 . En effet, le générateur « ne sait pas » comment se termine le câble. L'impulsion arrive, après un certain temps, à l'autre extrémité du câble (légèrement affaibli) et le court-circuit ne peut dissiper la puissance mais en redemande plus !

Ce phénomène n'est pas apprécié par le générateur !

Dans la pratique, cela peut correspondre à une coupure accidentelle ou à un écrasement d'un câble qui a créé un court-circuit. Le réflectomètre permet de caractériser ce problème et de le localiser (distance séparant le réflectomètre de la coupure du câble).



4. Le phénomène de réflexion

Le phénomène de réflexion d'une impulsion dans un câble est décrit par la formule suivante qui donne le coefficient de réflexion vue coté charge :

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Avec

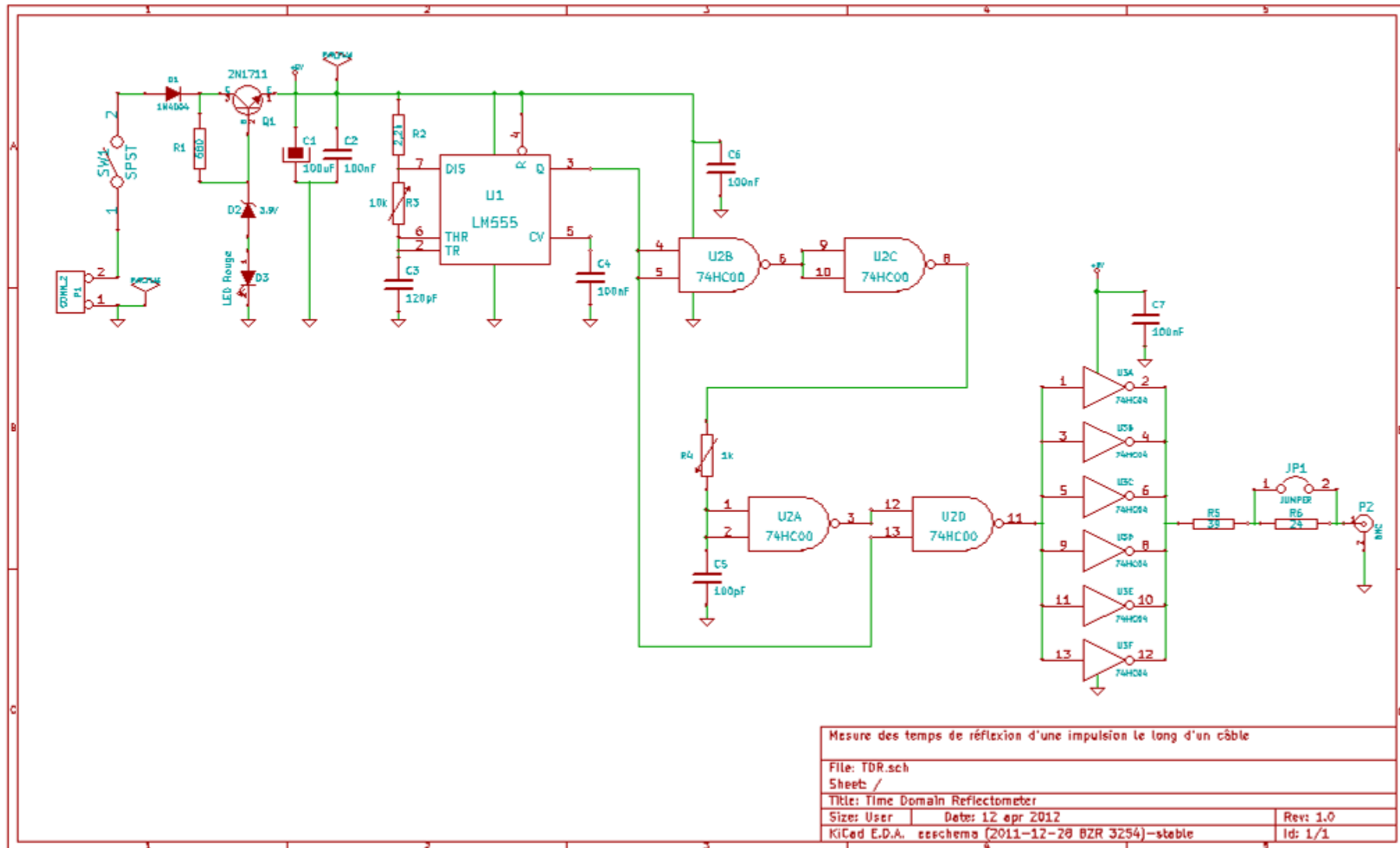
Z_L = l'impédance de charge en bout de câble

Z_0 = l'impédance caractéristique du câble (fourni par le fabricant).

D'où pour les 3 cas extrêmes ci-dessus :

- $Z_L = \infty \rightarrow$ le coefficient de réflexion est égal à 1 \rightarrow **réflexion totale positive dans le cas du câble non chargé.**
- $Z_L = Z_0 \rightarrow$ le coefficient de réflexion est égal à 0 \rightarrow **pas de réflexion dans le cas d'une impédance de charge égale à l'impédance caractéristique du câble (charge adaptée),**
- $Z_L = 0 \rightarrow$ le coefficient de réflexion est égal à - 1 \rightarrow **réflexion totale négative dans le cas du court-circuit en bout de câble.**

V. Le schéma électronique (réalisé par Kicad)



Le réflectomètre (partie générateur d'impulsions) fonctionne suivant le principe mentionné dans le chapitre précédent, il génère à intervalles réguliers des impulsions très courtes de l'ordre de quelques nanosecondes.

Pour produire ces impulsions, il est fait appel à des composants classiques suivant le schéma électronique ci-dessus.

Le circuit intégré U1, un classique temporisateur « NE555 », monté en multivibrateur astable, génère des signaux rectangulaires à une fréquence d'environ 250 kHz avec un rapport cyclique proche de 50%. Le potentiomètre R3 permet de régler (légèrement) la fréquence de sortie de ce signal rectangulaire.

Ce signal rectangulaire est retravaillé par un ensemble de portes Nand rapides contenues dans le circuit intégré U2 (74HC00) pour produire une impulsion de l'ordre de quelques nanosecondes, cette durée est réglable (légèrement) par le potentiomètre R4.

Le signal de sortie (patte n° 11 de U2) est tamponné (~ amplificateur de puissance) par 6 portes inverseuses (circuit U3 (74HC04)) montées en parallèle pour augmenter la puissance de sortie et diminuer l'impédance de sortie.

Le cavalier (Jumper) JP1 permet de sélectionner une impédance de sortie la plus proche possible des 2 impédances standards des câbles 50 Ω et 75 Ω :

- cavalier installé → impédance de sortie = 50 Ω
- cavalier retiré → impédance de sortie = 75 Ω

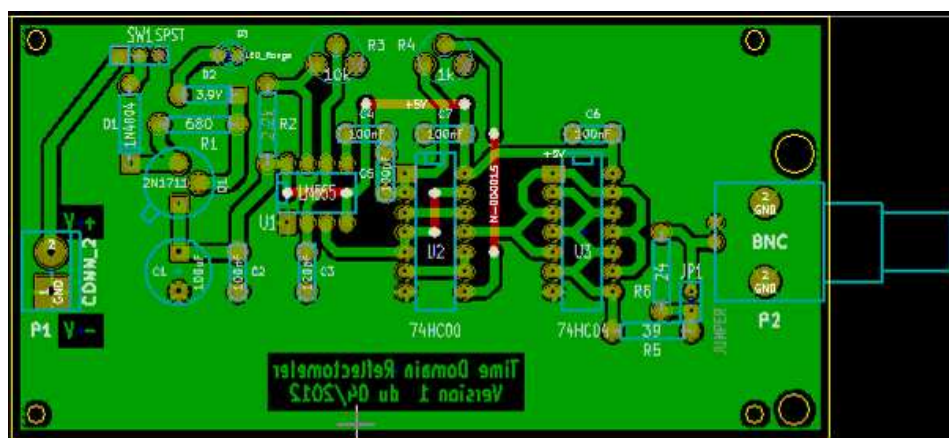
L'alimentation des circuits intégrés s'effectue en 5 Volts de manière classique à partir d'une pile de 9V. La diode D1 supprime les risques d'inversion de polarité de la pile. La stabilisation de l'alimentation est effectuée par le transistor T1 (2N1711 ou tout autre transistor NPN similaire) dont la tension de base est stabilisée à 5,6V environ par la mise en série d'une diode zener de 3,9V et d'une led rouge ayant une chute de tension directe d'environ 1,7 volts. On retrouve ainsi sur l'émetteur du transistor T1 environ 5V (tension de la base – tension de la jonction émetteur-base de 0,6V).

Remarque : lors de mesures sur des câbles courts le réflectomètre doit générer une impulsion d'une durée très courte permettant de visualiser une éventuelle impulsion de retour très rapprochée. Par contre, lors de mesure sur des câbles longs, le réflectomètre doit générer une impulsion d'une durée plus grande (puissance plus grande) pour que l'éventuelle impulsion de retour affaiblie par les pertes du câble soit encore détectable. C'est la raison d'être du réglage par potentiomètre de la largeur des impulsions générées.

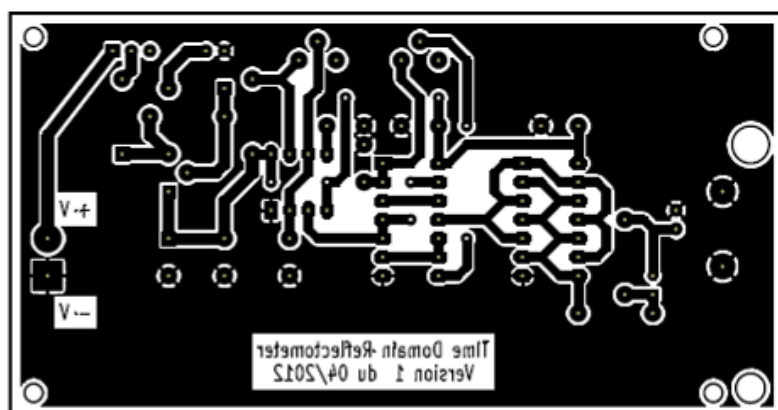
Liste des composants (réalisée par Kicad)

Référence	Valeur
C1	100uF 16V
C2	100nF
C3	120pF
C4	100nF
C5	100pF
C6	100nF
C7	100nF
D1	1N4004
D2	3,9V
D3	LED Rouge
JP1	JUMPER
P1	CONN_2
P2	BNC
Q1	2N1711 ou NPN similaire
R1	680
R2	2,2k
R3	10k
R4	1k
R5	39
R6	24
SW1	SPST
U1	LM555
U2	74HC00
U3	74HC04

Le circuit imprimé sous Kicad avec l'emplacement des composants

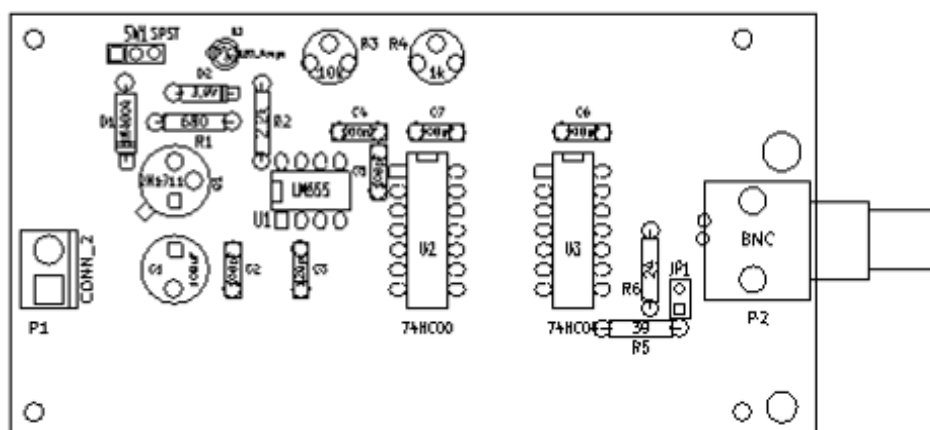


Le circuit imprimé sous Kicad

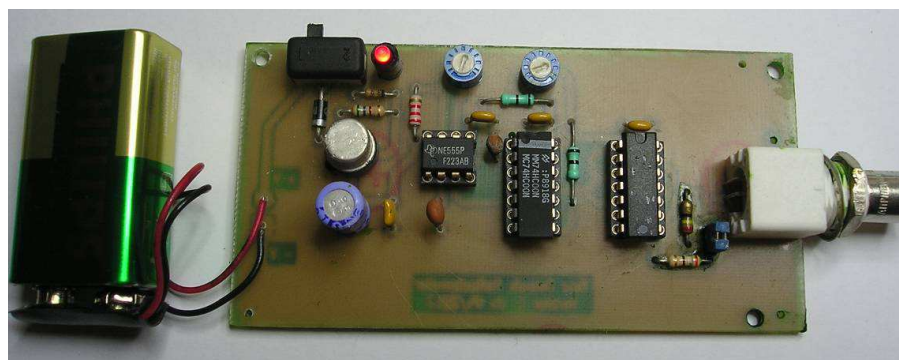


Les dimensions du contour du circuit imprimé : longueur 10,7 cm, largeur 5,5 cm.
Pour se servir du dessin ci-dessus comme typon : le mettre aux bonnes dimensions.

L'emplacement des composants



Le circuit imprimé terminé avec les composants implantés.
Les circuits intégrés sont montés sur des supports (pas nécessaires).



Pour une initiation à Kicad pour la réalisation d'un schéma électronique et le dessin du circuit imprimé correspondant, voir le site du radio-club.
Les fichiers Kicad du schéma électronique et du dessin du circuit imprimé sont disponibles sur le site de radio-club.

VI. Réalisation d'une charge 0 à 100 Ohms

La charge est réalisée à partir d'un potentiomètre à variation linéaire non inductif (non bobiné). Un petit circuit imprimé double faces a été réalisé aux dimensions d'un boîtier en aluminium du commerce. La face inférieure du circuit imprimé sert de plan de masse et la face supérieure n'a qu'une piste d'une largeur de 2,5 mm (impédance de 50 Ohms). Une des extrémités de la piste est raccordée à un connecteur de type BNC fixé sur le boîtier par 4 vis et l'autre extrémité de la piste est reliée à un connecteur 3 broches (la broche du milieu sert à raccorder l'âme du câble coaxial ; les 2 autres broches sont reliées à la masse). Le potentiomètre est fixé sur la face avant par un écrou.

La valeur de 100 Ω du potentiomètre a été choisie pour couvrir la majorité des câbles de type 50 Ω et 75 Ω . Pour tester d'autres types de câbles il faudra adapter la valeur.

Photos d'un exemple de réalisation de la charge :

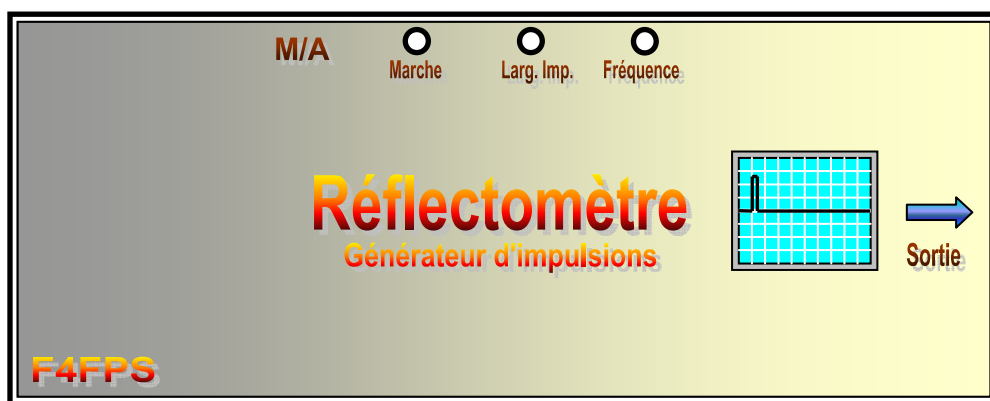


VII. Faces avant

Chaque face avant a été réalisée simplement par une impression couleur sur une feuille de papier standard et colée par un autocollant double-faces sur le boîtier. Puis elle a été protégée par une feuille autocollante de plastique transparent. Il est bien évident que cela reste fragile mais donne un look sympathique.

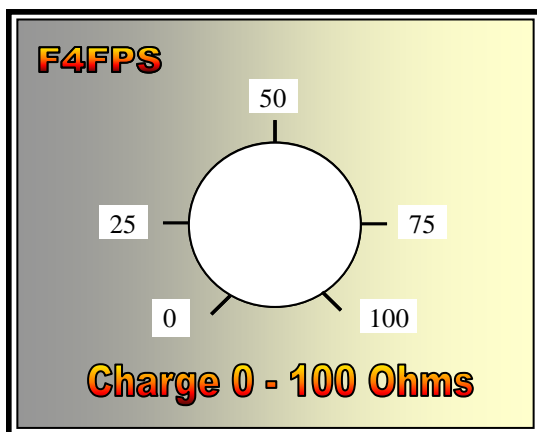
1. Réflectomètre

Dans notre exemple, la face avant a une taille d'environ 5 cm de largeur et 13 cm de longueur et a été dessinée avec Word – dessins (Microsoft).



2. Charge 0 à 100 Ohms

Dans notre exemple, la face avant a une taille d'environ 7,3 cm de largeur et 5,5 cm de longueur et a été dessinée avec Word – dessins (Microsoft). Le boîtier est référencé 2/B.1 de Teko (marque déposée).

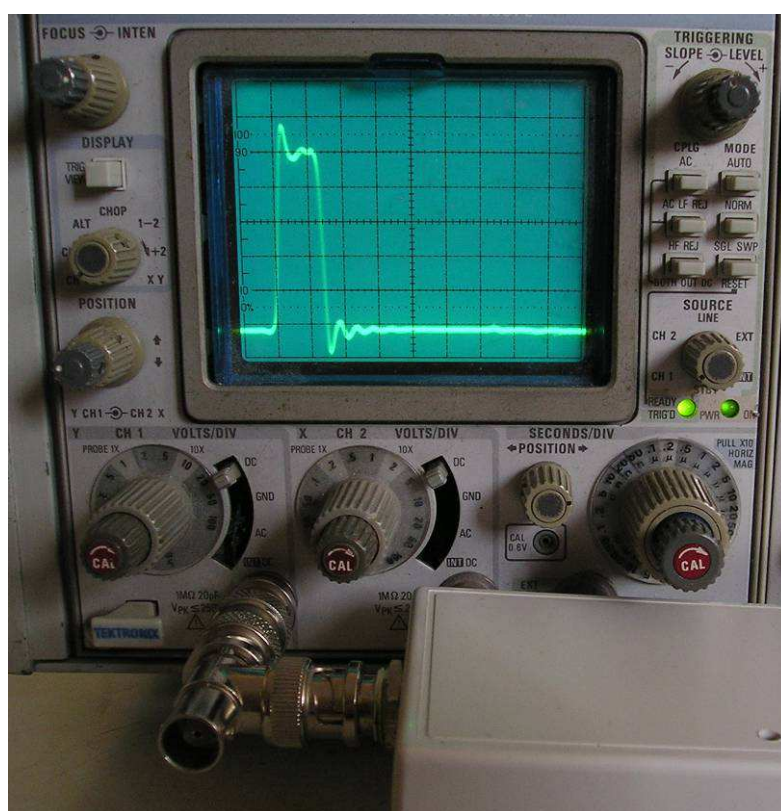


VIII. Utilisation : quelques exemples d'oscillogrammes

1. Sortie du réflectomètre sans câble

L'oscillogramme ci-dessous montre le signal de sortie du réflectomètre sans raccordement à un câble. L'oscilloscope Tektronix SC504 (bande passante 80 MHz) est réglé de la manière suivante :

- affichage : 1 seul canal (n°1),
- déviation verticale du canal 1 : 1 V par carreau en mode courant continu (DC),
- base de temps réglée sur 20 ns / carreau : calibre 0,2 μ S avec la loupe x 10),
- déclenchement du balayage (triggering) : automatique sur le canal n°1.

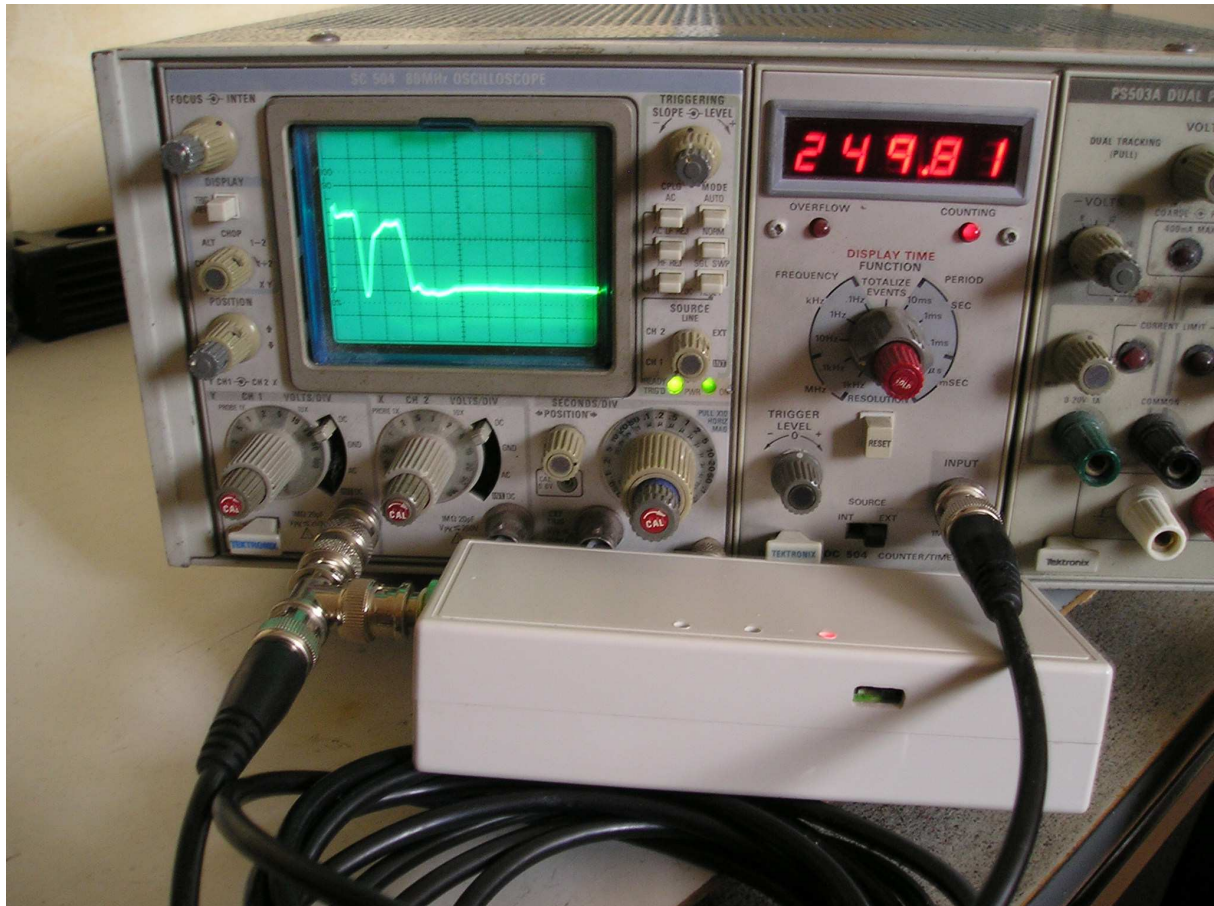


L'impulsion d'une durée de 25 ns environ a une amplitude de 5V avec une légère oscillation.

2. Raccordement d'un câble court non chargé

La sortie du réflectomètre est raccordée à un câble de type RG58 non chargé (en réalité le câble est branché sur l'entrée « haute impédance » du fréquencemètre Tektronix DC504 qui indique une fréquence de 249,81 kHz).

Sur l'oscilloscope, on observe l'impulsion positive de retour à la suite de l'impulsion transmise. La durée, qui sépare les 2 impulsions, permet de déterminer la longueur du câble connaissant le coefficient de vélocité du câble (ici 0,66 pour du RG58).



Remarque : la face avant du réflectomètre n'était pas encore posée.

3. Exemples d'un câble RG58 ($50\ \Omega$) de 5 m relié à la charge

a. Réglages de l'oscilloscope

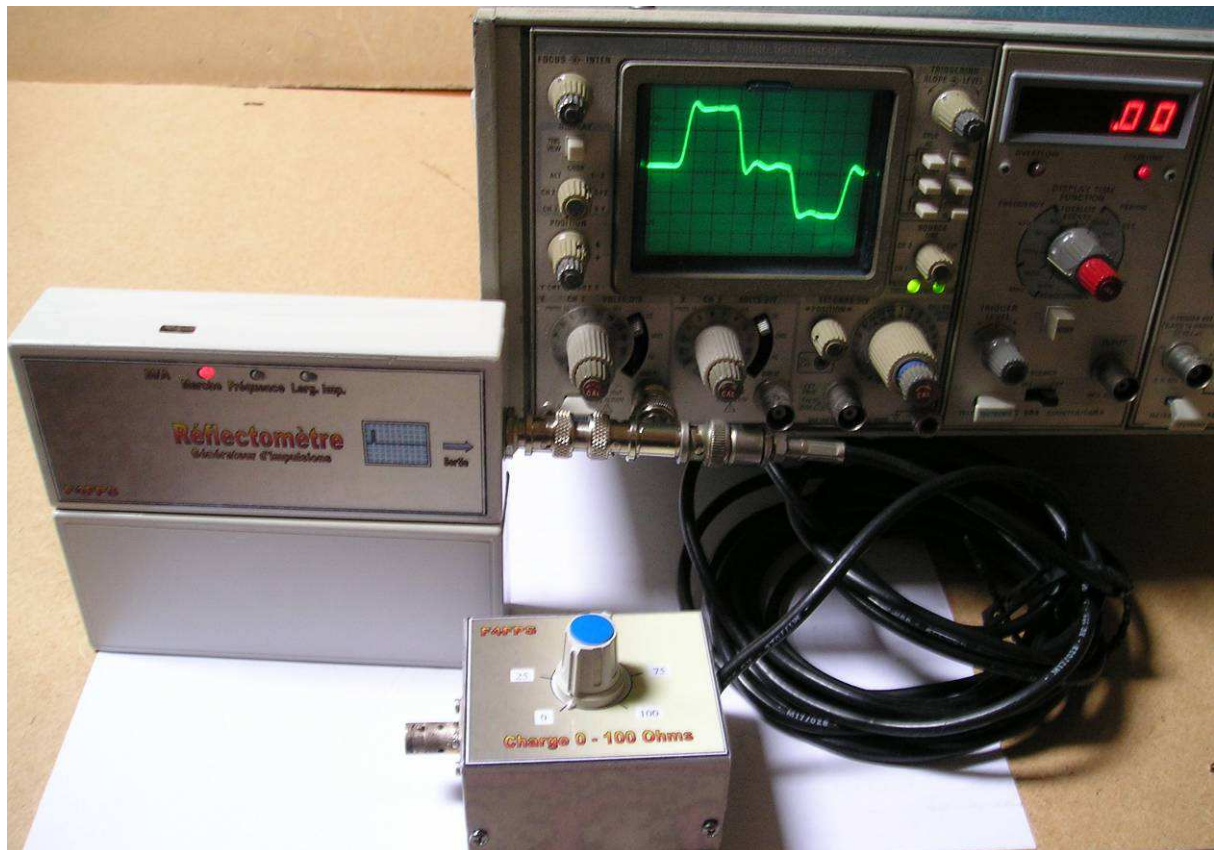
L'oscilloscope Tektronix SC504 est réglé de la manière suivante :

- tous les boutons sont en position « **calibré** »,
- affichage : **1 seul canal** (n°1),
- déviation verticale du canal 1 : **1 V par carreau** en mode courant continu (**DC**),
- base de temps réglée sur **10 ns / carreau** : calibre $0,1\ \mu\text{S}$ avec la loupe x 10,
- déclenchement du balayage (triggering) : **automatique** sur le canal n°1.

b. Câble en court-circuit (= Charge réglée sur 0 Ω)

Pour simuler un court-circuit en bout de câble, le potentiomètre est réglé sur la valeur 0 Ω .

On observe sur l'oscilloscope une impulsion négative de retour atténuée et séparée de 51 nanosecondes de l'impulsion d'origine du réflectomètre (voir la photo ci-dessous).



c. Câble chargé par une résistance de 100 Ω

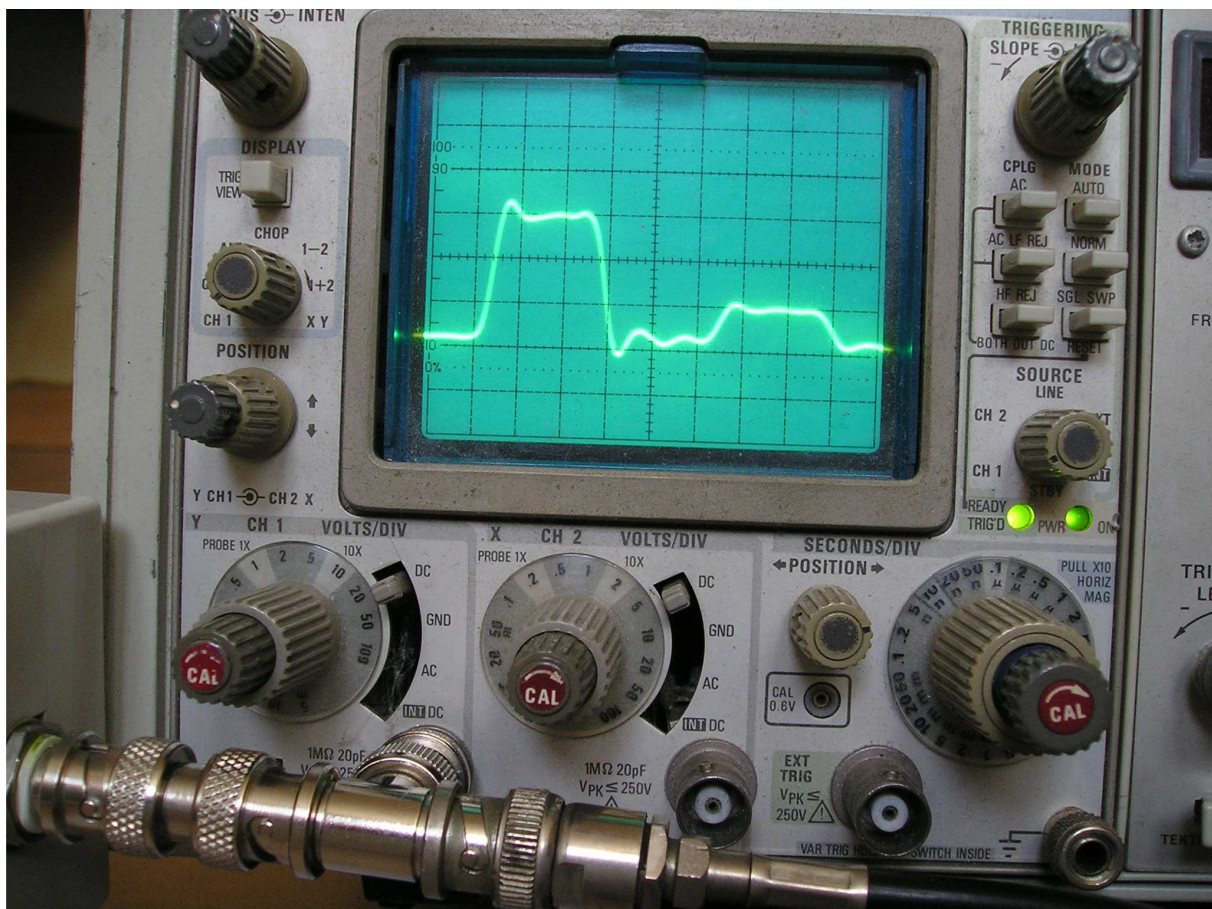
Le potentiomètre est réglé sur la valeur 100 Ω qui est une valeur supérieure à l'impédance caractéristique de 50 Ω du câble RG58.

On observe sur l'oscilloscope une impulsion positive de retour atténuée et séparée de 51 nanosecondes de l'impulsion d'origine du réflectomètre (voir la photo ci-dessous).

Sachant que le câble est de type RG58 et que son coefficient de vélocité est de 0,66, l'impulsion se déplace dans le câble à la vitesse de 19,8 cm par nanoseconde (voir le chapitre « Principe de fonctionnement »). La distance aller-retour parcourue est de $19,8 * 51 = 1010 \text{ cm} = 10,10 \text{ m}$. La longueur du câble est donc $10,10 / 2 = 5,05 \text{ m}$ (ce qui est bien la longueur du câble de notre exemple). C'est rassurant !!!

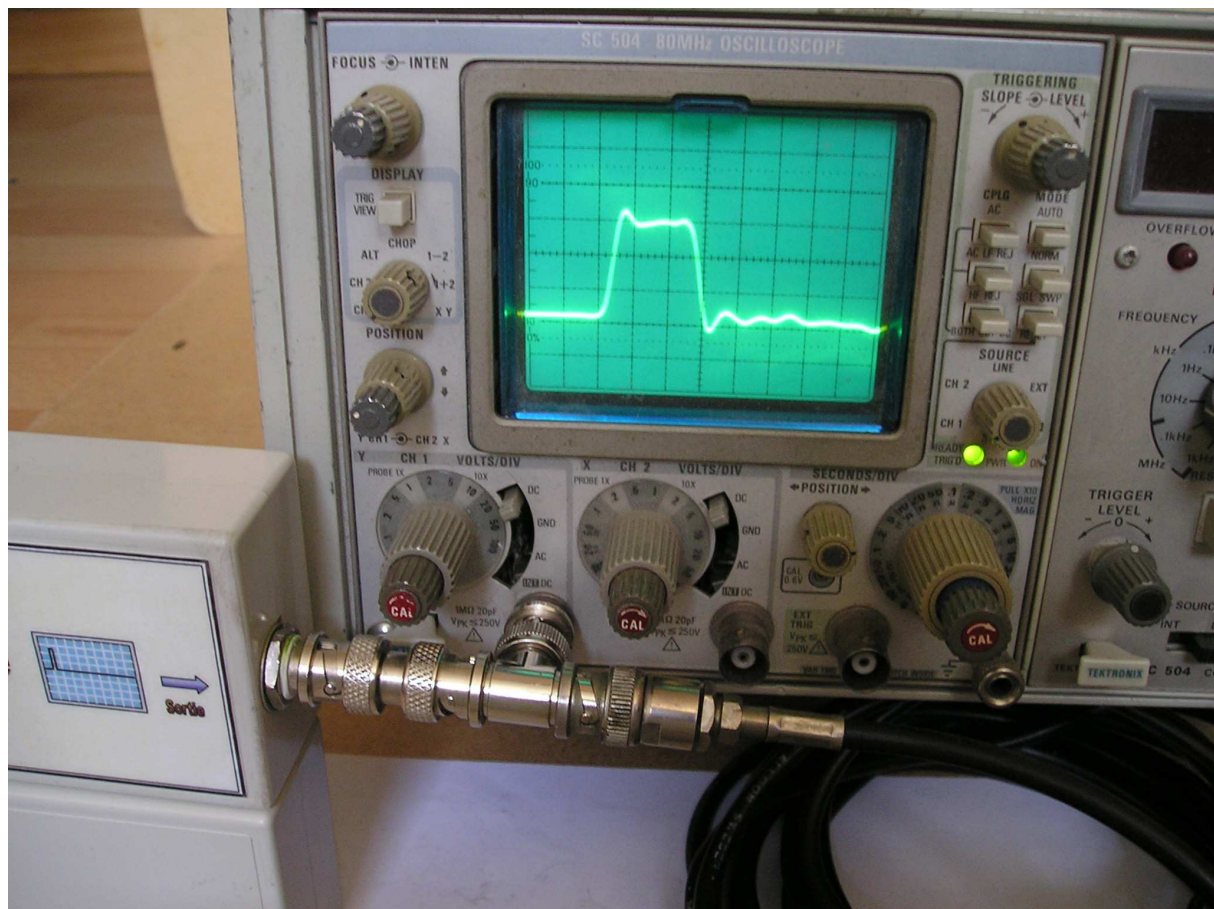
D'autre part, si on observe l'amplitude de l'impulsion de retour par rapport à celle d'origine, elle est d'environ $1/3 = 0,33$. Ce qui est conforme au coefficient de réflexion calculé au niveau de la charge (extrémité du câble) :

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{100 - 50}{100 + 50} = \frac{50}{150} = \frac{1}{3} = 0,33. \text{ C'est rassurant !!!}$$



d. Câble chargé par une résistance égale à son impédance caractéristique

Dans notre exemple l'impédance caractéristique du câble utilisé RG58 est de 50 Ohms. Le potentiomètre de la charge est réglé de telle manière qu'on ne détecte plus aucune impulsion de retour (positive ou négative) sur l'oscilloscope, le réglage est assez pointu. On mesure alors la résistance du potentiomètre qui est alors d'environ 50 Ohms. Ce qui correspond à l'impédance caractéristique du câble. C'est parfait !!!



IX. Déduire l'impédance caractéristique d'un câble

Il est possible de déduire l'impédance caractéristique d'un câble d'une manière simple grâce au réflectomètre :

- Raccorder une des extrémités du câble au réflectomètre et l'autre extrémité à la charge,
- Régler le potentiomètre de telle manière qu'à l'oscilloscope on n'observe plus d'impulsion de retour (négative ou positive),
- La valeur de la résistance du potentiomètre ainsi réglée est égale à l'impédance caractéristique du câble.

X. Calculer le coefficient de vitesse d'un câble

Il est possible de calculer le coefficient de vitesse d'un câble d'une manière simple grâce au réflectomètre :

- Raccorder une des extrémités du câble au réflectomètre et l'autre extrémité à la charge,
- Régler le potentiomètre de telle manière qu'à l'oscilloscope on observe une impulsion de retour bien nette (négative ou positive),
- Mesurer la longueur du câble dans notre cas 5 mètres. Soit une distance aller retour de 10 mètres,
- Mesurer la durée séparant l'impulsion de retour de celle d'origine. Exemple dans notre cas 51 nanosecondes,
- Le coefficient de vitesse du câble est :

$$\begin{aligned}\text{Coefficient} &= \frac{\text{Vitesse dans le câble}}{\text{Vitesse de la lumière en mètres}} = \frac{\text{Vitesse dans le câble}}{3 * 10^8} \\ \text{Vitesse dans le câble} &= \frac{\text{Distance aller-retour}}{\text{Durée de parcours aller-retour}} = \frac{10}{51 * 10^{-9}} = \frac{10^{+10}}{51} \\ \text{Coefficient} &= \frac{10^{+10}}{51} * \frac{1}{3 * 10^8} = \frac{10^{+2}}{153} = \frac{100}{153} = 0,65\end{aligned}$$

Ainsi on retrouve un coefficient de vitesse très proche de celui donné par le constructeur avec des moyens simples. C'est quand même pas mal !!!

XI. Calculer la longueur d'un câble

Il est possible de déterminer facilement la longueur d'un câble assez long (pour diminuer les imprécisions) en connaissant le coefficient de vitesse du câble :

- Raccorder une des extrémités du câble au réflectomètre,
- Mettre l'autre extrémité en court-circuit,
- Mesurer la durée séparant l'impulsion de retour de celle d'origine. Exemple dans notre cas 51 nanosecondes,
- La longueur L du câble est calculée de la manière suivante :

$$L = \frac{\text{Longueur du câble Aller/Retour}}{2} = \frac{L_{A/R}}{2}$$

$$L_{A/R} = \text{vitesse dans le câble} * \text{durée du trajet aller-retour.}$$

$L_{A/R}$ = coefficient de vélocité * vitesse lumière * durée du trajet aller-retour.

Soit dans notre cas avec :

- un coefficient de vélocité = 0,66
- une durée = 51 ns
- la vitesse de la lumière = 300 000 Km/s = 300 000 000 m/s = $3 * 10^8$ m/s.

$$L_{A/R} = 0,66 * 3 * 10^8 * 51 * 10^{-9} = 0,66 * 3 * 51 * 10^{-1} = 10,98 \text{ m.}$$

D'où la longueur du câble $L = L_{A/R} / 2 = 10,98 / 2 = 5,049 \text{ m.}$

Ce qui n'est pas mal pour un appareillage aussi simple.

XII. Caractéristiques des principaux câbles

Référence	Impédance en Ω	Diamètre en mm	Coefficient de vitesse	Capacité en pF/m	Atténuation en db à			Diélectrique
					30 MHz	100 MHz	400 MHz	
RG-5/U	52.5	8.432	0.66	93.5	6.2	8.8	19.4	Polyéthylène
RG-5B/U	50	8.432	0.66	96.78	6.2	7.9	19.4	Polyéthylène
RG-6A/U	75	8.432	0.66	67	6.2	8.9	19.4	Polyéthylène
RG-7/U	50	7.5	0.80	41		7.8	17.0	
RG-8/U	52	10.3	0.66	97	4.7	6.25	13.4	Polyéthylène
RG-8A/U	50	10.3	0.66	100	4.7	6.2	13.4	Polyéthylène
RG-11/U	75	10.3	0.66	67.2	5.3	7.5	15.8	Polyéthylène
RG-11/U	75	10.3	0.80	55.4				Polyéthylène expansé
RG-11A/U	75	10.3	0.66	67.5	4.0	7.5	15.7	Polyéthylène
RG-11A/U	75	10.3	0.66	68.0	4.0	7.5	15.7	Polyéthylène
RG-58/U	50	5.0	0.66	95.0		16.1	39.5	Polyéthylène
RG-58A/U	53.5	4.96	0.66	93.5	10.9	16.0	39.4	Polyéthylène
RG-58B/U	53.5	4.96	0.66	93.5		15.1	34.4	Polyéthylène
RG-58C/U	50	4.95	0.66	100	10.9	16.1	39.4	Polyéthylène
RG-59/U	73	6.2	0.66	68.6	7.9	11.2	23.0	Polyéthylène
RG-59/U	75	6.2	0.79	55.5				Polyéthylène expansé
RG-59A/U	75	6.2	0.66	67.3	7.9	11.2	23.0	Polyéthylène
RG-59B/U	75	6.20	0.66	67.0	7.9	11.2	23.0	Polyéthylène
RG-62/U	93	6.2	0.84	44.3	5.7	8.86	17.4	Polyéthyl. + air
RG-62/U	95	6.2	0.79	44.0				Polyéthylène expansé
RG-62A/U	93	6.2	0.84	44.3	5.7	8.86	17.4	Polyéthyl. + air
RG-62B/U	93	6.2	0.86	46.0		9.51	20.34	Polyéthyl. + air
RG-174/U	50	2.55	0.66	101	17.0	29.2	57.4	Polyéthylène
RG-174A/U	50	2.54	0.66	100	21.7	29.2	57.4	Polyéthylène
RG-213/U	50	10.3	0.66	97	3.2	6.25	13.5	Polyéthylène
RG-213/U	50	10.3	0.66	97	3.2	6.0	13.0	Polyéthylène
RG-214/U	50	10.80	0.66	100	4.9	7.6	16.4	Polyéthylène
RG-214US	50	10.80	0.66	101	3.2	5.7	13.0	Polyéthylène
RG-215/U	50	2.1	0.66	101	4.3	6.2	13.5	Polyéthylène
RG-216/U	75	10.80	0.66	67	5.3	7.6	15.8	Polyéthylène
RG-223/U	50	5.3	0.66	101	10.5	15.8	32.8	Polyéthylène
Aircom+	50	10.3	0.84	84	1.8	3.3	7.4	Polyéthyl. + air
Aircell-7	50	7.3	0.83	74	3.7	6.9		Polyéthyl. + air
H1000	50	10.3	0.83					
H2000	50	10.3	0.799	81.6	2.20			Polyéthylène expansé
1275	75	6.7	0.80					
7575	75	5.3	0.80					
SC85	75	6.7	0.80					

Voir le (très bon) site de F6CRP pour un tableau plus complet.

XIII. Conclusion

Le mini réflectomètre a permis de mettre en évidence les problèmes d'adaptation d'impédances en les visualisant sur un oscilloscope d'une manière pédagogique. En effet, lorsque l'adaptation des impédances :

- de sortie du réflectomètre (ou de l'émetteur),
- du câble,
- de la charge (ou de l'antenne),

n'est pas réalisée, des problèmes de réflexion apparaissent.

Ce qui signifie qu'en cas de désadaptation des impédances, une partie de l'énergie transmise par le réflectomètre/émetteur à la charge/antenne n'est pas consommée par celle-ci et qu'elle est retournée à l'émetteur et perturbe son fonctionnement (ou dans un cas extrême entrainer la destruction de l'étage de sortie de l'émetteur).

Cet aspect d'adaptation d'impédances est vraiment un point critique à prendre en compte par tout radioamateur, il serait en effet dommage de perdre une partie de la puissance produite par l'émetteur et non transmise (consommée) par l'antenne et même entraînée la destruction de l'émetteur.

D'autre part, avec un appareillage aussi simple, il est possible de déterminer :

- la longueur d'un câble (long) sans le mesurer avec un mètre en connaissant le coefficient de vélocité du câble,
- le coefficient de vélocité du câble en connaissant sa longueur,
- l'impédance caractéristique du câble.

Remarque : il est possible de réaliser les mêmes mesures avec un générateur d'impulsions ou un générateur de fonctions, en le paramétrant pour générer des impulsions d'environ 500 kHz à 1 MHz avec une durée d'impulsion faible aux environs d'une dizaine de nanosecondes (« duty » réglée sur quelques pourcents).

Table des matières

I.	PRESENTATION DU PROJET	I-3
II.	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	II-3
III.	UN REFLECTOMETRE PROFESSIONNEL LE TDR1502 DE TEKTRONIX	III-4
IV.	TROIS CAS TYPQUES DE CHARGE EN BOUT DE CABLE.....	IV-5
1.	CAS D'UN CABLE NON CHARGE A SON EXTREMITÉ.....	IV-5
2.	CAS D'UN CABLE CHARGE PAR UNE IMPEDANCE Z_L EGAL A SON IMPEDANCE CARACTERISTIQUE	IV-5
3.	CAS D'UN CABLE TERMINE PAR UN COURT-CIRCUIT	IV-6
4.	LE PHENOMENE DE REFLEXION	IV-7
V.	LE SCHEMA ELECTRONIQUE (REALISE PAR KICAD)	V-8
VI.	REALISATION D'UNE CHARGE 0 A 100 OHMS	VI-12
VII.	FACES AVANT	VII-13
1.	REFLECTOMETRE.....	VII-13
2.	CHARGE 0 A 100 OHMS	VII-13
VIII.	UTILISATION : QUELQUES EXEMPLES D'OSCILLOGRAMMES	VIII-14
1.	SORTIE DU REFLECTOMETRE SANS CABLE	VIII-14
2.	RACCORDEMENT D'UN CABLE COURT NON CHARGE	VIII-14
3.	EXEMPLES D'UN CABLE RG58 ($50\ \Omega$) DE 5 M RELIE A LA CHARGE	VIII-15
a.	<i>Réglages de l'oscilloscope</i>	<i>VIII-15</i>
b.	<i>Câble en court-circuit (= Charge réglée sur $0\ \Omega$)</i>	<i>VIII-16</i>
c.	<i>Câble chargé par une résistance de $100\ \Omega$</i>	<i>VIII-17</i>
d.	<i>Câble chargé par une résistance égale à son impédance caractéristique</i>	<i>VIII-18</i>
IX.	DEDUIRE L'IMPEDANCE CARACTERISTIQUE D'UN CABLE.....	IX-19
X.	CALCULER LE COEFFICIENT DE VELOCITE D'UN CABLE.....	X-19
XI.	CALCULER LA LONGUEUR D'UN CABLE.....	XI-19
XII.	CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX CABLES	XII-21
XIII.	CONCLUSION	XIII-22