

A Calibration approach of the SWR bridge for VHF-UHF and up

Bachir 7X2RF & Jacques F6TEM

E : The followings are a set of practical measurements and calibration experience putting the homebrew SWR Bridge at work (ref : <http://www.ham-hyper.com> « Designing SWR bridges for VHF/UHF »).
Thanks to the Web, it was great to exchange ideas over the Mediterranean sea.

F : Les lignes qui suivent reflètent expérimentations pratiques et tentative de calibration sur le SWR bridge déjà décrit dans Ham-hyper.com.
C'est une grande facilité de pouvoir échanger, grâce au Web, des idées par-dessus la Méditerranée.



E : The hardware at 7X2RF before doing the assembly.

F : Les différents constituants chez 7X2RF avant assemblage.

Nb : Comme habituellement dans le domaine technique et pour éviter la confusion, certains termes techniques seront exprimés en anglais.



E : HAMEG tracking generator is feeding the bridge. Bridge output is connected to the spectrum analyzer input ...it's the classical scalar network analyser configuration.

DUT bridge connector is open giving a full reflection (0 dB Return Loss)

F : Le générateur de poursuite HAMEG alimente le SWR bridge. La sortie du pont est connectée à l'entrée de l'analyseur de spectre en configuration classique (analyse scalaire).

Le connecteur DUT ouvert donne une réflexion totale (0 dB Return Loss).



E : The SWR bridge is now loaded by 50Ω at the DUT port. The difference between the two pictures is the real balance of the measurement set (scale is 10dB/Div).

With a bridge balanced up to 40 dB, limit is a 1 % VSWR measurement ...not too bad !

F : Le pont est maintenant terminé par 50Ω au connecteur DUT(Device Under Test). La différence entre ces deux images est la balance du système de mesure (échelle 10dB/Div).

Avec 40 dB de Balance, la limite de mesure est un coefficient de réflexion de 1%...pas si mal !

E : please note that the job may also be done using no more than a modulated abt. 1KHz generator together and a sensitive detector + LF filter to increase the dynamic range 40 to 50 dB. An efficient way may be as crude as a low power VHF/UHF transceiver and resistive attenuator (no more than 100mW in the bridge). The sweep would be manual or by automatic band scanning option. The repeater Tune may work fine.

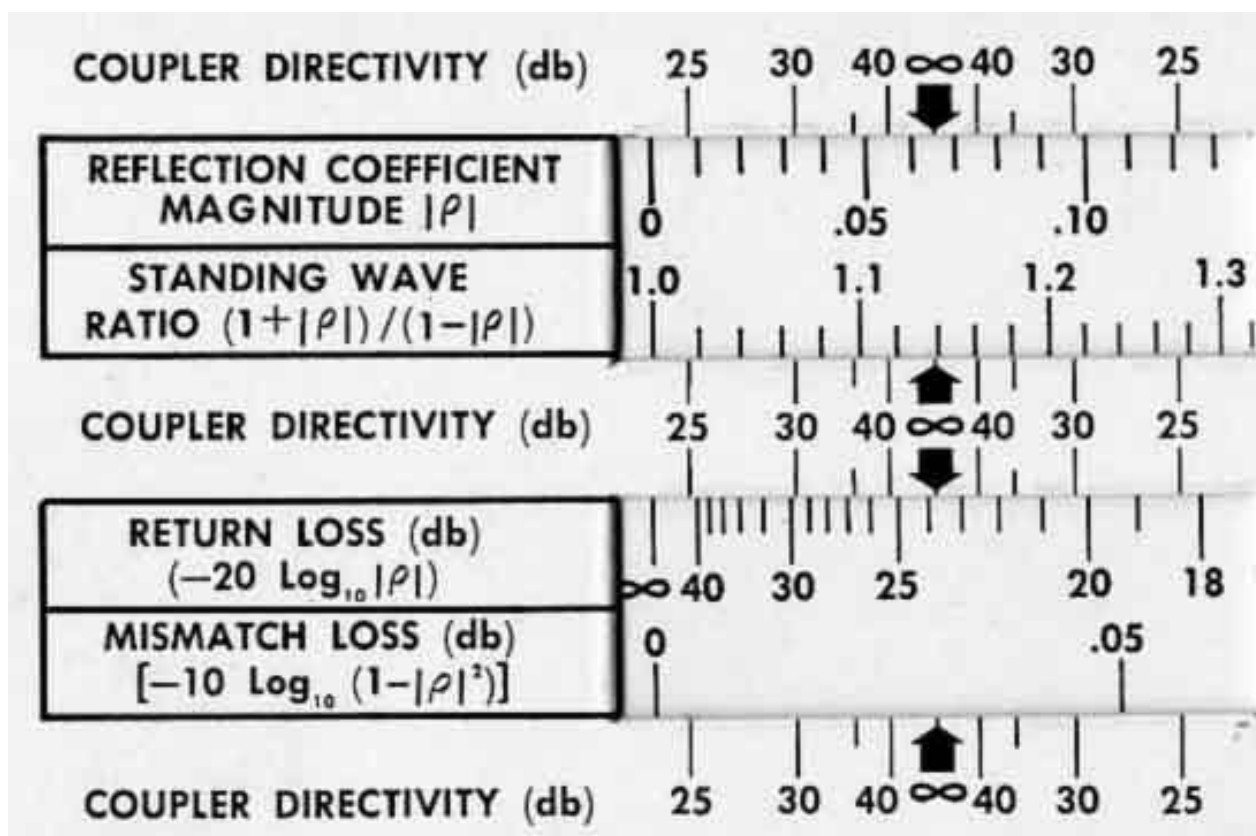
F : A noter que le pont peut être utilisé de manière économique avec un générateur modulé à environ 1 KHz et un détecteur sensible + filtre basse fréquence afin d'obtenir une gamme dynamique de quelques 40 à 50 dB. Une manière encore plus efficace est d'utiliser un transceiver VHF/UHF avec un atténuateur résistif (pas plus de 100 mW dans le pont). Le balayage en fréquence peut être manuel ou avec option automatique. La tonalité de déclenchement pour relais FM peut être utilisée.

E : What is the importance of the best Balance characteristic at the SWR Bridge ?

The following picture gives immediatly the accuracy limits of measurement. As a first approach, dont believe too much at wonderfull results, check and check again orders of magnitude before.

F : Quelle est l'importance de la meilleure balance possible du SWR bridge ?

La figure suivante donne immédiatement les limites de précision de mesure en fonction de la balance du pont. Comme première approche, ne pas croire les résultats flatteurs, vérifier et revérifier les ordres de grandeur auparavant.



Placer la valeur du VSWR ou RL face à la flèche « infini ». La fourchette de valeur effective est donnée pour une directivité de 25,30,35,40dB.

E : What we need now for calibration is a set of OPEN, SHORT, LOAD...How to build them ?

F : Ce qui est nécessaire maintenant pour calibrer est un jeu de références OPEN, SHORT, LOAD...Comment les réaliser ?

E : First of all, please have again a look at Coaxial lines booklet/ General Radio on Ham-hyper.com..Most of the needed information is inside. HP application Notes (hpmemory.org) as well as Time Domain Reflectometry (TDR) from Tektronix or Picosecond Pulse Labs notes are really valuable help.... Never be afraid to use the Past ;-)

F : Tout d'abord, jeter un œil au petit fascicule Coaxial lines / General radio sur ham-hyper.com. La plupart des informations nécessaires y sont. Les notes d'application HP (hpmemory.org) mais aussi la Réflectométrie dans le domaine temps (TDR) chez Tektronix ou Picosecond Pulse Labs sont des aides précieuses. Ne jamais être effrayé à s'appuyer sur le passé ;-).

LOAD device

E : is built with respect to the classical coaxial line equation. Be careful with diameter correction to be applied with or without dielectric (ϵ_r of PTFE is 2.1). This transition area may become a launcher for guided modes. Be also careful with created cavities in the structure. Resistor would be small cylindrical SMD like Siemens MEFL or a standard SMD chip would be used in a small stripline configuration. The smaller size and connections the better behaviour at microwaves.

F : construit en respectant la classique équation des lignes coaxiales. Appliquer la correction pour les diélectriques autre que l'air (ϵ_r PTFE est 2.1). Ces zones de transitions peuvent devenir des lanceurs de modes guidés aussi la tendance chez les fabricant est de mettre un minimum de diélectrique. Attention aussi aux petites cavités créées. La résistance de charge peut être un modèle cylindrique Siemens MELF ou un classique chip CMS dans une configuration stripline adéquate. Petite taille, ultra courtes connexions donneront le meilleur comportement possible de ces standards en hyperfréquences.

OPEN device

E : is only a standard connector without connection. The pin would stop exactly at the end of dielectric surface. Because of fringing fields (always perpendicular to surface planes) a one more cm of shielding is provided to close all E field lines (no current here). Have in mind that a Short has a better defined phase plane but this is not critical neither just noticed during 1.3 GHz calibration process. Compare Open and Short on your equipment. In some VNA field models are introduced in the software and do corrections for you depending you are using N, APC7, SMA and so on.

F : Il s'agit simplement d'un connecteur standard sans connexion. La pin centrale se termine exactement à la surface du diélectrique. A cause des champs de frange (toujours perpendiculaires aux plans des surface en jeu, un cm supplémentaire de blindage est là pour refermer ces champs E (pas de courant ici). A noter qu'un SHORT possède un plan de phase mieux défini mais ce n'est pas critique et on le remarque juste à 1,3 GHz. Dans certains VNA (Vector Network Analyzer) les modèles de champs sont introduit dans le software qui fait les corrections adéquates selon le type de connecteurs utilisé N,APC7,SMA etc.

SHORT device

E : This is the best reference for phase plane. A small piece of copper sheet is soldered at the central pin. Ground is distributed all around and as close as possible of the conductor. Lock the contact with a block of copper and some screws. Remember that the best contact at microwaves is a small lip tighten hardly on surfaces but it is a one way efficient but inexpensive process. The goal is easy to understand : a short connection without inductance.

As a general approximate, shorts are always trying an approach to 0Ω , open are in the range of some thousands Ω but never reaching infinity...That is the reason why the Smith Chart is centered at the $50\Omega/75\Omega$ normalization value.

F : C'est la meilleure référence pour le plan de phase. Un bout de clinquant Cu est soudé à la pin centrale. La masse est ainsi distribuée uniformément et très près du conducteur central. Bloquer l'assemblage avec une pièce de Cu et quelques vis. Se souvenir qu'en Hyperfréquences, le meilleur contact est une lèvre de métal compressée entre les surfaces. C'est une manière efficace, bon marché et qui ne sert qu'une fois. Le but est simple à comprendre : un court-circuit presque sans inductance ($I=\max$).

The optional Sliding load

E : Used as a standard for circonfential calibration of the chart. A shorted transmission line of known length less than a quarter wavelength has an predicted inductance value given by $L = ZI \tan \beta \ell$. The calibration of the external area of the circle may be checked by this mean. This is a mechanical project to be done with care and precision.

F : utilisé comme standard pour la calibration circonférentielle de l'abaque. Une ligne de transmission courtcircuitée et de dimensions connues de longueur inférieure au quart de longueur d'onde correspond à une valeur d'inductance prévisible décrite par $L = ZI \tan \beta \ell$. La calibration de la périphérie de la circonférence de l'Abaque peut être ainsi vérifiée. C'est un projet mécanique qui réclame soin et précision.



Homebrew calibration standard built by 7X2RF (left to right : Short, Open, Load).

E :some comments about coaxial connectors at VHF to Microwaves

The goal is to keep the fondamental mode of propagation TEM as far as possible to be sure catching correctly energy without strange field configurations founded sometimes in guided modes. That means increasing the frequency decreases the transverse dimensions of connectors and increases loss. That is the frontier that Light doesn't know.

Precision N connectors are able to reach 18 GHZ and even 22 GHZ (Spectrum analyzer HP 8566a for instance).

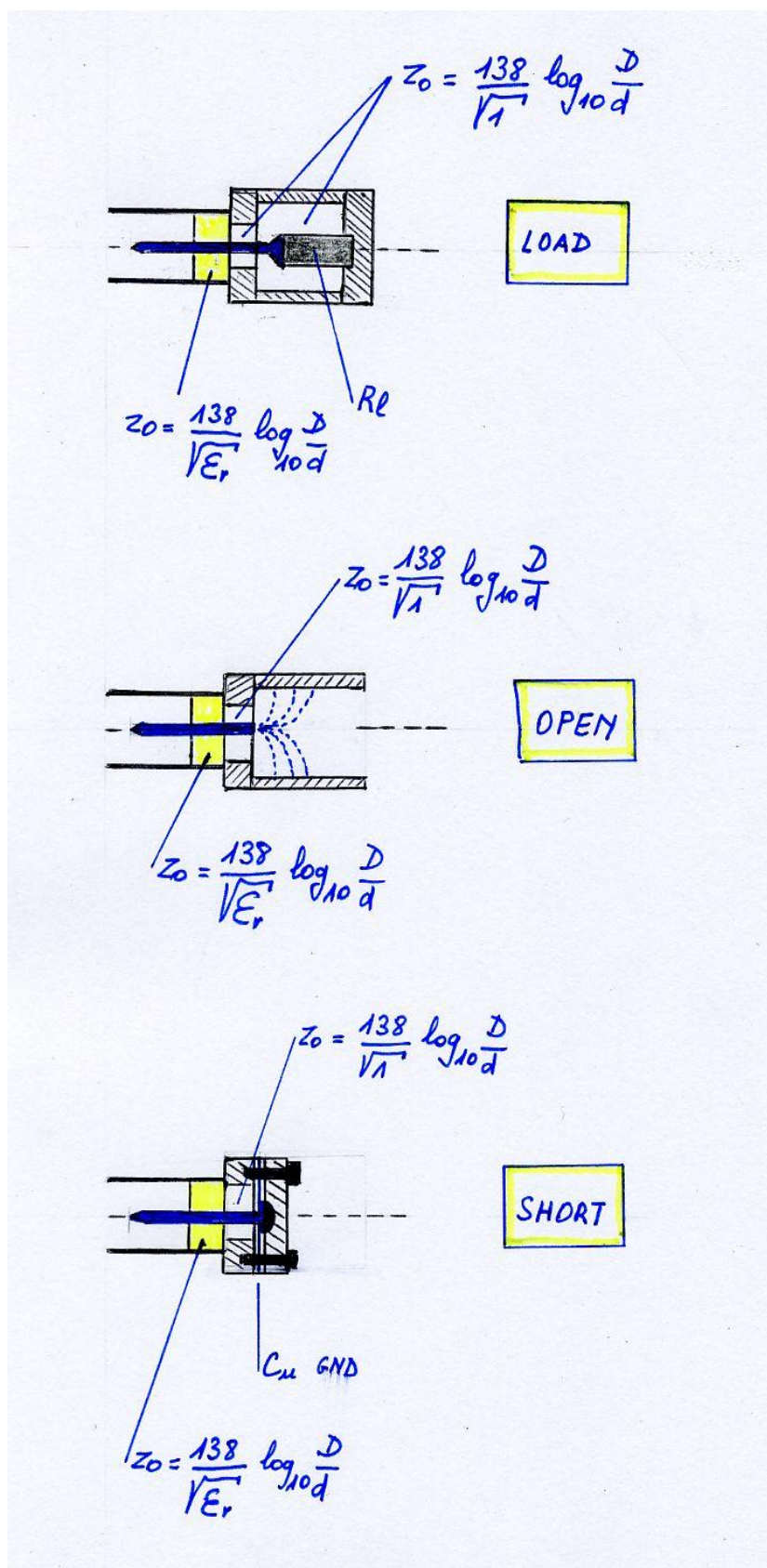
The less of dielectric quantity the highest the free mode frequency of TEM transmission. SMA are well knownd connectors...2.9 K and HP 2.4mm are reaching 40 to 50 GHz range. Even higher are Wiltron 1.6mm or smaller ? This is the TEM VNA frontier as pointed out by WIGHZ (*ref : Understanding circular waveguide – expérimentally / QUEX Jan/feb 2001*). The best connector for instrumentation is the sexless APC7 for up to at least 18 GHz. It is a piece of precision mechanics With a really well defined phase plane..Drawback is the price and availability.

F : Quelques commentaires sur les connecteurs coaxiaux en VHF-Hyperfréquences.

L'objectif est de conserver le mode de propagation fondamental (TEM) dans la ligne coaxiale afin de capturer toute l'énergie disponible et éviter des configurations de champs parfois étranges avec les modes guidés. Ce qui signifie qu'un accroissement de la fréquence provoque une diminution des dimensions transverses de la ligne et augmente les pertes (surfaces réduites et skin effect). C'est une frontière que la Lumière ne connaît pas.

Les connecteurs N de précision sont capables de travailler à 18 voire 22 GHz (ex : Analyseur de spectre HP 8566A). Le minimum de diélectrique= la plus haute fréquence TEM pour des dimensions données. Les SMA sont bien connues

mais aussi 2,9 K et HP 2,4mm atteignent les 40 à 50 GHz. Encore plus haut Wiltron avec un V 1,6mm et maintenant peut-être encore plus petit ? C'est la frontière pour les VNA à coaxiaux comme le dit si justement WIGHZ (ref : *Understanding circular waveguide – expérimentally / QUEX Jan/feb 2001*).





Using the HP 8714ES VNA as a calibration tool

System Performance, Uncorrected

8712ET/ES and 8714ET/ES (Type-N, 50 Ω)						
Description	8712ES/8714ES		8712ET/8714ET (without Attenuator)		8712ET/8714ET with Attenuator Option 1E1 ^a	
	300 kHz to 1.3 GHz	1.3 GHz to 3 GHz	300 kHz to 1.3 GHz	1.3 GHz to 3 GHz	300 kHz to 1.3 GHz	1.3 GHz to 3 GHz
Specification ^b (in dB)						
Directivity ^c	29	23	29	23	29	21
Source Match (Ratio) ^d	18	15	23	19	21	15
Load Match ^e	18	15	18	15	18	15
Crosstalk ^f	88	88	97	97	97	97
Typical ^b (in dB)						
Directivity ^c	40	30	42	32	42	32
Source Match (Ratio) ^d	23	20	30	23	26	21
Load Match ^e	24	21	24	22	24	22
Reflection Tracking	± 2.0	± 2.0	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1.5
Transmission Tracking	± 2.0	± 2.0	± 1.5	± 1.5	± 1.5	± 1.5
Crosstalk ^f	95	95	105	105	105	105

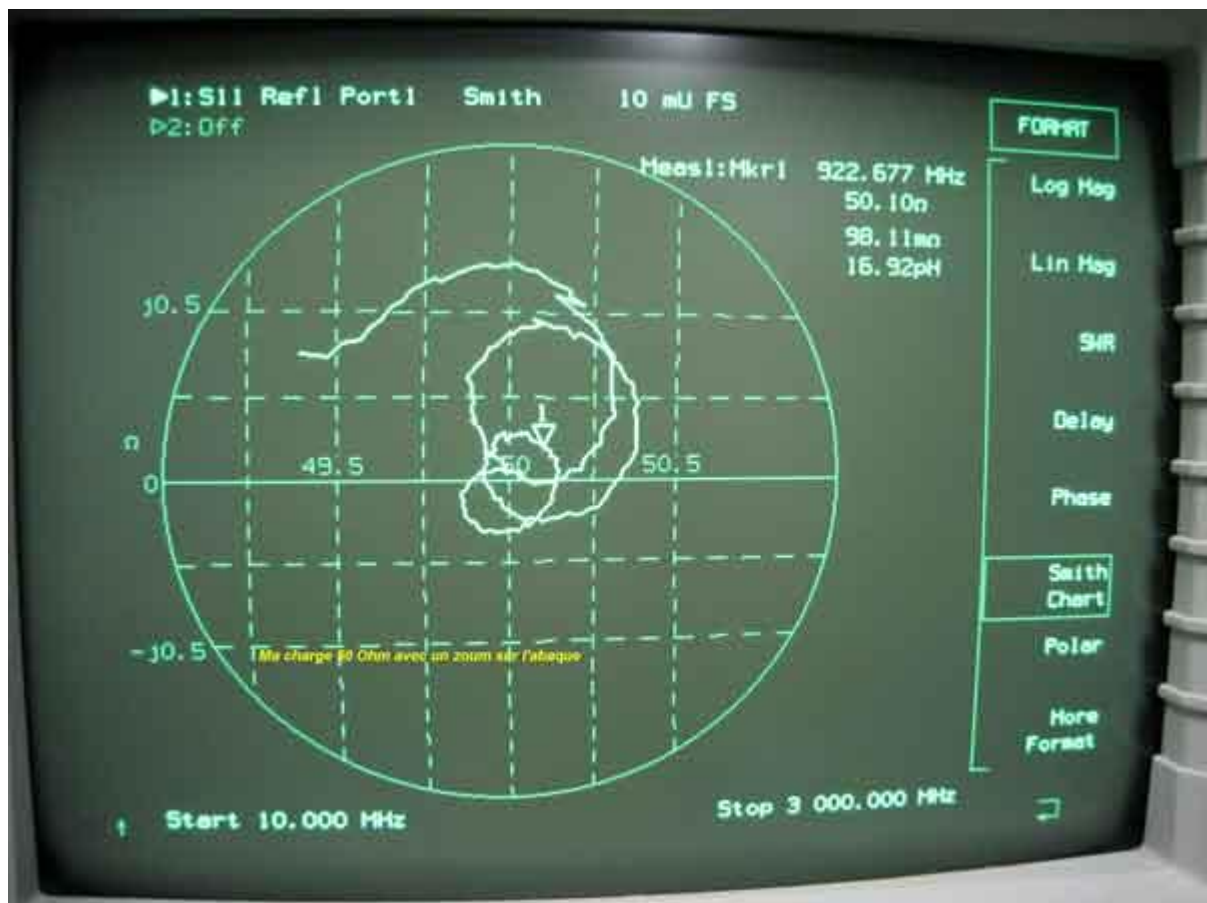
System Performance, 2-Port Calibration (Type-N, 50 Ω)

8712ES/8714ES 85032B/E (Type-N, 50 Ω) Cal Kit, User 2-Port Calibration		
Description	Specification ¹ (in dB)	
	300 kHz to 1.3 GHz	1.3 GHz to 3 GHz
Directivity	50	47
Source Match	42	36
Load Match	50	47
Reflection Tracking	± 0.02	± 0.02
Transmission Tracking	± 0.04	± 0.055

This HP 8714ES is factory calibrated (2000)



S11 50 Ω load measurement on the Smith Chart display / Scale 1



E : Same as above but Smith chart enlarged. Display is giving values of real and reactive parts and calculate the inductance. Note that any sign of turn up on curve means probably ringing (quick change of phase value). One turn on the Smith chart = 180° . The radius of a circle with the center at 50Ω gives immediately on the resistive axis the SWR (ROS).

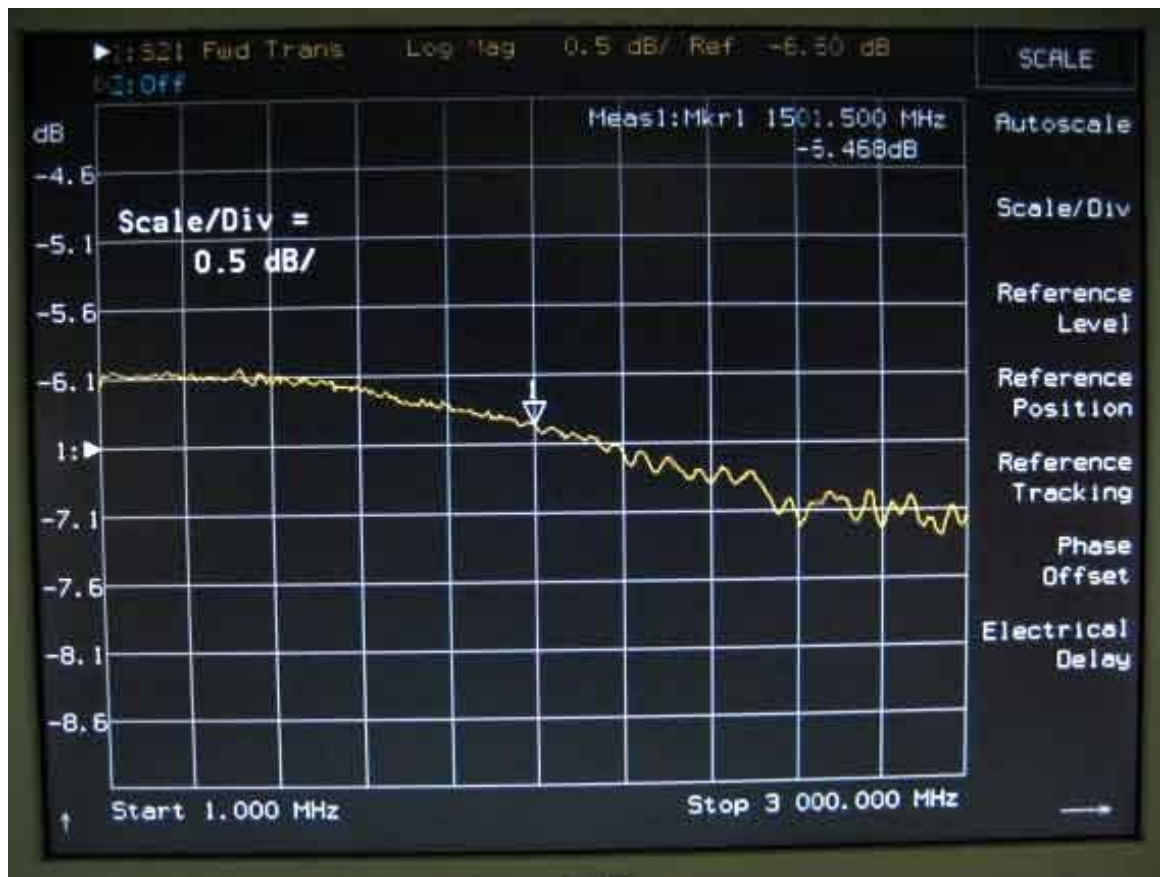
F : Idem ci-dessus mais Abaque de Smith avec échelle élargie pour une meilleure précision de lecture. L'affichage donne les valeurs réelle et réactive puis calcule l'inductance correspondante. A noter que le moindre rebroussement sur la courbe indique probablement une résonance (changement rapide de la phase). Le rayon du cercle dont le centre est 50Ω donne directement le ROS sur l'axe résistif.

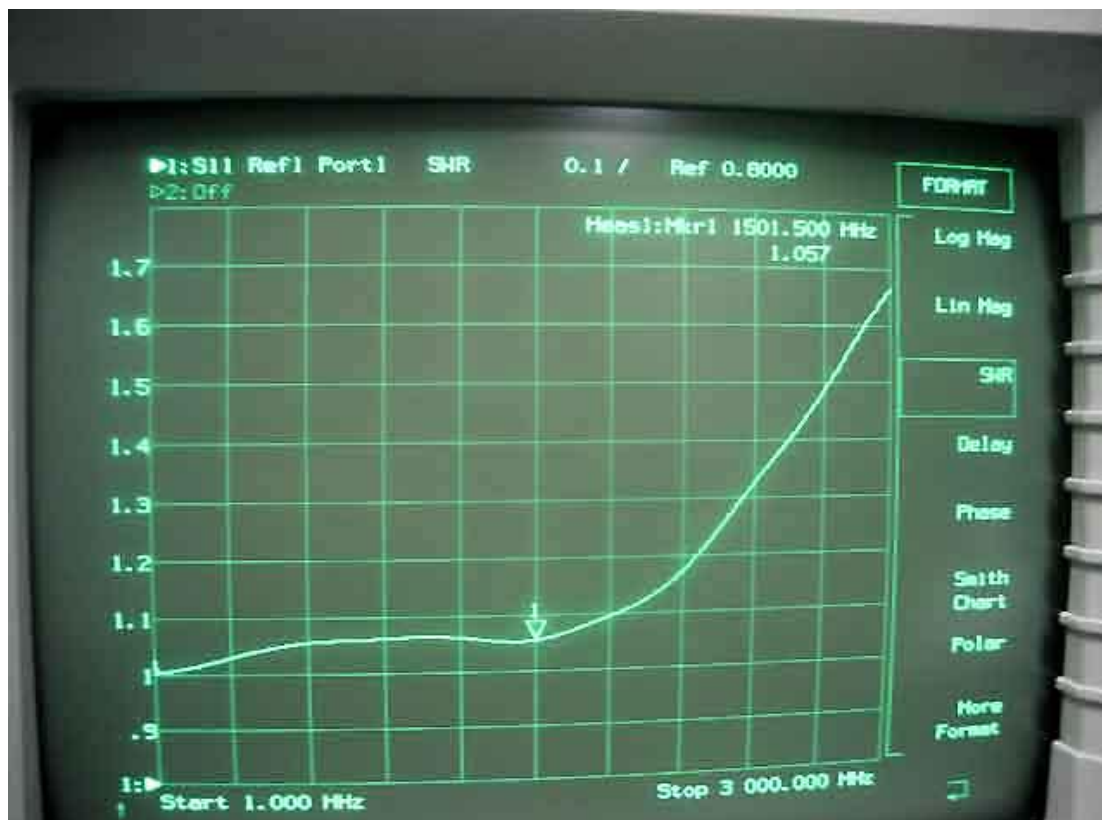
How good is the 1,3 GHz resistive splitter ?

Quelles performances pour le splitter résistif 1,3 GHz ?

E : This splitter is described on Ham-hyper.com « réaliser un splitter DC-GHz ». This device is very usefull with the dual channel HP 8754 low cost VNA (see the HP history at hpmemory.org). It shares the VCO power between Reference port and DUT. If in use together with the SWR Bridge, we can obtain from a black box S11,S22 in polar form or S11,S21 both with magnitude or S21 magnitude + Phase ou group delay.... One may also have on hands the capability to balance perfectly two preamplifiers/ amplifiers/ filters for antenna array application and more. The characteristics of this hombrew resistive splitter is of interest. A smaller design would get higher !

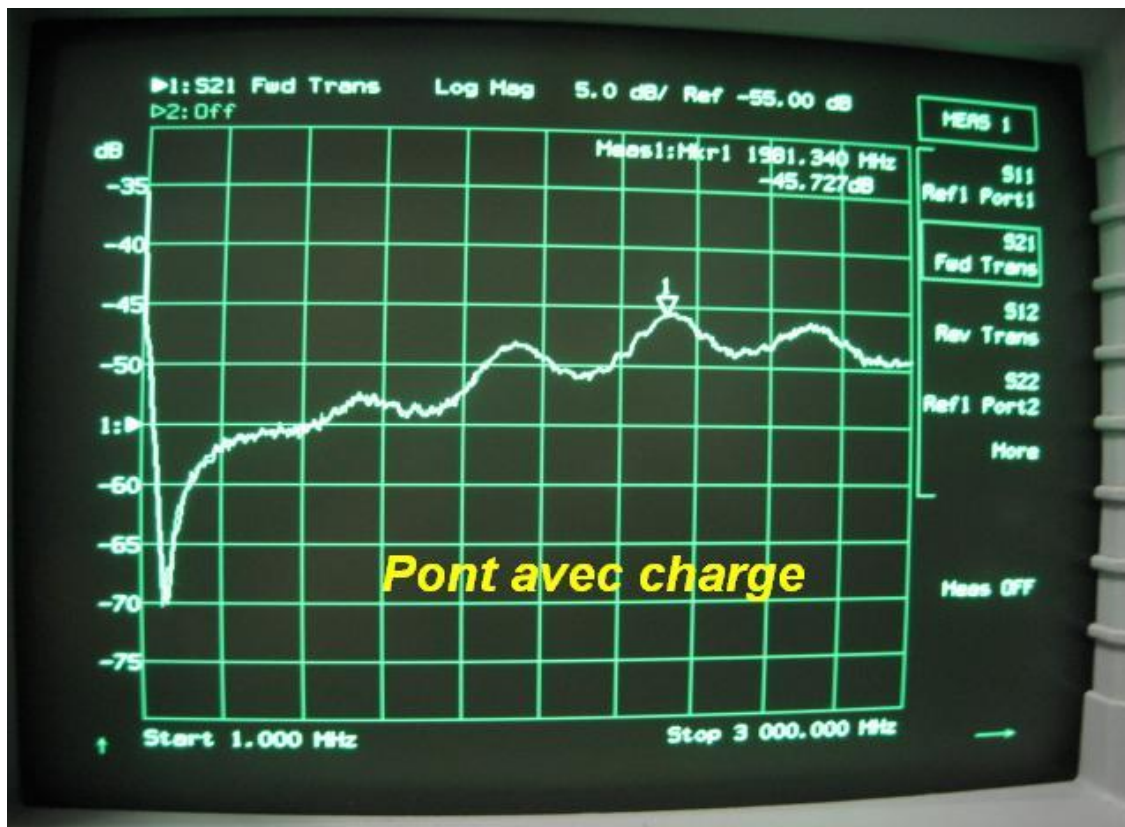
F : Ce splitter est décrit dans Ham-hyper.com « réaliser un splitter DC- GHz ». Ce composant est très utile avec le VNA HP 8754 « low cost » (voir l'historique à hpmemory.org). Il partage la puissance du VCO entre la Référence et la DUT. Utilisé conjointement avec le SWR bridge, il est possible de caractériser les paramètres S11, S22 « d' une boîte noire » sur un diagramme polaire, ou S11,S21 en amplitude, ou S21 amplitude et phase (ou retard de groupe). On peut aussi utiliser les 2 voies du VNA pour équilibrer 2 préamplis, amplis, filtres, antennes en groupement, mesures de gain etc..... Les caractéristiques de ce splitter sont donc intéressantes à relever. Un modèle plus petit montera plus haut en fréquence.





Splitter SWR is 1.1 @ 1800 MHz (7X2RF model)

SWR Bridge Balance measured by the HP 8714ES



The 7X2RF SWR bridge may be usefull up to at least 3 GHz

Best 73's Bachir 7X2RF et Jacques F6TEM