

INTERNAL REPORT

RFLab

Andrea Saba*, Giuseppe Valente**

Report N. 60
released: 07/12/2016

Revisore: Francesco Gaudiomonte

* INAF OAC - **ASI



OAC Osservatorio
Astronomico
di Cagliari

Sommario

Introduzione	5
1. RFLab - Caratteristiche principali	6
Il TabPanelFSV	8
Il TabPanelSMB	10
Il TabPanelSourceMeter	10
Il TabPanelSAB	10
Il TabPanelTSC	11
Il TabPanelPowerMeter	11
Il TabPanelPM5	12
I SetupPanels	13
Modalità Test	13
2. Misure implementate	14
Calibrate Cable	14
Il file di calibrazione dei cavi	16
Calculate Spurious	16
Misura del Punto di compressione di un amplificatore	16
Misure delle armoniche dell'amplificatore	16
Misura Harmonic Intermodulation Products di amplificatore di secondo e terzo ordine	16
Misura del punto di compressione di un mixer	17
Misura del conversion loss di un mixer	17
Misura Spurious distribution di un mixer	17
Funzioni di misura in fase di sviluppo	18
3. Creazione dei grafici	18
Graph spurious plot,	19
Compression Point	19
Conversion Loss (o Conversion Gain)	21
Spurious Distribution	22
Harmonic Intermodulation Products	23
Graph generic plot	23
4. Il salvataggio dei risultati	25
5. Conclusioni e sviluppi futuri	25
6. Riferimenti	26

Introduzione

Uno dei problemi legati alle misure di laboratorio sono gli errori di misura. Questi possono essere sistematici o non sistematici. Gli errori sistematici sono quelli legati al comportamento degli strumenti, alle caratteristiche fisiche dei cavi e dei connettori. La maggior parte di questo tipo di errori può essere minimizzata tramite delle procedure che determinano dei fattori correttivi da applicare alla misura stessa o degli accorgimenti per non influenzare la misura durante la sua esecuzione, come per esempio il controllo della temperatura del laboratorio.

Gli errori non sistematici sono invece quelli che non possono essere conosciuti a priori o non sono prevedibili. Per questo tipo di errori, in alcuni casi, si possono applicare delle correzioni a posteriori sui risultati della misura mentre in altri casi questo non è possibile.

Tra gli errori non sistematici ci sono anche gli errori causati dall'operatore che effettua la misura come per esempio:

- errori dovuti alla durata della misura a causa delle variazioni del comportamento degli strumenti dopo un utilizzo prolungato (deriva dello strumento, variazione dei fattori ambientali) errori dovuti alla ripetitività delle operazioni eseguite in maniera più o meno meccanica;
- errori dovuti al salvataggio o alla trascrizione dei dati e alla loro approssimazione;
- errori dovuti alla variazione di setup degli strumenti in determinate fasi della misura;

Inoltre possono essere causati dall'operatore altri errori successivi alla misura legati all'elaborazione dei dati, al loro raggruppamento o alla loro riduzione.

Per cercare di diminuire il verificarsi di questi errori è possibile pensare ad una soluzione di remotizzazione e automazione delle misure di laboratorio tramite software di controllo.

In questo lavoro verrà presentato un software di controllo remoto e automazione delle misure di laboratorio specificatamente pensato per attività nel settore delle microonde, ma estendibile ad altri ambiti e settori.

Il software che verrà illustrato si chiama **RFLab** ed è open source e multiplatforma e disponibile nel repository <https://github.com/asaba/RFLab>.

Il software progettato in maniera modulare ha permesso l'utilizzo di alcuni dei suoi moduli su problematiche differenti come per esempio test e calibrazione del controller del ricevitore in banda W (84-116GHz) [BDW] di cui è stato sviluppato un prototipo nei laboratori dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari, e quello di controllo remoto dell'oscillatore locale del ricevitore in banda S monofeed installato e testato a novembre 2016 nel Sardinia Radio Telescope.

Il codice di RFLab è stato progettato per separare la logica di controllo degli strumenti dalle funzioni che effettuano le misure. Questa separazione permetterà, in una prossima versione del programma, di utilizzando un sistema di controllo di device come per esempio TANGO [TNG].

Tramite RFLab è possibile:

- controllare da remoto, attraverso una rete LAN, diverse tipologie di strumenti di laboratorio;
- sincronizzare e ripetere le operazioni eseguite dai diversi strumenti;
- salvare automaticamente i risultati in un formato standard, aperto e facilmente elaborabile;
- generare automaticamente i risultati sotto forma di grafici personalizzabili secondo gli standard de facto utilizzati nei diversi datasheet dei dispositivi sotto test (DUT Device

Under Test), e soprattutto permette un facile confronto tra i risultati delle misure di diversi parametri dello stesso, o più, dispositivi o sistemi.

- ripetere la stessa misura, usando le stesse impostazioni degli strumenti, per caratterizzare, per esempio, diverse versioni dello stesso DUT.

Nel paragrafo 1 di questo documento verranno illustrate le caratteristiche principali di RFLab, il suo paradigma di sviluppo e gli strumenti controllabili nella versione attuale.

Nel paragrafo 2 verranno illustrate le tipologie di misura eseguibili con RFLab, con particolare rilievo all'utilizzo delle interfacce di setup.

Nel paragrafo 3 verrà illustrata la funzione di RFLab per la creazione dei grafici e nel paragrafo 4 il formato di salvataggio dei risultati di misura.

L'ultimo paragrafo è dedicato alle conclusioni e agli sviluppi futuri

1. RFLab - Caratteristiche principali

Il software è stato scritto in Python 2.7 [PYT] con le librerie grafiche wx [WX]. Questa scelta è stata fatta per permettere l'utilizzo del software sia su computer con sistema operativo Microsoft Windows che su computer con sistema operativo Linux.

Le altre librerie utilizzate dal programma sono:

- numpy (versione 1.8.1) [NPY]
- matplotlib (1.5.3) [MPL]
- PyVISA (1.8) [PVS]
- scipy (0.11.0) [SPY]
- pyserial (3.2.1) [PYS]

È stata utilizzata la libreria touchstone [TCH], scritta da Werner Hoch per estrarre le informazioni dai file di output contenenti i parametri S.

Inoltre è stata utilizzata ed è in fase di adattamento la libreria _tsc5120a.py scritta da Andre Young [TSC5] utilizzata nei nostri laboratori per la comunicazione con il Phase Noise Test Set TSC 5115A della Symmetricom.

Per la funzionalità di creazione dei grafici in formato vettoriale EMF (Windows Metafile) è necessario che sul computer sia installato il software Open Source Inkscape [INK].

Per rendere semplice l'utilizzo del programma è stata pensata l'organizzazione dei moduli che compongono RFLab come quella della realizzazione di un banco di misura virtuale che per ogni tipo di misura che si vuole effettuare prevede la scelta degli strumenti da utilizzare e la procedura di misura.

RFLab permette di gestire l'inserimento dei valori di frequenza in Hertz e nei suoi multipli (KHz, MHz, GHz). I valori di output della frequenza sono di default espressi in Hertz per evitare gli errori di arrotondamento della conversione. La potenza del segnale è espressa in dBm.

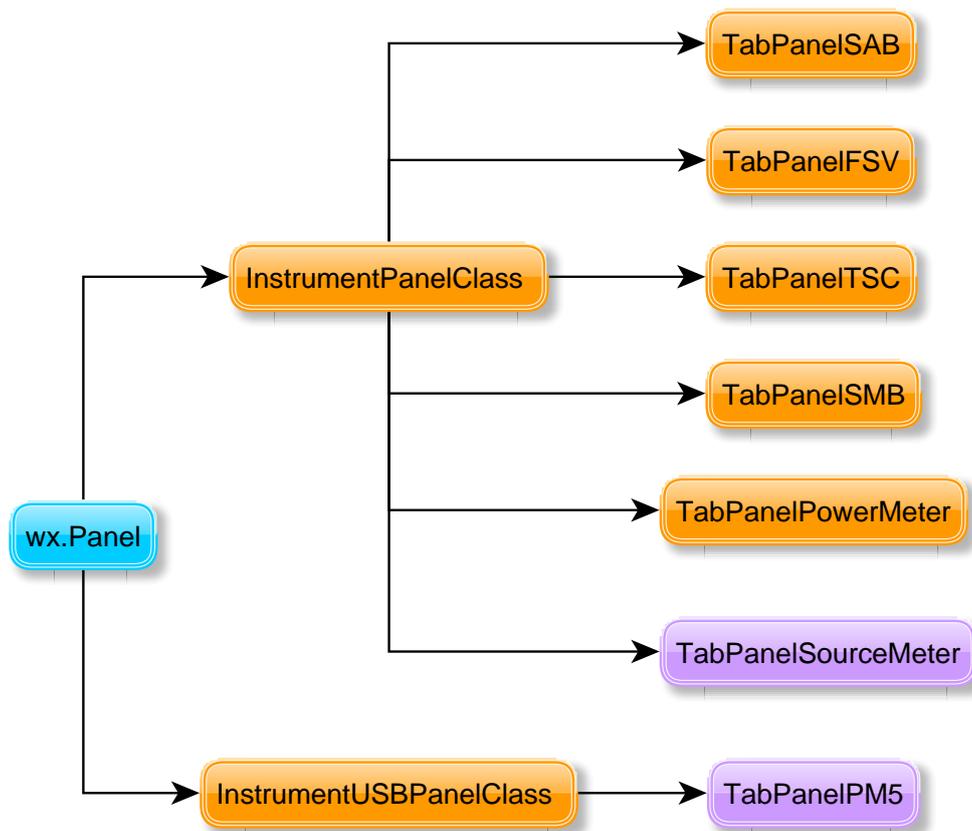


Figura 1: Struttura delle classi dei Panel degli strumenti. In viola i Panel in fase di sviluppo.

Come si può vedere in Figura 1 per ogni strumento di misura è stata disegnata una interfaccia grafica corrispondente ad un oggetto `wx.Panel` che eredita la sua struttura da un oggetto generico che può essere:

- `InstrumentPanelClass`
- `InstrumentUSBPanelClass`

Il primo viene utilizzato per gli strumenti che sono controllabili tramite protocollo TCP/IP e i secondi tramite il bus USB.

Per l'interfaccia degli strumenti `InstrumentPanelClass` è possibile specificare tutte le informazioni necessarie a stabilire una connessione TCP/IP (IP, Porta, timeout) oltre alla tipologia di strumento:

- SOCKET nel caso in cui si utilizzi una connessione di tipo UDP;
- INSTR nel caso in cui si utilizzi una connessione di tipo TCP/IP basata sul protocollo VXI11 ;
- TELNET nel caso in cui si utilizzi una connessione TCP con comunicazione client-server;

Ogni interfaccia è provvista di un pulsante di test che permette di verificare la comunicazione con lo strumento prima del suo utilizzo. Questa verifica è effettuata inviando allo strumento il comando di identificazione (`*IDN?`) al quale lo strumento deve rispondere con una stringa in cui restituisce le informazioni di marca e modello.

L'interfaccia degli strumenti `InstrumentUSBPanelClass` è utilizzata per impostare i parametri di comunicazione sul bus USB che sono:

- la porta COM associata alla periferica USB collegata,
- il baud rate di comunicazione della porta COM;
- il timeout;

Per questa tipologia di strumenti è stato inoltre aggiunta una funzione di ricerca delle porte COM abilitate alla comunicazione da parte del sistema operativo. Ogni interfaccia è provvista di un pulsante di test che permette di verificare la comunicazione con lo strumento prima del suo utilizzo. In questo caso il test dello strumento consiste nell'inviare una richiesta di lettura del valore letto istantaneamente. Questo tipo di verifica va adattato allo strumento specifico che si vuole controllare.

Gli strumenti che utilizzano il bus USB non possono essere controllati da remoto tramite LAN perché richiedono la connessione ad un computer che si occupi di fare da host USB.

Gli strumenti derivati dalla classe `InstrumentPanelClass` sono:

- `TabPanelFSV`
- `TabPanelSMB`
- `TabPanelSourceMeter`
- `TabPanelSAB`
- `TabPanelTSC`
- `TabPanelPowerMeter`

Mentre dalla classe `InstrumentUSBPanelClass` è stato derivato lo strumento:

- `TabPanelPM5`

Ognuna delle interfacce grafiche degli strumenti è indipendente, permette di impostare i parametri di funzionamento ed è stata progettata per l'allestimento di una misura scegliendo quali devono essere gli strumenti/interfacce da utilizzare aggiungendoli al banco di misura virtuale.

Di seguito il dettaglio dei diversi panel.

Il `TabPanelFSV`

Il `TabPanelFSV` rappresenta lo strumento analizzatore di spettro. L'analizzatore di spettro è uno strumento che permette di fare una analisi in potenza di un segnale a radio frequenza nel dominio della frequenza. Lo strumento permette di visualizzare graficamente il contenuto armonico del segnale in ingresso e non soltanto la somma come avviene nel dominio del tempo. Questo è molto importante in quanto l'analizzatore di spettro permette di investigare i prodotti armonici, la distorsione, le larghezze di bande oppure le conversioni in frequenza. Alcune misure che possono essere facilmente condotte con questo strumento sono:

- Misure di ampiezza del segnale;
- Misura della banda passante;
- Analisi della purezza spettrale.
- Misura di spurie, distorsione armonica e di intermodulazione di un sistema non lineare sia nel caso che esso sia attivo come nel caso di un amplificatore o che esso sia passivo come nel caso di un mixer.

Per effettuare le misure sopra riportate si deve agire su diversi parametri, alcuni di questi sono:

- frequenza centrale;
- span, per impostare la larghezza di banda che si vuole analizzare
- Resolution Bandwidth (RBW), per impostare la larghezza del filtro IF impostando così sensibilità dello strumento, dinamica e risoluzione in frequenza.
- Livello di attenuazione e/o preamplificazione del primo stadio di ingresso dello strumento (Attenuation and Gain Amplifier).

Nel laboratorio dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari è presente un analizzatore di spettro in grado di misurare segnali sino a 40 GHz.

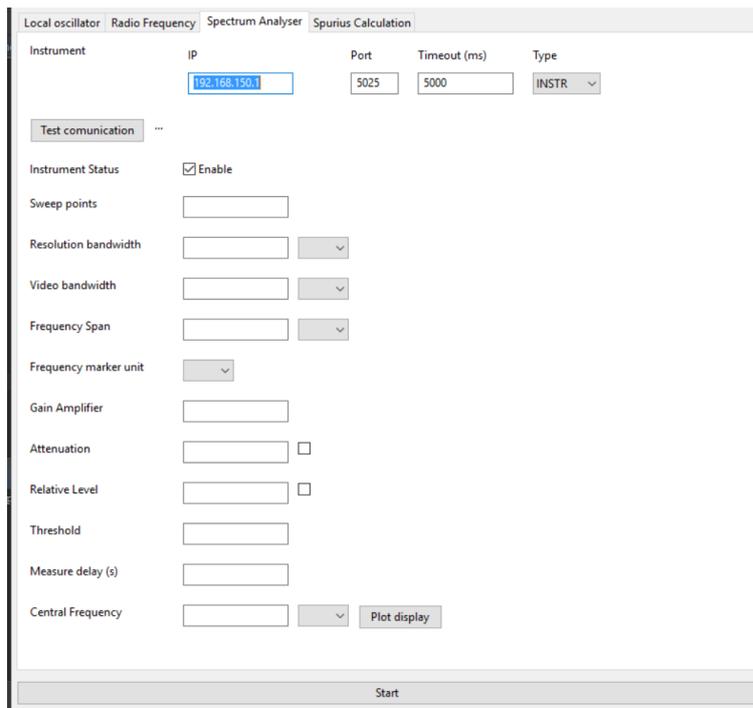


Figura 2: Interfaccia dell'analizzatore di spettro.

In Figura 2 è mostrata l'interfaccia per lo strumento analizzatore di spettro dove sono presenti i parametri impostabili:

- sweep points
- resolution bandwidth
- video bandwidth
- frequency span
- frequency marker unit
- gain amplifier
- attenuation
- relative level
- threshold
- measure delay

Questa lista di parametri è stata scelta per le specifiche delle misure implementate. È possibile con un upgrade della interfaccia dello strumento aggiungere altri parametri impostabili. Inoltre è possibile utilizzare il pulsante in basso “plot display” per generare istantaneamente un grafico della lettura dello spettro di frequenza dello strumento centrato nella frequenza “Central Frequency” indicata. Questa funzione permette all’operatore di verificare da remoto che l’analizzatore di spettro sia impostato in maniera corretta prima di avviare una misura.

Il TabPanelSMB

Il `TabPanelSMB` rappresenta lo strumento generatore di segnale. Il generatore di segnali a radio frequenza è uno strumento che permette di avere in uscita un segnale molto stabile la cui frequenza e ampiezza (parametri caratteristici) possono essere variati all’interno di un range predefinito di valori massimi e minimi. Un parametro della bontà di tale strumento è il rumore di fase, ovvero l’indicazione della purezza del segnale generato. Nel laboratorio dell’Osservatorio Astronomico di Cagliari sono presenti due generatori di segnali. Il primo generatore ha un range di frequenza sino a 40 GHz con potenze limitate a circa 9 dBm. Il secondo generatore invece ha un range di frequenza sino a 20 GHz con potenza massima sino a 20 dBm.

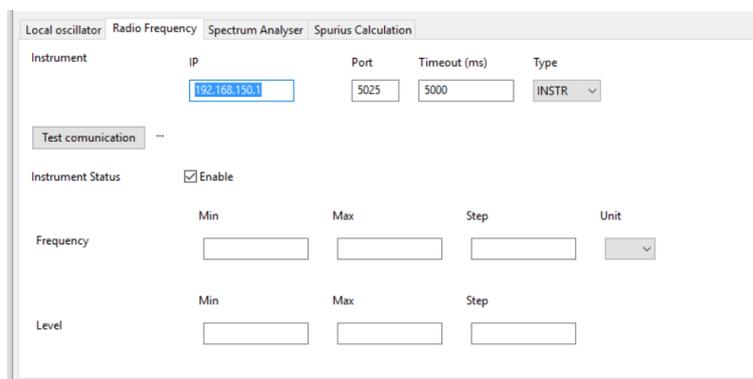


Figura 3: Interfaccia del generatore di segnale.

Nella finestra in Figura 3 è possibile impostare i parametri di funzionamento del generatore di segnale che sono: il range di frequenza con il relativo step e il range di potenza con il relativo step.

Il TabPanelSourceMeter

Il `TabPanelSourceMeter` rappresenta lo strumento Source Meter Unit (SMU). L’ SMU permette di caratterizzare giunzioni a semiconduttore. Esso ha la proprietà di misurare e di generare dei segnali, in tensione e in corrente, dell’ordine di alcuni nV o nA. Lo strumento è stato remotizzato per la misura della tensione e corrente dei sensori di temperatura criogenici (diodi particolari), utilizzata nel dewar di test progettato, sviluppato e assemblato presso il laboratorio di OAC. L’ Interfaccia specifica e la misura corrispondente sono in fase di sviluppo

Il TabPanelSAB

Il `TabPanelSAB` rappresenta lo strumento di gestione di switch e di attenuatori programmabili. Il sistema Switch Attenuator Box (SAB) [SAB], progettato sviluppato e realizzato nei Laboratori dell’Osservatorio Astronomico di Cagliari, consente la gestione di diversi dispositivi, utili in

fase di misura, tramite un controllo remoto, attraverso un collegamento LAN, e un software di gestione sviluppato ad hoc. In particolare il SAB controlla un attenuatore digitale (Agilent 84904K [AGL]), due switch elettro-meccanici (Keysight 8761B [KEY]) e uno switch pin diode (MiniCircuit MSP2T-18-PM+ [MCT]).

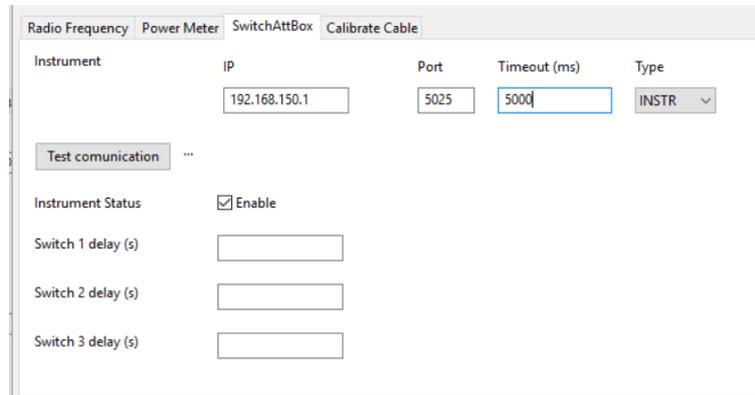


Figura 4: Interfaccia dello Switch Attenuator Box

Nella finestra in Figura 4 è possibile impostare i parametri di funzionamento del SAB che sono relativi agli switch in termini di tempo di attesa.

Il TabPanelTSC

Il `TabPanelTSC` rappresenta lo strumento di misura del Phase noise.

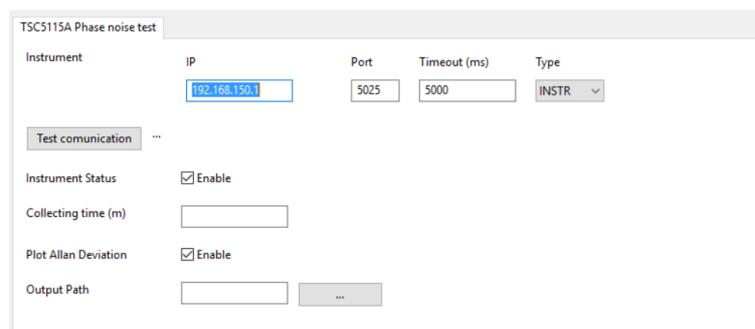


Figura 5: Interfaccia del Phase Noise Test

Nella Figura 5 è possibile impostare il collecting time Phase noise test, ovvero il tempo di acquisizione. È possibile selezionare il percorso dove salvare i dati e l'immagine del grafico, la cui creazione può essere attivata selezionando l'opzione "plot Allan Deviation".

Il TabPanelPowerMeter

Il `TabPanelPowerMeter` rappresenta lo strumento di misura della potenza di un segnale a microonde. Il power meter è uno strumento molto particolare, esso misura la potenza totale all'interno di un range di frequenza. È costituito da una sezione denominata monitor dal quale è possibile eseguire la calibrazione e leggere il valore della potenza oltre che impostare altri parametri inerenti la misura. L'oggetto che fisicamente effettua la misura è un sensore esterno (bolometro, termocoppia o sensore a diodo) sensibile alla potenza del segnale a radiofrequenza da misurare. La dinamica e la sensibilità del sensore dipende dal modello e in

ogni caso il range di potenza misurabile viene automaticamente riconosciuto dalla sezione monitor. In base al modello del sensore dipende anche il range di frequenza del segnale misurabile. Nei laboratori dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari sono presenti sensori che misurano nel range di qualche decina di MHz sino a 70 GHz con sensibilità dell'ordine di -30 dBm e un secondo sensore con un range di frequenze più limitato (alcune MHz sino a 40 GHz) ma con sensibilità migliori, circa -50 dBm.

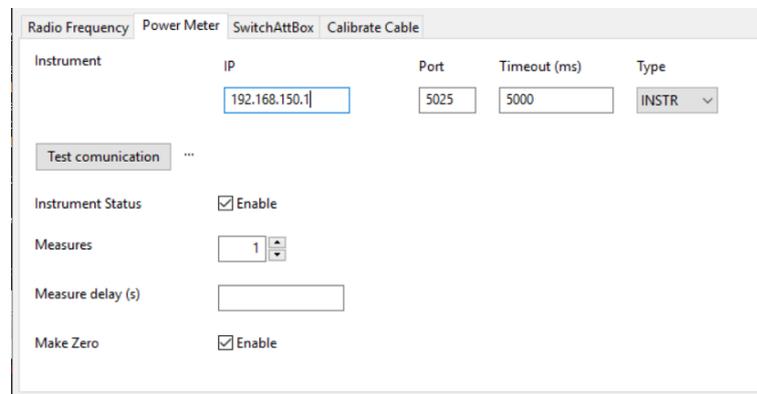


Figura 6: Interfaccia dello strumento Power Meter

In questa finestra è possibile impostare i parametri di funzionamento del power meter come il numero di misure e il tempo di ritardo tra una misura e l'altra. Selezionando l'opzione "Make Zero" prima di ogni misura è effettuata una calibrazione del sensore. Questa opzione è da utilizzare con il SAB nella configurazione di switching automatico.

Il TabPanelPM5

È un power meter che opera nel range di frequenza millimetrico ovvero tra 80-120 GHz che misura la potenza del segnale con una accuratezza dell'ordine del μW . Lo strumento misura la potenza in W (e sottomultipli) e non in dBm. L'ingresso dello strumento è in una guida d'onda rettangolare il cui standard è la WR10.

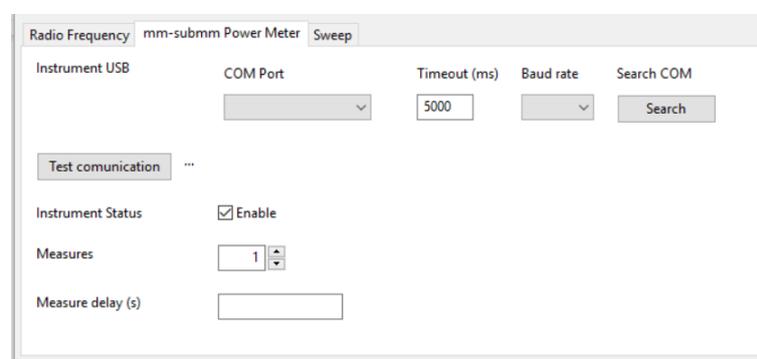


Figura 7: Interfaccia dello strumento power meter sub-millimetrico

L'interfaccia in Figura 7 è stata scritta per il power meter submillimetrico PM5 Power Meter della VDI Erickson. Il PM5 può essere controllato esclusivamente tramite il bus USB e gli unici parametri impostabili dall'interfaccia sono quelli relativi al numero di misure e al tempo d'attesa tra una misura e la successiva.

Questo strumento di misura non è stato utilizzato nelle misure implementate in RFLab ma è stato utilizzato nel software di test e calibrazione del controller del ricevitore in banda W citato in precedenza.

SetupPanels

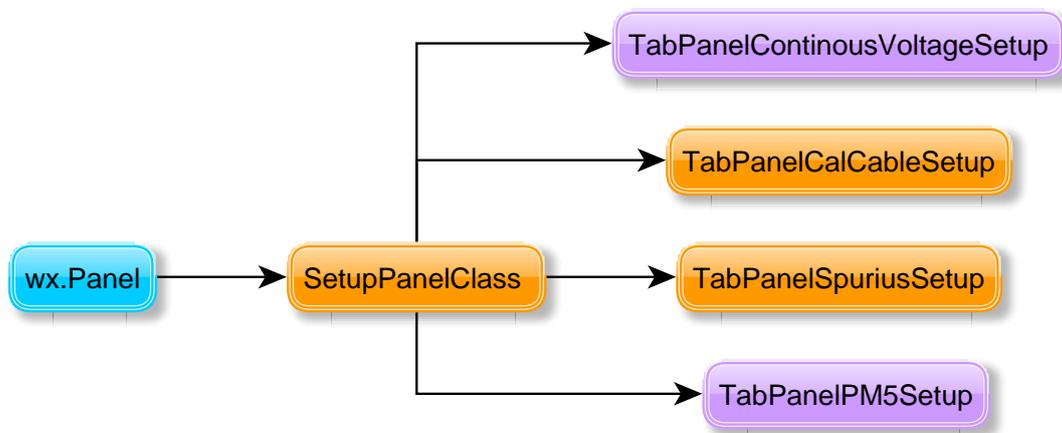


Figura 8: Struttura delle classi dei Panel dei setup di misura. In viola i Panel in fase di sviluppo.

Come si può vedere in Figura 8, per ogni tipo di misura è stata progettata un'interfaccia grafica specifica ereditata dalla classe generica `SetupPanelClass` e che permette di definire gli eventuali file di input (come per esempio i dati di calibrazione dei cavi utilizzati), il file di output e gli eventuali parametri specifici della misura. Per ogni misura viene quindi presentata all'utente una finestra in cui sono presenti una scheda per ognuno degli strumenti presenti nel banco di misura virtuale e una scheda per i parametri specifici della misura. In basso nella finestra è presente un semplice pulsante "Start" per avviare la misura. Questo aprirà una finestra di dialogo con una barra di progressione che informerà l'utente dello stato di avanzamento della misura e del tempo d'attesa previsto.

La finestra è provvista inoltre di una barra dei menu che permette di avviare la misura in modalità test, salvare tutti i parametri della misura su un file, caricare da un file tutti i parametri di misura.

Modalità Test

È possibile attivare la modalità di test della singola misura tramite la voce corrispondente nel menu "File". Questa modalità disabilita la comunicazione di rete (o quella sul bus USB) con lo strumento creando per ognuno di questi un oggetto di debugging che risponde alle interrogazioni dei valori da leggere con dei valori fissi o casuali a seconda del tipo di strumento. Questa modalità permette di sperimentare gli script di misura ed evita che vengano inviati dei comandi imprevisti agli strumenti.

2. Misure implementate

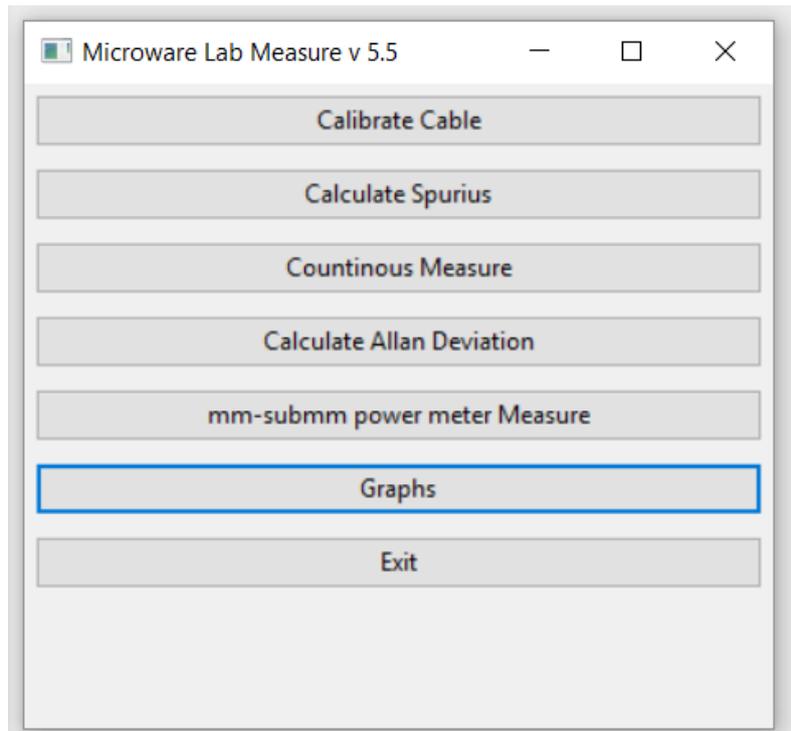


Figura 9: Interfaccia principale del programma RFLab

Calibrate Cable

La funzione di misura “Calibrate Cable” è utilizzata per la caratterizzazione in modulo di un cavo. Nel contesto del RFLab “Calibrate Cable” è utilizzata nelle altre funzioni di misura per la calibrazione dei cavi e la buona riuscita della misura stessa.

Essa utilizza il generatore di segnali e l’analizzatore di spettro. Il primo impostabile attraverso la finestra “Radio Frequency”, il secondo impostabile attraverso la finestra “Spectrum Analyzer”. Di seguito una breve descrizione delle due interfacce.

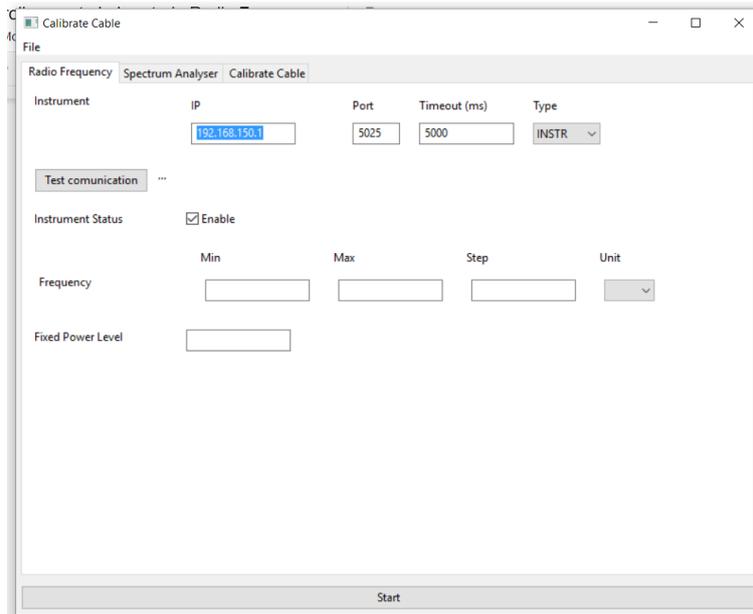


Figura 10: Interfaccia per l'impostazione del generatore di segnale per la funzione Calibrate Cable

L'interfaccia in Figura 10 per il generatore di segnale è stata modificata rispetto a quella generica illustrata in precedenza per permettere l'inserimento di un solo valore fisso per la potenza del segnale. È possibile impostare lo sweep delle frequenze del generatore di segnale che si vogliono far variare e il livello di potenza fisso del segnale per ogni frequenza. Per la calibrazione del cavo è necessario impostare il campo "Fixed Power Level" a 0 dBm. In questo modo la misura con l'analizzatore di spettro genera direttamente il valore di perdita alle diverse frequenze.

L'interfaccia per l'impostazione dell'analizzatore di spettro non presenta nessuna differenza rispetto a quella illustrata in precedenza. Il setup dello strumento deve essere adatto al tipo di misura per poterne massimizzare l'accuratezza.

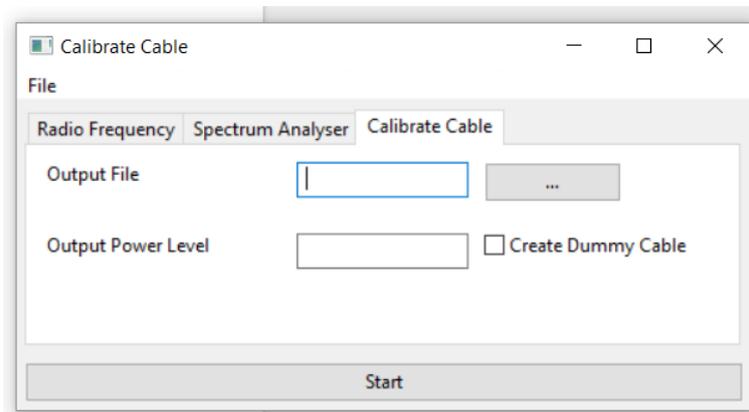


Figura 11: Interfaccia di setup della misura per la calibrazione del cavo

La finestra di "calibrate Cable" in Figura 11 permette di definire il percorso del file di output. È stata predisposta inoltre una funzione speciale per la creazione di un cavo calibrato ideale per il quale il livello di output del segnale è lo stesso per tutto il range di frequenza impostato nella prima scheda. Questa funzione è utile nel caso in cui si voglia generare un file di calibrazione del cavo da utilizzare per un test di misura oppure per l'utilizzo di un cavo ideale nel contesto delle altre misure impostabili con il software RFLab.

Il file di calibrazione dei cavi

Il file di output generato da questa funzione crea un file CSV che per ogni riga presenta le informazioni di frequenza, la sua unità di misura, il loss value, e un'etichetta temporale. La perdita del segnale del cavo viene effettuata solo per le frequenze impostate nella misura di calibrazione, e questo valore viene sommato o sottratto nelle misure che lo richiedono. Nel caso in cui sia necessario valutare il valore di perdita del segnale per una frequenza non presente nel file di calibrazione del cavo, questa viene calcolata tramite la generazione di una spline con l'utilizzo della funzione `UnivariateSpline` della libreria `scipy`.

Calculate Spurius

La funzione di misura "Calculate Spurius" è utilizzata per la caratterizzazione del contenuto armonico di un dispositivo non lineare come un amplificatore o un mixer. Nel contesto del RFLab questa funzione è utilizzata in molteplici applicazioni in base al settaggio dei parametri "m for RF" e "n for LO".

Misura del Punto di compressione di un amplificatore

La misura consiste nel determinare il punto in cui la corrispondenza tra ingresso e uscita non è più lineare e la misura differisce di 1 dB rispetto alla proiezione lineare ideale. In questo caso il set up dei parametri prevede la tripla $1,1,1$ per il "m for RF" e la tripla $1,1,0$ per "n for LO". Inoltre deve essere disabilitato il secondo generatore di segnale quello relativo al segnale LO. Deve essere inserito il path del file della calibrazione del cavo di ingresso (Radio frequency cable) e del cavo di uscita (Output frequency cable).

Misure delle armoniche dell'amplificatore

La misura consiste nel determinare le armoniche che il componente o il sistema genera in seguito all'applicazione di un segnale di ingresso con una certa potenza.

In questo caso il set up dei parametri prevede la tripla $2, max, step$ per il "m for RF" e la tripla $1,1,0$ per "n for LO". Inoltre deve essere disabilitato il secondo generatore di segnale quello relativo al segnale LO.

Deve essere inserito il path del file di calibrazione del cavo di ingresso (Radio frequency cable) e del cavo di uscita (Output frequency cable).

Misura Harmonic Intermodulation Products di amplificatore di secondo e terzo ordine

La misura consiste nel calcolare e determinare i prodotti di intermodulazione quando in ingresso all'amplificatore sono collegati due distinti segnali a differenti frequenze f_1 ed f_2 per esempio tramite un divisore di potenza. Impostando in modo adeguato "m for RF" con la tripla $-3,3,1$ e "n for LO" con la tripla $-3,3,1$. I valori da prendere in considerazione sono: prodotto di intermodulazione di secondo ordine: $m=2, n=2, m=1, n=-1$ e $m=n=1$; i prodotti di intermodulazione del terzo ordine sono: $m=3, n=3, n=m=2, n=-1; m=2, n=1; m=1, n=2, m=-2, n=1$. Il grafico è in fase di sviluppo.

Deve essere inserito il path del file della calibrazione del cavo del segnale in ingresso a frequenza f_1 (Radio frequency cable), del cavo del segnale in ingresso a frequenza f_2 (Local Oscillator cable) e del cavo di uscita (Output frequency cable).

Misura del punto di compressione di un mixer

La misura consiste nel determinare il punto in cui la corrispondenza tra ingresso e uscita non è più lineare e la misura differisce di 1 dB rispetto alla proiezione lineare ideale. Nel caso del mixer si opera su due range di frequenza differenti: quella in ingresso che generalmente è indicata come RF e quella in uscita che generalmente è indicata come IF.

In questo caso il set up dei parametri prevede la tripla $1, 1, 1$ per il "m for RF" e la tripla $1, 1, 1$ per "n for LO". Devono essere abilitati entrambi i generatori. Deve essere inserito il path del file della calibrazione del cavo di ingresso (Radio frequency cable), del cavo di riferimento al mixer (Local Oscillator cable) e del cavo di uscita (Output frequency cable).

Misura del conversion loss di un mixer

La misura consiste nel determinare il rapporto tra la potenza in ingresso (RF) rispetto alla potenza in uscita (IF). In questo caso il set up dei parametri prevede la tripla $1, 1, 1$ per il "m for RF" e la tripla $1, 1, 1$ per "n for LO".

Deve essere inserito il path del file della calibrazione del cavo di ingresso (Radio frequency cable), del cavo di riferimento al mixer (Local Oscillator cable) e del cavo di uscita (Output frequency cable).

Misura Spurious distribution di un mixer

Misura la distribuzione delle spurie di un mixer, in funzione del segnale di ingresso RF e del segnale di riferimento LO. In questo caso il set up dei parametri prevede la tripla $-m', m', 1$ per il "m for RF" e la tripla $-n', n', 1$ per "n for LO". Devono essere abilitati entrambi i generatori. Deve essere inserito il path del file della calibrazione del cavo di ingresso (Radio frequency cable), del cavo di riferimento al mixer (Local Oscillator cable) e del cavo di uscita (Output frequency cable).

Prima di procedere a questo tipo di misure è necessario calibrare i cavi, e per farlo deve essere utilizzata la funzione "Calibration Cable" implementata nel software RFLab.

Per effettuare tutte misure sopra elencate è necessario utilizzare uno o due generatori di segnale e un analizzatore di spettro. Il generatore della RF è impostabile attraverso la finestra "Radio Frequency", Il generatore della LO è impostabile attraverso la finestra "LO Frequency", infine l'analizzatore di spettro è impostabile attraverso la finestra "Spectrum Analyzer".

Per limitare il numero di misure è opportuno impostare dei limiti in frequenza inserendoli negli apposite textbox.

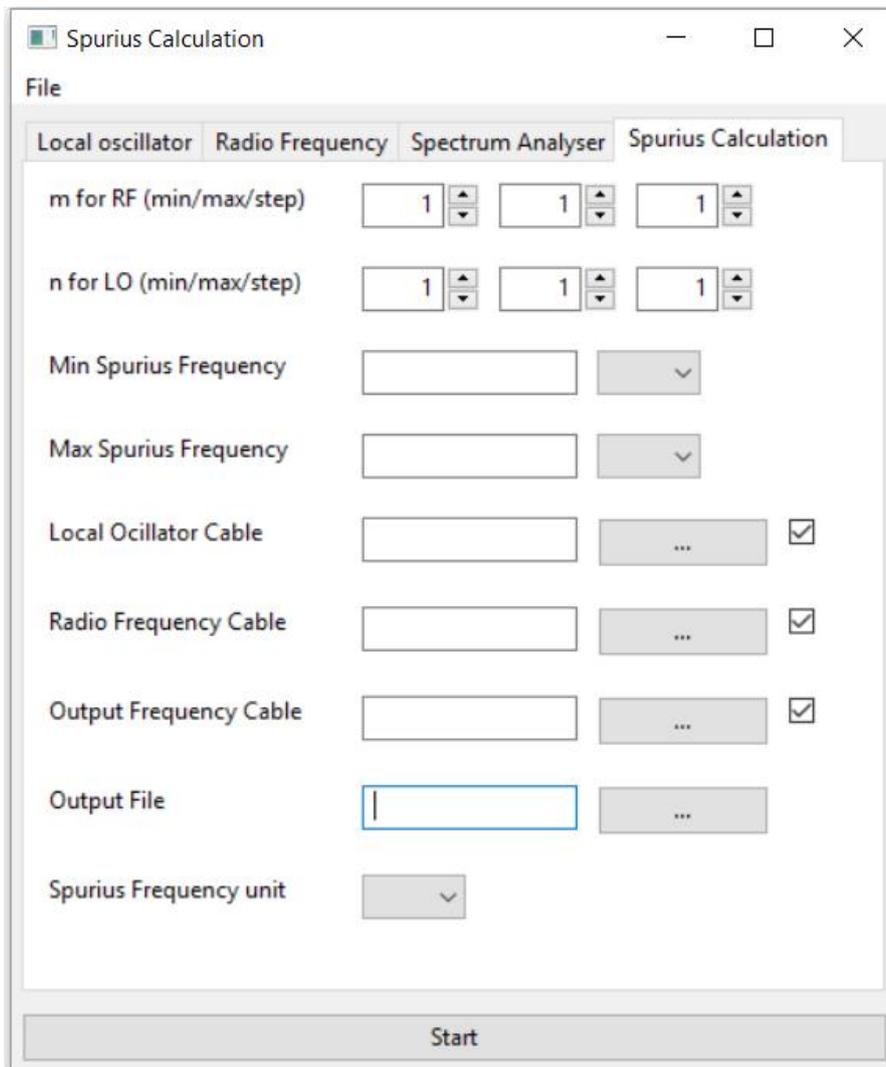


Figura 12: Interfaccia di setup della misura per la calibrazione del cavo

mm-submm power meter measure

La funzione di misura “mm-submm power meter measure” è utilizzata per la caratterizzazione della potenza in modulo di dispositivi che operano nel campo delle frequenze millimetriche. In particolare nello specifico esso misura potenze nel range tra 75-110 GHz.

Funzioni di misura in fase di sviluppo

Le funzioni di misura “Continuous Measure” e “Calcolare Allan Deviation” sono in fase di sviluppo e per la prima delle due è in fase di sviluppo anche la creazione dei grafici.

3. Creazione dei grafici

È stata realizzata una sezione specifica del programma per la creazione di grafici con la possibilità per l’utente di inserire alcune personalizzazioni.

Per tutti i grafici è possibile personalizzare la dimensione dei caratteri per il titolo della pagina, il titolo del grafico, il titolo della legenda, le linee della legenda, il titolo degli assi X e Y, gli indicatori degli assi X e Y, l'etichetta dei punti.

Per i grafici è inoltre possibile definire il testo del titolo della pagina, il testo del titolo del grafico, il testo dell'asse X, Y e Z dove presente. Per quanto riguarda invece la gestione degli assi cartesiani è possibile specificare il range degli assi, il passo delle etichette e le unità di misura.

Graph spurious plot,

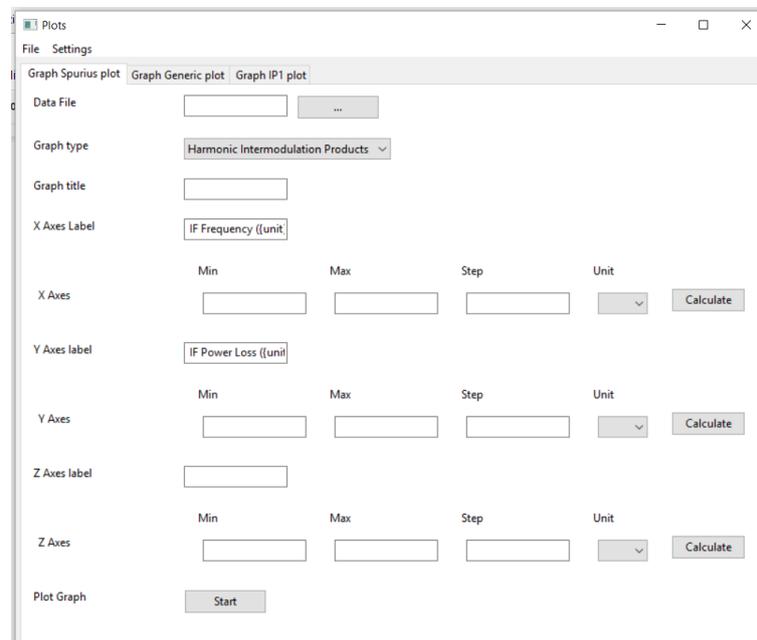


Figura 13: Finestra di impostazione per la generazione dei grafici

Tramite l'interfaccia in Figura 13 è possibile realizzare 4 tipi di grafici:

- Compression Point
- Conversion Loss
- Spurious distribution
- Harmonic Intermodulation Products

I file di input di questo tipo di grafici è il file csv ottenuto dalla misura di "Calculate Spurious". I range indicati per gli assi X, Y, e Z possono essere estratti dal file di misura tramite i rispettivi pulsanti "Calculate".

Compression Point

La misura consiste nel determinare il punto in cui la corrispondenza tra ingresso e uscita non è più lineare e la misura differisce di 1 dB rispetto alla proiezione lineare ideale.

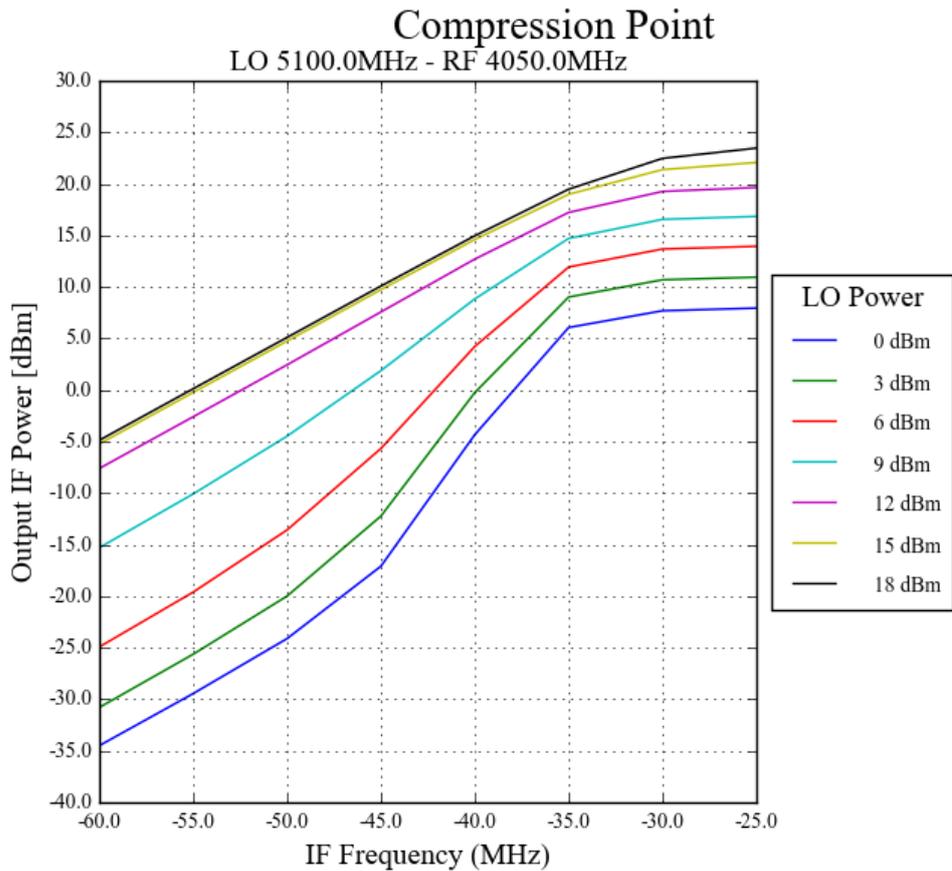


Figura 14: Grafico del compression point

La misura di compression point rappresentata nel plot in Figura 14 è relativo ad un mixer. I parametri fissati sono la frequenza del segnale di ingresso e la frequenza dell'oscillatore locale. I parametri che variano sono la potenza del segnale di ingresso e la potenza dell'oscillatore locale. In questo caso specifico si nota come aumentando il valore di potenza dell'oscillatore locale sino a valori di specifica (circa 13 dBm) si ha un miglioramento del punto di compressione che si sposta su valori di potenza maggiori.

Il grafico in Figura 15 mostra il punto di compressione su un amplificatore a radio frequenza

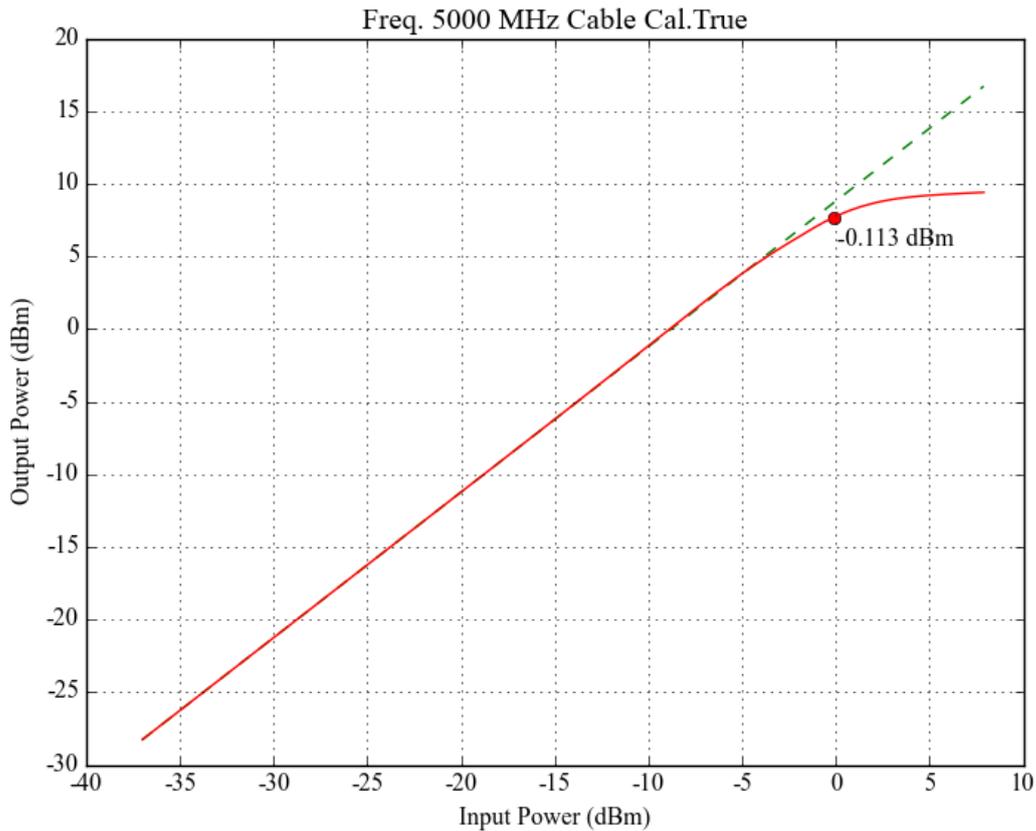


Figura 15: Grafico del compression point per un amplificatore

In questo caso fissata la frequenza di ingresso il segnale viene fatto variare in potenza. Il valore nel caso specifico riportato nel plot è pari a circa 0 dBm.

Conversion Loss (o Conversion Gain)

Il grafico in Figura 16 rappresenta il rapporto tra la misura di potenza in ingresso (RF) rispetto alla misura di potenza in uscita (IF).

Nel caso specifico il grafico mostra la misura di conversion gain dell'intero sistema di down conversione del ricevitore banda S. Il grafico mostra il guadagno variando la frequenza di ingresso e misurando la potenza di uscita del sistema di conversione nella frequenza intermedia corrispondente. Inoltre è variata in un range fissato la potenza dell'oscillatore locale. Si nota nello specifico caso come aumentando la potenza dell'oscillatore locale il conversion gain aumenta sino a saturare per valori di potenza dell'oscillatore locale. Notare che la potenza del segnale in ingresso è fissato e non è variabile.

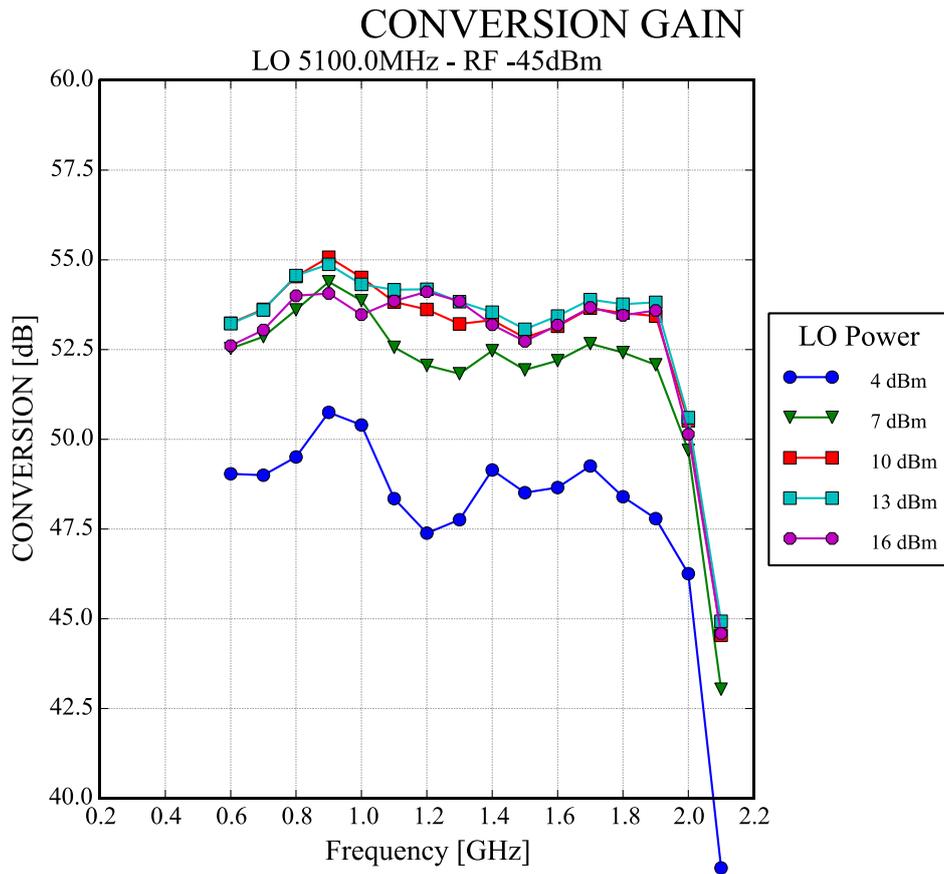


Figura 16: Grafico del conversion gain

Spurious Distribution

Questo tipo di grafico permette di avere una visione della distribuzione delle spurie generate dal DUT o SUT in cui è presente una conversione di frequenza. Nello specifico, indicata dal grafico in Figura 17, quella rappresentata è la situazione delle spurie del sistema di conversione del ricevitore banda S. Questo significa che sono presenti tutte le armoniche generate dai prodotti di intermodulazione tra il segnale RF di ingresso e il segnale di riferimento LO. Il tutto tenendo costante la potenza del segnale di ingresso, la potenza del segnale di riferimento e la frequenza del segnale di riferimento.

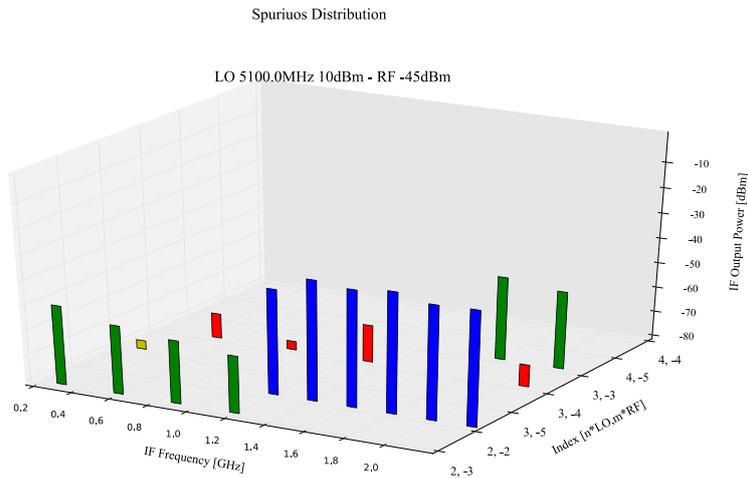


Figura 17: Grafico della distribuzione delle spurie

Harmonic Intermodulation Products

Questo tipo di grafico permette di avere una visione della distribuzione delle spurie generate dal DUT o SUT nel caso in cui vi sia un amplificatore e non ci sia un sistema di conversione. I parametri che sono fissi sono la frequenza del segnale di ingresso mentre la potenza in ingresso viene fatta variare. In funzione di questo vengono graficate le armoniche sino all'ordine m deciso nella tripla della funzione che avvia la specifica misura.

Graph generic plot

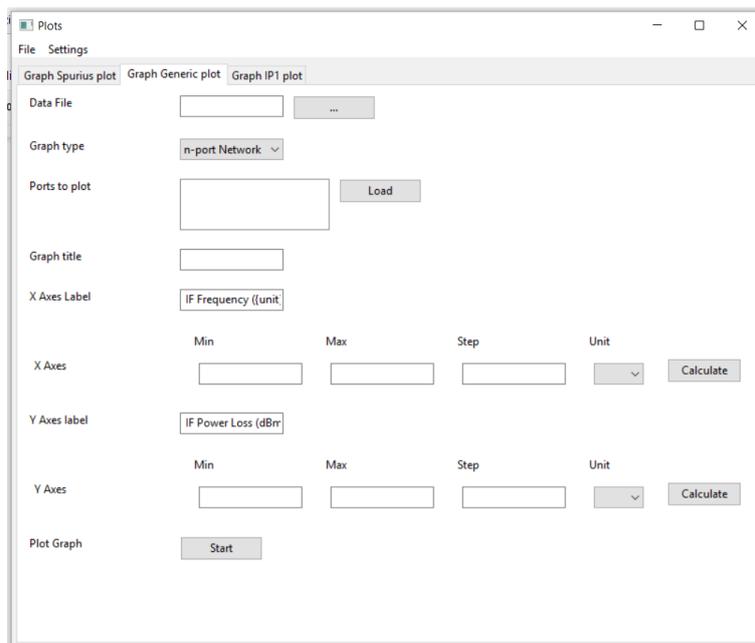


Figura 18: Finestra per la creazione dei grafici generici basati su dati non generati da RFLab

Tramite l'interfaccia in Figura 18 è possibile generare 2 tipi di grafici:

- Generic Graph
- n-port network

I grafici di questo tipo prendono in input i file in formato touchstone. Selezionato il file si procede con il pulsante "Load" per analizzarlo e caricare la lista delle porte presenti. È possibile quindi selezionare quelle delle quali si vuole creare il grafico.

Come per gli altri grafici è possibile impostare il titolo del grafico, quello degli assi e il loro range.

In Figura 19 un esempio di grafico di tipo n-port network.

Questo tipo di opzione del software è stata impostata per una analisi completa delle misure nello specifico eseguite con altri strumenti che al momento non sono stati inseriti nell'applicativo RFLab. Inoltre permette di avere una uniformità dei grafici che scaturiscono dalle misure in laboratorio.

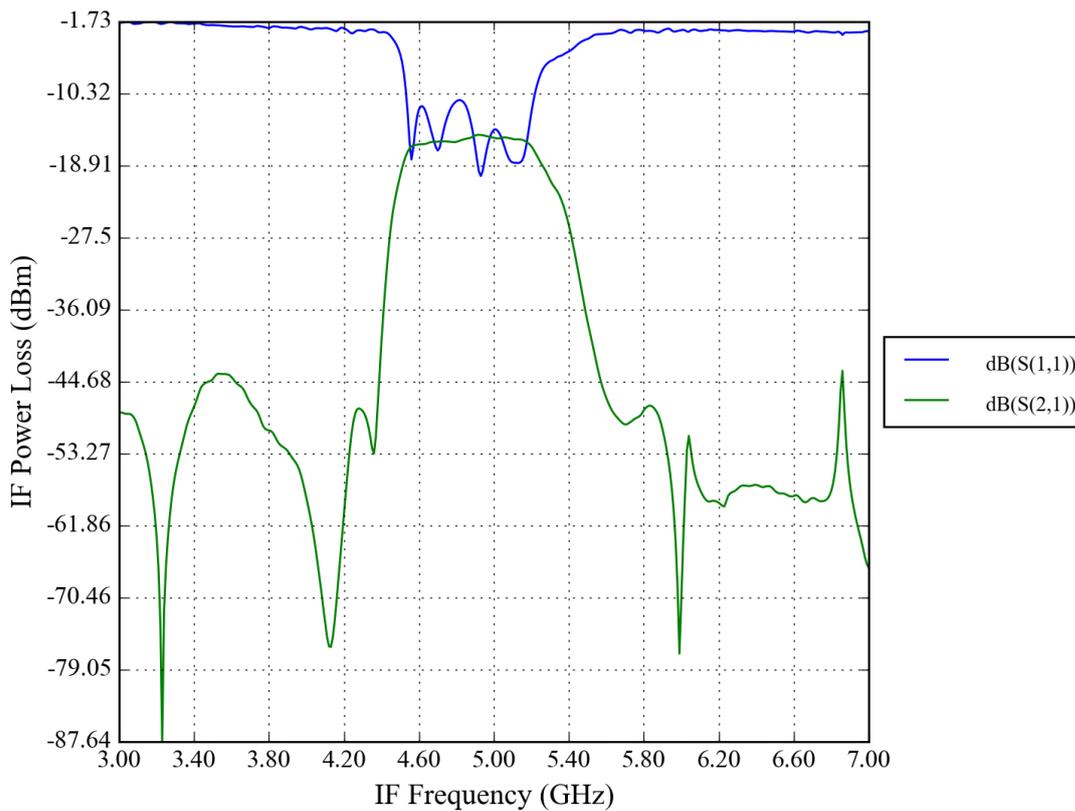


Figura 19: Grafico dei parametri S

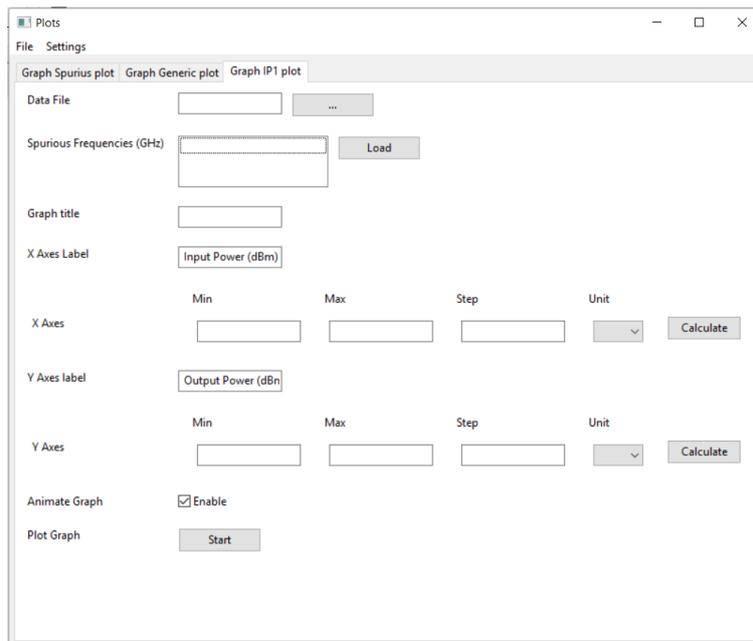


Figura 20: Finestra per creazione dei grafici IP1

4. Il salvataggio dei risultati

L'output dei risultati delle misure è sempre salvato su due file: un file in formato testo e un file in formato CSV direttamente editabile tramite un foglio di calcolo. Oltre i due file con i dati viene salvato un file con le impostazioni di configurazione della misura. Il nome utilizzato per i file prevede l'aggiunta in coda di una stringa per identificare la data secondo lo standard iso 8601 in formato base con data e ore, minuti e secondi (YYYYMMDDhhmmss) ora locale, questo impedisce che vengano sovrascritti i risultati di misure precedenti e avere sempre un'informazione precisa sulla data in cui è stata effettuata la misura.

Per alcune misure è previsto come output anche la creazione di uno o più grafici in 3 formati: due vettoriali (SVG e EMF) e uno raster (PNG).

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Il software si è dimostrato flessibile e adattabile a diversi campi di applicazione ed è stato utilizzato per effettuare le misure di caratterizzazione di componentistica e sistemi a microonde. In particolare lo sviluppo del software è andato di pari passo con lo sviluppo del sistema ricevente radioastronomico per fuoco primario di SRT, ovvero il ricevitore multifeed banda S (3-4.5 GHz).. RFLab ha permesso un notevole risparmio di tempo e minimizzazione degli errori nella fase di misura e la possibilità di eseguire lunghe sessioni di misure senza la necessità della presenza di un operatore (notte, weekend etc). Questo infatti, all'occorrenza poteva collegarsi tramite software di desktop remoto per monitorare l'andamento della misura, interromperla o riavviarla. La creazione automatica dei grafici ha permesso di mantenere una grafica sempre uguale ed armonica pronta per essere inserita nella pubblicazione per illustrare i risultati ottenuti.

RFLab utilizza un buon livello di astrazione sugli strumenti di misura implementati e questo permette di pianificare una riscrittura di queste interfacce utilizzando un sistema di controllo di device come per esempio TANGO.

Come traspare dalle sezioni precedenti software è solo all'inizio del suo sviluppo e con gli altri colleghi esperti nelle misure a microonde è previsto uno sviluppo che prevede l'inserimento di altri strumenti (Vector Network Analyzer e Noise Figure, alimentatori Dc, etc). Inoltre anche sugli strumenti già implementati sono previste ulteriori funzioni di controllo. Per quanto riguarda le misure in sviluppo sono previsti l'implementazione del intercetta del terzo ordine sia sull'amplificatore che sul mixer e misura di rumore con il fattore Y e i relativi grafici.

6. Riferimenti

- [TNG] TANGO - an object oriented control system based on CORBA, ICALEPCS 1999, Trieste (Italy)
- [PYT] G. van Rossum, Python tutorial, Technical Report CS-R9526, Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam, May 1995.
- [WX] <http://wxpython.org/>
- [NPY] Stéfan van der Walt, S. Chris Colbert and Gaël Varoquaux. The NumPy Array: A Structure for Efficient Numerical Computation, Computing in Science & Engineering, 13, 22-30 (2011), DOI:10.1109/MCSE.2011.37
- [MLP] John D. Hunter. Matplotlib: A 2D Graphics Environment, Computing in Science & Engineering, 9, 90-95 (2007), DOI:10.1109/MCSE.2007.55
- [PVS] <https://pypi.python.org/pypi/PyVISA>
- [SPY] Jones E, Oliphant E, Peterson P, et al. SciPy: Open Source Scientific Tools for Python, 2001-, <http://www.scipy.org/> [Online; accessed 2016-12-06]
- [PYS] <https://pypi.python.org/pypi/pyserial>
- [TCH] <http://scikit-learn.readthedocs.io/en/v0.11/reference/touchstone.html>
- [TSC5] andre.young@cfa.harvard.edu
- [INK] <https://inkscape.org/en/>
- [SAB] http://www.oa-cagliari.inaf.it/download.php?id_file=lk0nJ7Vfj6gcRYYRGK2VVqzXlpUkIDBHVA0XJ0fio9vHQbdFVIYFEKGFYLLolwO3OXDGLbBIPUcOwbwLFxJPg%3D%3D
- [PM5] <http://vadiodes.com/index.php/en/products/power-meters-erickson>
- [CSV] <https://tools.ietf.org/html/rfc4180>
- [BDW] A. Ladu; P. Ortu; A. Saba; M. Pili; F. Guadiomonte; A. Navarrini; E. Urru; T. Pisanu; G. Valente; P. Marongiu; G. Mazzarella; The control system of the 3 mm band SIS receiver for the Sardinia Radio Telescope. Proc. SPIE 9914, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy VIII, 991423 (July 20, 2016); doi:10.1117/12.2232703.
- [AGL] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5963-6944E.pdf?id=1000030610:epsg:dow>
- [KEY] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5952-1911.pdf?id=1000070156:epsg:dow>
- [MCT] <http://194.75.38.69/pdfs/MSP2T-18XL+.pdf>