

Nicola del Ciotto

UN DISTORSIOMETRO SPERIMENTALE

Preambolo

A chiusura del discorso sul Ponte di Wien, iniziato con l'articolo **“Il Ponte di Wien”**¹ e continuato con **“Un buon generatore B.F. fatto in casa”**², descrivo ora, passo passo, la realizzazione di un **filtro arresta-banda** analogico per letture di distorsione B.F. ideato e costruito utilizzando la normale componentistica integrata lineare.

Il lavoro è esclusivamente sperimentale e non ha alcuna smania di produrre uno strumento di misura di precisione ma deve solo considerarsi come la continuazione della discussione che sto portando avanti sullo studio teorico-applicativo del Ponte di Wien.

Sono ben altri i veri “Distorsimetri” prodotti da poche ditte specializzate.



Foto dello strumentino che contiene il filtro arresta-banda. Il contenitore ha le dimensioni di 80x170x200mm e porta il N°50/2000 sul catalogo di una nota ditta italiana di componentistica (Catalogo 2008)

Questo strumentino (lo chiamerei più esattamente “accrocchetto”), però, può avere la sua parte di utilità in un laboratorio amatoriale almeno per misure relative o di paragone: per esempio può essere usato per trovare un minimo di distorsione nella messa a punto della polarizzazione di uno stadio finale Hi.Fi. senza avere la pretesa di conoscere con esattezza il suo vero valore.

E' come dire che l' “accrocchetto” è buono in mancanza d'altro.

Se poi volessi pretendere che la lettura fornita dallo strumentino, il quale dovrebbe avere innanzi tutto un rumore di fondo talmente basso da non poter essere apprezzato dalla più piccola

¹ - Sezione “Tecnica”, reparto “Teoria” sul sito “Le Radio di Sophie”

² - Sezione “Tecnica”, reparto “Strumentazione” sul sito “Le Radio di Sophie”

portata richiesta, dia effettivamente il valore vero della distorsione, avrei bisogno, come minimo, di un segnale campione indistorto per la sua taratura ma dovrei anche aver costruito un filtro con banda scura talmente stretta da non attenuare affatto la seconda armonica! Per essere certo di ottemperare a questa ambiziosa affermazione avrei bisogno di un analizzatore di spettro B.F. o di un voltmetro selettivo! E con questi strumenti da favola saprei costruire tale filtro? E' come dire che, se avessi uno "Stradivari", immediatamente sarei in grado di suonare un violino!
Perciò il lavoro è da considerarsi come uno studio applicativo di massima al solo livello di idee, un tentativo di costruzione comunque molto interessante.

----*----

Poter disporre di un distorsiometro B.F. nel laboratorio è stato sempre un mio sogno ma per svariati motivi (non ultimo il prezzo) ciò non si è mai avverato, così già da molto tempo ho abbandonato l'idea di un suo acquisto.

Una rivisitazione della teoria del ponte di Wien portata avanti negli ultimi periodi ha però risvegliato in me questo antico desiderio. Sono tornato a rivedere e sfogliare con attenta venerazione i vari manuali in mio possesso, tra i quali quelli dei famosi HP331A e HP334A. Ho guardato e riguardato gli schemi, ho riletto con fatica il testo in inglese per percepire qualcosa sul segreto della loro bontà. Ho anche ripreso tra le mani un mio vecchio libro di testo universitario di "Misure Elettriche" che io studiai alla fine degli anni '50 e vi ho riscoperto qualche buona idea sulle applicazioni del ponte di Wien in circuiti a valvole. Insomma, qualcosa ho rispolverato, ho captato.

Poi ho dato il tempo di pensare ai miei attempati neuroni.

Mentre rielaboravo i due articoli "*Il Ponte di Wien*" e "*Un buon generatore B.F. fatto in casa*" la mia mente andava innanzi e mi presentava alcune soluzioni costruttive, praticamente tutte irrealizzabili con l'attrezzatura e con il materiale a mia disposizione. Però mi sembrava che l'idea di realizzare un *distorsiometro sperimentale* fosse anche il giusto, se non doveroso, completamento applicativo delle mie argomentazioni su questo versatile ponte.

La presenza nel laboratorio di un ottimo millivoltmetro analogico (HP400E) mi ha fornito l'idea finale. Un giorno guardai questo strumento con un'ottica diversa e dissi tra me e me:

"Perché costruire tutto il distorsiometro completo di misuratore, visto che ho già lo strumento di lettura? Cercherò di costruire solo il filtro!"

Così l'idea è stata lanciata ed infine si è anche bene o male concretizzata.

Il circuito teorico di base

Il circuito teorico di base del filtro è il Ponte di Wien

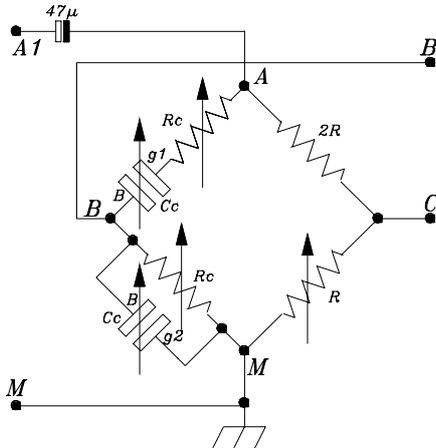


Fig.01 Il Ponte di Wien

Sappiamo già tutto ciò che occorre sul suo funzionamento³. Sappiamo calcolare i suoi componenti e conosciamo quali sono le condizioni per raggiungere l'equilibrio. Sappiamo che, alimentato dal segnale tra i punti A ed M (Fig.01), va in equilibrio quando la tensione nel punto B, variabile con la frequenza, eguaglia, in modulo e fase, la tensione costante nel punto C, ossia quando la differenza di potenziale V_{BC} tra i punti B e C raggiunge il valore nullo.

Perciò non dobbiamo fare altro che *misurare con precisione questo valore*.

Ci avventureremo quindi nella **costruzione sperimentale** di un circuito capace di fare questa misura.

Il cuore di questo circuito è il *filtro arresta-banda*.

³ - Per l'approfondimento può essere utile consultare l'articolo "*Il ponte di Wien*" nella sezione "Tecnica" (reparto "Teoria") sul sito "Le Radio di Sophie".

Il filtro arresta-banda

L'espressione generale teorica della Distorsione Totale o THD (THD = Total Harmonic Distortion) è data da:

$$d = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{\sqrt{V_1^2}} \quad (01)$$

che definisce come distorsione il rapporto tra il valore efficace del segnale prodotto da tutte le armoniche e il valore efficace del solo segnale puro.

Poiché in pratica la misura di V_1 non è possibile (avremmo già il segnale puro o già selezionato!), si adopera l'espressione

$$d = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}} \quad (02)$$

che è tanto più vicina alla (01) quanto più piccola è la quantità di distorsione ossia quanto più $V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots$ è trascurabile rispetto a V_1^2 .

L'azzeramento totale del ponte può avvenire solo se il numeratore della (02) è uguale a zero, ossia se non vi sono armoniche in quanto il segnale è già perfettamente sinusoidale.

Se il numeratore non è zero vuol dire che vi sono armoniche e il millivoltmetro leggerà questa quantità ($V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots$), la quale, rapportata al segnale totale $V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots$ sul fondo scala posto uguale al 100%, mi fornirà direttamente la quantità percentuale di distorsione.

Detto questo si può andare avanti.

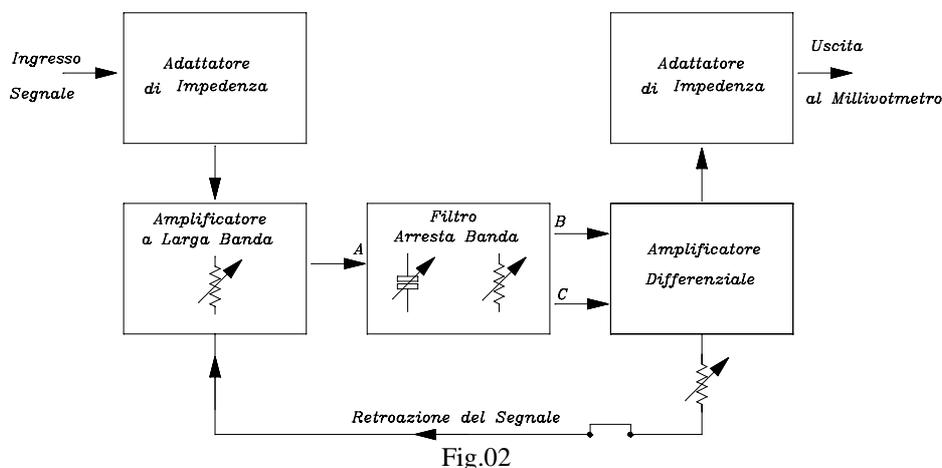


Fig.02

In Fig.02 è rappresentato lo schema a blocchi del filtro come inizialmente io l'ho concepito.

Si inizia con un “**Adattatore d'impedenza**” formato da un inseguitore di tensione ad alta resistenza d'ingresso, necessario per non caricare il circuito sotto prova. Il blocco successivo è un “**Amplificatore a larga banda**” necessario per portare il livello di segnale a valori accettabili per il “**Filtro arresta-banda**” che è il blocco filtrante.

Il blocco filtrante è il cuore del sistema ed è formato dal ponte di Wien.

Il filtro produce i due segnali (segnale nel punto C e segnale nel punto B di Fig.01) che devono essere confrontati e differenziati mediante il blocco “**Amplificatore Differenziale**”. L'uscita del segnale differenza viene applicato ad un inseguitore di tensione che forma un altro “**Adattatore d'impedenza**” per avere un'uscita a bassa resistenza tale da potersi paragonare ad un generatore di tensione. Questa uscita sarà collegata al millivoltmetro esterno (per es. all'HP400E). In fase di taratura finale, tramite la chiusura di un cavallotto, viene introdotta la controreazione per ridurre il rumore di fondo e stringere il più possibile la banda soppressa del filtro.

Tutta la circuiteria è realizzata con componenti integrati allo stato solido facilmente reperibili. L'amplificatore a larga banda è costituito dall'integrato **LM318** (ma va bene anche un LF351). Gli altri sono comuni **LF351**.

Relazione sulle fasi di costruzione

Per avere una variazione di frequenza che possa essere a scatti di gamma in gamma e continua entro ciascuna di esse, *il filtro a Ponte di Wien può essere realizzato in due modi*: con la parte resistiva variabile in modo continuo mentre la parte capacitiva è variabile a scatti, oppure con la parte capacitiva variabile in modo continuo mentre la parte resistiva è variabile a scatti.

Ho provato tutti e due i modi e ho notato che ambedue hanno pregi e difetti.

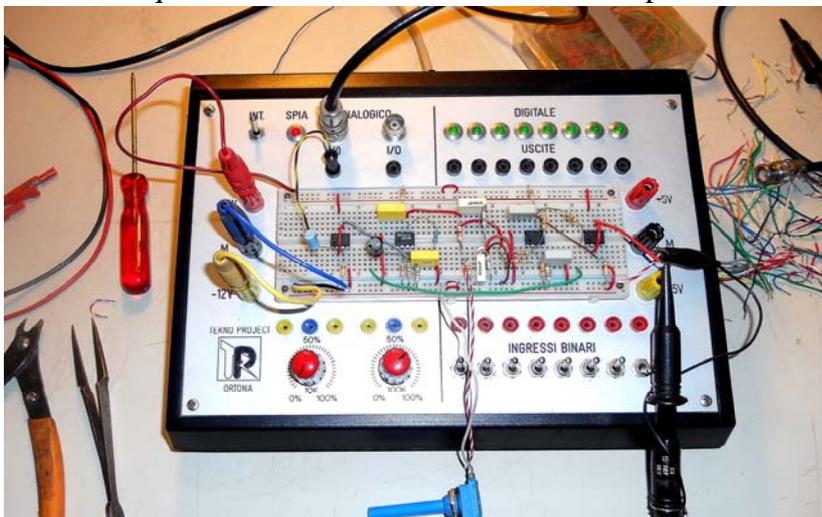
La soluzione con la parte resistiva variabile in modo continuo necessita di un potenziometro doppio la cui ampia variazione può ridurre il numero delle gamme. Per contro i potenziometri doppi di comune reperimento (quindi non professionali) hanno troppa tolleranza di linearità e notevole diversità di valori resistivi tra l'una e l'altra sezione, rovinando di fatto il calcolo teorico; inoltre **producono troppo rumore per strisciamento e mostrano salti e buchi di sintonia** quando sono stati usati per qualche tempo. Questi difetti portano ad un difficile accordo.

Tale soluzione, però, ha fornito **un livello di rumore di fondo veramente molto basso**, il cui valore si aggira sui $0,3mV_{eff}$, che possono diminuire fino a $0,2mV_{eff}$ con un adeguato controllo sulla controeazione. Ciò significa che si riesce a leggere con un po' di discernimento una distorsione sui valori iniziali della portata dello 0,1% f.s. del millivoltmetro (ossia si possono apprezzare distorsioni dell'ordine dello 0,03 / 0,04%, magari con l'aiuto anche di qualche calcoletto, come si vedrà in seguito).

La soluzione con la parte capacitiva variabile in modo continuo necessita di un condensatore variabile a due sezioni **molto ingombrante** che non ha una grande escursione di valore per cui sono necessarie molte gamme per coprire la banda desiderata. Inoltre è necessario **isolare bene da massa il perno di rotazione**. In compenso la sintonia è molto graduale e micrometrica.

Per contro, a causa delle larghe superfici delle lamine del variabile e dell'alta impedenza del variabile stesso, **il rumore di fondo sale di molto** raggiungendo il valore vicino a $3mV_{eff}$ rovinando decisamente la lettura già ad una portata del 3% f.s. specialmente sulle gamme basse. Questa situazione porta alla necessità di eccellenti schermature, di non facile realizzazione in un laboratorio casalingo, molto carente di attrezzature meccaniche.

Nella foto qui sotto è mostrata la realizzazione sperimentale del prototipo, montato su una basetta



bucherellata per esperimenti. Posto il circuito in funzione, il risultato è stato immediato e molto positivo.

L'accordo è stato semplice e lineare, il bilanciamento e il raggiungimento del minimo di lettura facile e veloce.

Incoraggiato dai risultati sono passato immediatamente alla realizzazione dei circuiti stampati (forse con troppa fretta).

Per una eventuale costruzione definitiva ho optato **inizialmente** per il metodo con il condensatore

variabile, pensando di poter riuscire a ridurre il rumore di fondo con giuste ed appropriate schermature.

Alla fine, poiché non sono riuscito ad abbassare sufficientemente questo rumore di fondo, ho dovuto [scegliere il metodo con il potenziometro doppio.](#)

Realizzazione dell'alimentatore

Ho realizzato innanzitutto l'alimentatore per avere subito a disposizione le sorgenti di tensione adeguata senza incorrere pericolosamente nel groviglio di cavi provenienti dagli alimentatori da banco. Il circuito dell'alimentatore, disegnato in Fig.03, è formato da due trasformatori ad ognuno dei quali è applicato un raddrizzatore ed un regolatore di tensione integrato per produrre la tensione prevista (+/-12V). Il circuito è semplice per cui non mi dilungo di più sul suo funzionamento.

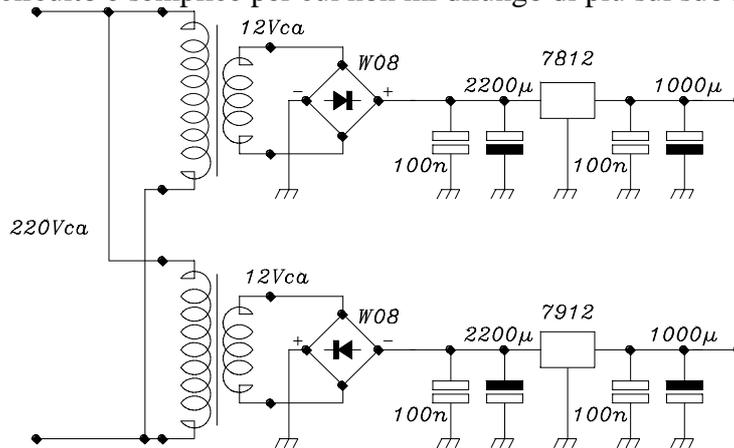


Fig.03

Il suo circuito stampato è riportato in Fig.04 e non mostra nulla di particolare. I piccoli trasformatori sono stati acquistati presso una delle tante Mostre Mercato che si organizzano in Italia e portano la sigla EI 30/18 con primario 230V, secondario 12V e potenza di 2,3VA. Possono essere sostituiti tranquillamente da equivalenti.

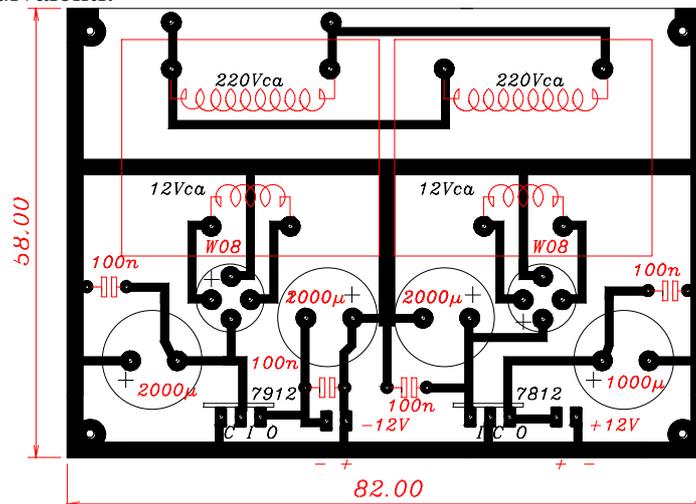


Fig.04

Tutto il resto è di comune reperibilità. Le misure della piastra sono 82x58mm.

Realizzazione del circuito associato al filtro.

Dedichiamo, ora, un po' di spazio alla descrizione del prototipo.

In Fig.05 è mostrato lo schema globale del filtro che è stato pensato, studiato e poi assemblato sulla basetta per esperimenti. Il primo integrato è un **LF351** montato come inseguitore di tensione in modo da avere un'alta impedenza d'ingresso per non caricare il circuito su cui si fa la misura. Non è

doppio. La prima manopola in alto a destra procura, con la rotazione del perno del potenziometro, la sintonia. Le altre due manopole ad indice sono collegate ai potenziometri del bilanciamento grosso e fine. La manopola ad indice in basso è collegata al potenziometro che regola l'assetto del livello percentuale. Il piccolo deviatore "Assetto/Distorsione" si scorge con difficoltà tra il potenziometro doppio di sintonia e quello di bilanciamento grosso.

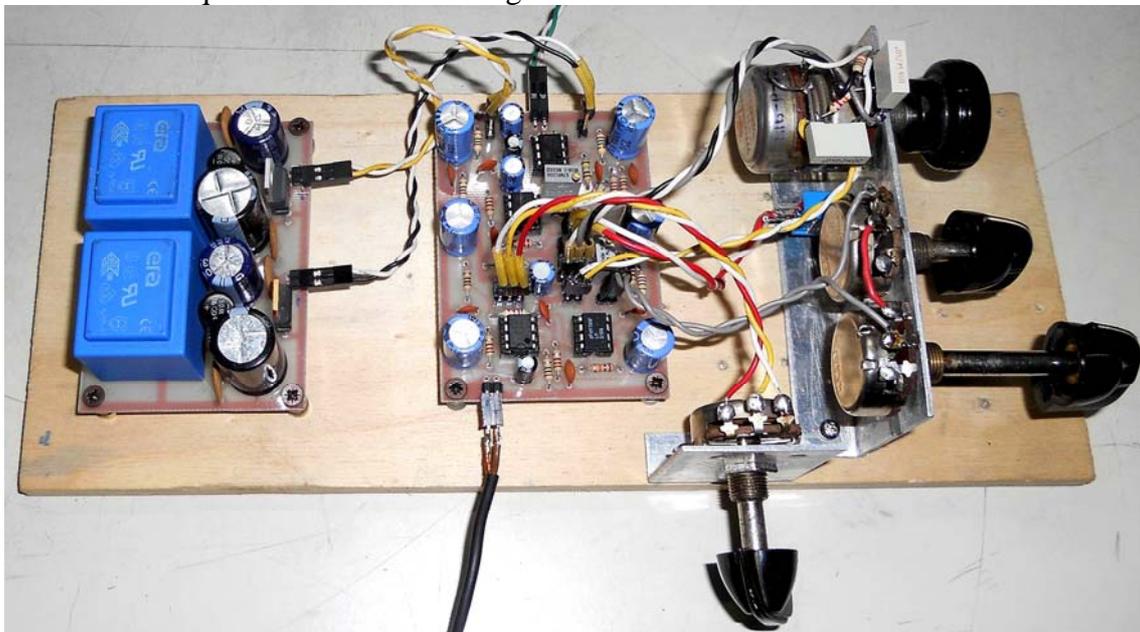


Foto del prototipo funzionante con il potenziometro doppio.

Il funzionamento è risultato eccellente ma l'uso del potenziometro ha reso difficile l'accordo per la presenza di rumore dovuto al cattivo contatto della spazzola strisciante. Ciò mi ha fatto presumere che, per una possibile versione definitiva, sarebbe stato necessario il possesso di un ottimo potenziometro doppio professionale di difficile reperimento.



Questa situazione mi ha indotto a preferire la capacità variabile anche se con qualche fatica in più. La soluzione adottata infatti, mi ha costretto ad armeggiare un pochino con il variabile per isolare la sua carcassa da massa. La foto qui a fianco dà un'idea del risultato. E' una soluzione che porta ad un notevole ingombro.

Il circuito del filtro a ponte di Wien è stato poi costruito tutto intorno al condensatore variabile, ancorando alcuni componenti sulle due fiancate di vetronite per l'isolamento. Esse sono servite da appoggio per i contatti tramite fori ed occhielli. Il

perno di rotazione è stato isolato dalla manopola mediante uno snodo cardanico di ceramica che ho ritrovato nell'archivio dei vecchi materiali. L'asse uscente è in plastica per ulteriore sicurezza.

In Fig.06 è riportata la trama del circuito stampato abbastanza ingrandita per poter osservare con chiarezza tutti i valori dei componenti e tutte le connessioni con l'esterno. Le dimensioni effettive sono 82x58mm. Vi è comunque troppa filatura per i collegamenti alla componentistica esterna a cui però, per il tipo di basetta già costruito, non ho potuto porre rimedio.

Poiché nel prototipo il filtro risentiva notevolmente dell'effetto della mano quando si aumentava la sensibilità del millivoltmetro, i collegamenti tra piastra e filtro sono stati realizzati con cavetti schermati e lo stesso filtro è stato circondato da uno schermo in alluminio. **Ciò non è stato sufficiente a ridurre il rumore.** Ho fatto altri tentativi. Il circuito del filtro è stato leggermente modificato. E' stata semplificata la parte resistiva del ponte eliminando il parallelo che si vede in Fig.05 tra la R (2,2K Ω) e il complesso di regolazione e sono stati aumentati i valori resistivi del ponte: il valore della "2R" è stato aumentato da 3,3K Ω , a 5,6K Ω , e si è portata fuori tutta la "R", formata dal trimmer multigiri di 500 Ω , dal potenziometro della regolazione grossa di 4,7K Ω , e da

Alla prova però si sono verificati tre fatti incresciosi:

1°) Il rumore di fondo si è portato su un valore di oltre $2mV_{eff}$ limitando la sensibilità dello strumentino a non oltre il 3% f.s., rendendolo di fatto inutilizzabile.

2°) le portate hanno fornito i risultati qui riportati, eccessivamente diversi da quelli calcolati:

1^a Portata: 100Hz (Campo: circa 600Hz – 8KHz invece di 18Hz – 180Hz)

2^a Portata: 1000Hz (Campo: circa 800Hz – 9KHz invece di 180Hz – 1,8KHz)

3^a Portata: 10000Hz (Campo: circa 3KHz - 28KHz invece di 1,8KHz - 18KHz)

4^a Portata: 100000Hz (Campo: circa 25KHz – 190KHz invece di 18KHz – 180KHz)

3°) Il bilanciamento è risultato difficile, allontanandosi sempre più dal valore di 1/3 al variare dell'accordo tra inizio e fine gamma.

Di fronte a questi valori e a queste situazioni apparentemente inspiegabili, sono stato costretto a **rivedere l'intero circuito**, specialmente a livello concettuale e mi sono accorto di aver trascurato due cose molto importanti. **Il buon funzionamento del ponte esige queste due condizioni teoriche:**

1°) Il ponte deve essere alimentato da un generatore di tensione ideale in modo che il segnale erogato rimanga costante al variare della sintonia e del bilanciamento e quindi del carico.

2°) La lettura della tensione d'uscita è valida se misurata con un voltmetro ideale ossia che abbia un'impedenza d'ingresso infinita.

In pratica ci si deve avvicinare il più possibile alle suddette condizioni. **Il mio semplice (direi semplicistico) circuito ne è molto lontano.**

Il lieve aumento del valore resistivo del ramo di bilanciamento e l'aumento di dieci volte delle resistenze d'ingresso al differenziale non hanno sortito risultati apprezzabili. **Le leggere correzioni al circuito quindi, non sono state sufficienti a migliorarlo.**

Il tutto, perciò, è da modificare radicalmente.

In base alle due condizioni su riportate il filtro deve essere preceduto da un inseguitore di tensione che si comporti come generatore di tensione e deve essere seguito da un altro inseguitore di tensione che mostri un'alta impedenza d'ingresso. Perciò il suo circuito (Fig.01) deve essere modificato come in Fig.07.

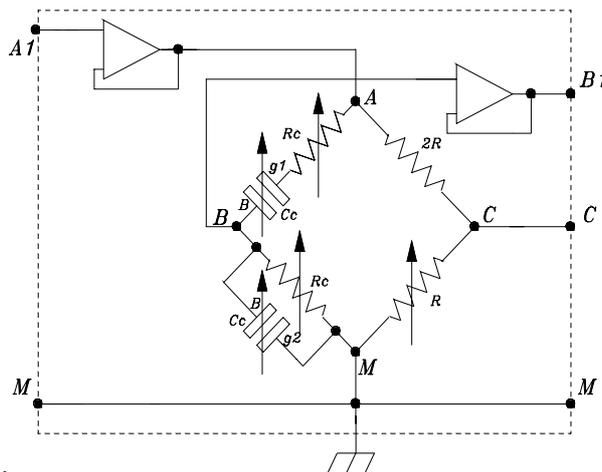


Fig.07 Il filtro con gli adattatori d'impedenza

Non è necessario mettere un inseguitore di tensione nel punto C perché il ramo resistivo del ponte è a bassa impedenza.

In Fig.08 è riportato lo schema definitivo dello strumentino con le correzioni.

La Fig.09 mostra lo schema modificato del filtro a ponte di Wien a condensatore variabile, con i vari collegamenti, sia tra la piastra del circuito stampato e il variabile che tra il variabile e il commutatore di gamma. Si può arguire come le cose si stiano leggermente complicando.

Il circuito sta diventando abbastanza complesso.

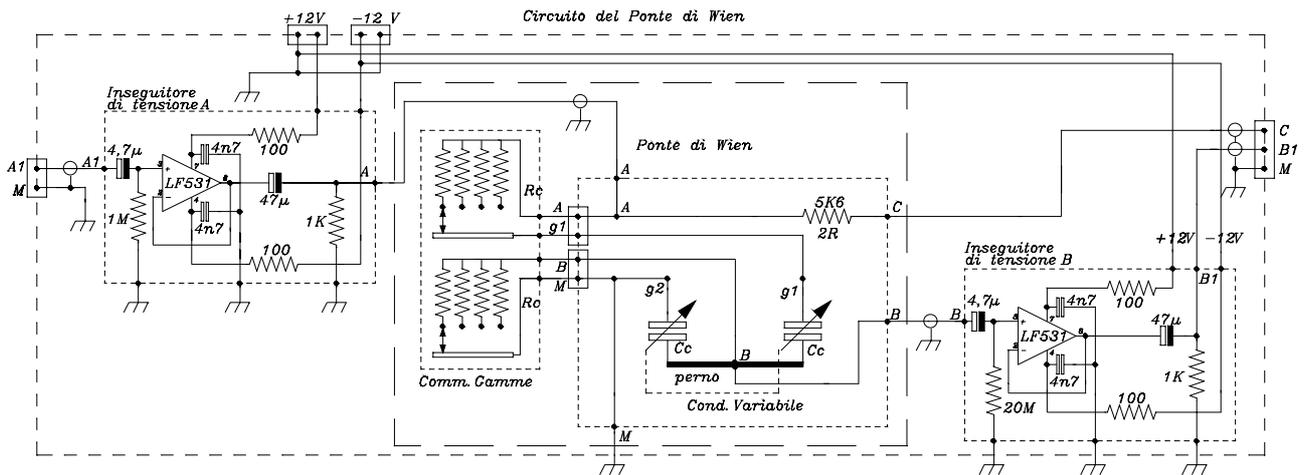


Fig.09 – Schema del circuito a ponte di Wien realizzato con il condensatore variabile

Le Fig.09a e 09b riportano le piastrine su cui sono montati i due adattatori d'impedenza.

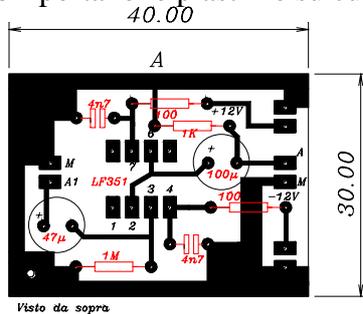


Fig.08a

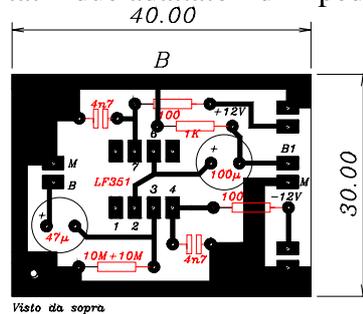


Fig.08b

I due circuiti sono uguali con l'eccezione delle resistenze d'ingresso ai due integrati.

Dopo le modifiche le portate sono risultate al collaudo:

- 1ª Portata:** 100Hz (Campo: circa 35Hz – 300Hz)
- 2ª Portata:** 1000Hz (Campo: circa 260Hz – 2,2KHz)
- 3ª Portata:** 10000Hz (Campo: circa 2,1KHz - 23KHz)
- 4ª Portata:** 100000Hz (Campo: circa 22KHz – 190KHz)

che risultano sensibilmente più vicine a quelle calcolate teoricamente e, fortunatamente, si sovrappongono anche. Pur avendo il secondo adattatore una resistenza d'ingresso di 20M, il risultato del parallelo con le resistenze del ponte porta ancora ad una discrepanza di valori, specialmente alle frequenze più basse dove le resistenze d'accordo sono più elevate.

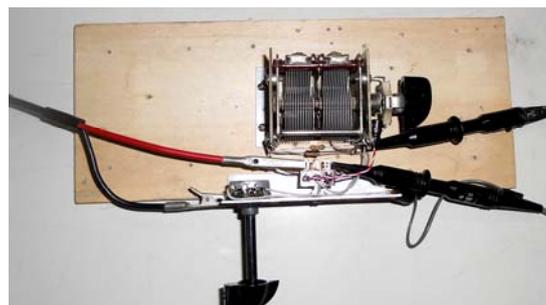
Comunque questa differenza di frequenze rispetto a quelle calcolate non produce alcun male in quanto i segnali utilizzati saranno sicuramente conosciuti tramite la scala del generatore o tramite un frequenzimetro. Non vi è perciò la necessità di costruire una scala graduata. Ho usato invece una demoltiplica per ottenere un accordo di sintonia il più dolce e il più fine possibile.

Alcune fotografie del lavoro fatto

Mostro, ora, alcune foto tra le più rappresentative dei vari passi del lavoro eseguito, che ha portato alla definizione del circuito conclusivo



La piastrina del circuito



Il filtro a Ponte di Wien, con condensatore variabile, in prova

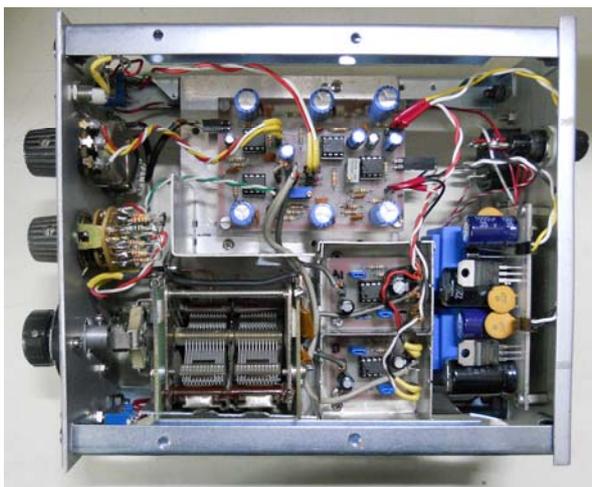
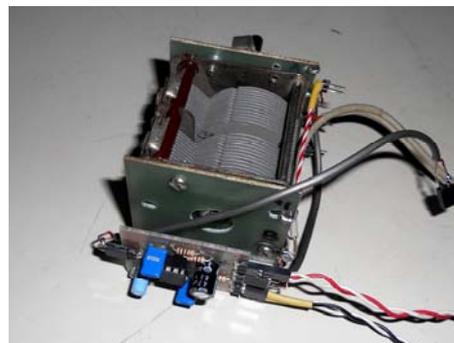
. E' evidente la notevole mole di lavoro meccanico che sono stato costretto ad eseguire, con i miei pochissimi attrezzi e nemmeno adeguati.



Il distorsiometro in una prima fase di montaggio con il variabile appoggiato e messo in asse con la demoltiplica per determinare la foratura di fissaggio ma non ancora completo né collegato al circuito.

Il condensatore variabile senza schermo di alluminio e con alcuni collegamenti schermati. Qui è presente la piastrina del solo circuito adattatore d'ingresso. In seguito è stata tolta da quella posizione perché provocava molto rumore.

Il sistema ha prodotto un ***rumore di fondo assolutamente inaccettabile*** che non permetteva affatto l'affinamento della lettura sulle portate più sensibili del millivoltmetro.



L'intero circuito con il filtro a condensatore variabile montato.

I due circuiti adattatori sono stati sistemati in un contenitore metallico diviso in due cellule. Uno schermo di alluminio è stato affiancato al variabile. Il contenitore a due cellule è senza coperchio per poter osservare la disposizione dei due circuiti adattatori al suo interno.

Nonostante tutte queste precauzioni ***il rumore di fondo è risultato ancora inaccettabile.***



E' mostrata la versione finale del distorsiometro con capacità variabile.

L'alloggiamento dei due inseguitori di tensione è chiuso dal coperchio metallico. Tutto questo lavoro non ha sortito alcun effetto positivo apprezzabile: ***il rumore è rimasto elevato.***

Quest'ultimo risultato negativo ha definitivamente calmato la mia testardaggine e *mi ha fatto optare per il metodo con potenziometro doppio.*

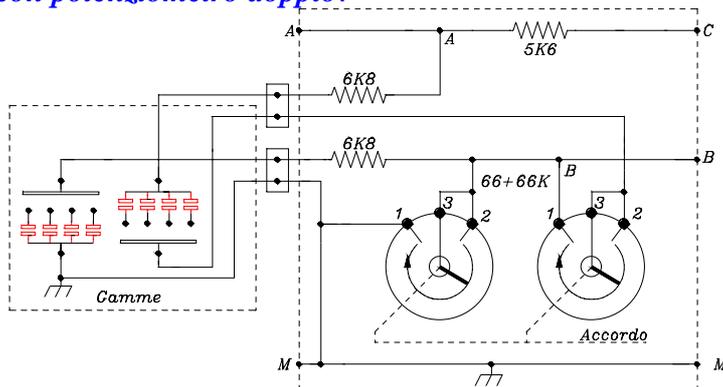
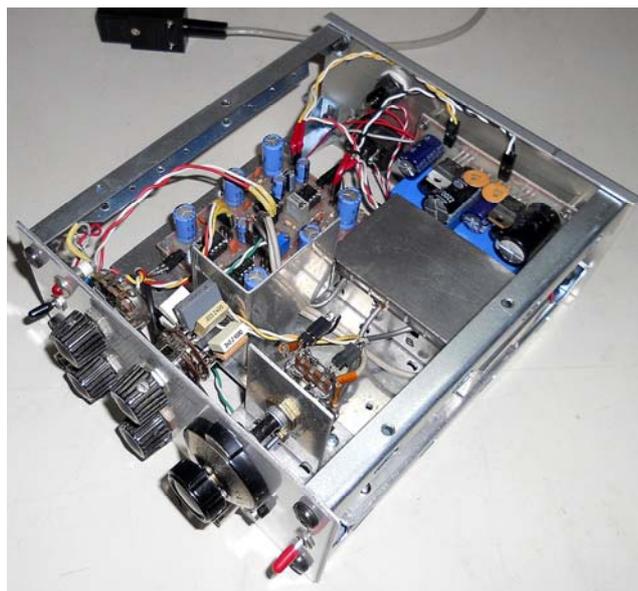


Fig.10

In Fig.10 è riportato lo schema del ponte realizzato con il potenziometro doppio. Questo circuito deve sostituire quello con variabile doppio, disegnato nella parte interna tratteggiata dello schema di Fig.09, rispettando i collegamenti A, B, C, M.

Versione definitiva

I difetti constatati sul modo a potenziometro, di cui ho già parlato, devono essere per forza accettati. Comunque sono difetti non concettuali ma dovuti solo ai componenti. Magari in seguito, quando capiterà l'occasione di trovare un potenziometro doppio di buona qualità (cosa molto difficile al giorno d'oggi), riprenderò tra le mani l' "accrocchetto" e lo migliorerò.



In compenso il rumore è caduto a livelli molto bassi. Ho misurato un valore inferiore a $0,2mV_{eff}$ che è più di dieci volte più basso rispetto agli oltre $2mV_{eff}$ dell'altro modo. Un tale valore dà la possibilità di affinare la misura fino allo 0,1% f.s. Ossia, con un po' di oculatezza, può essere rivelata una distorsione fino al di sotto dello 0,04%, il che non è poco per uno strumento fatto in casa.

Un piccolo problema è sorto quando ho dovuto accoppiare il potenziometro, che ha un angolo di rotazione di 270° con la demoltiplica che, invece, ha un angolo di rotazione di 180° .

Per adattare il tutto ho dovuto sacrificare i primi 90° di variazione del potenziometro, che è di $100+100K\Omega$, riducendo il suo valore utile tra $66+66K\Omega$ e $0+0\Omega$.

Con un potenziometro doppio che parte dal valore di $66K\Omega$ e con una resistenza di limitazione in serie di $6,8K\Omega$ il calcolo, ormai noto⁴, ha portato alle seguenti quattro gamme:

1^a Portata:	100Hz	(Campo: 20Hz – 220Hz)
2^a Portata:	1000Hz	(Campo: 200Hz – 2,2KHz)
3^a Portata:	10000Hz	(Campo: 2KHz - 22KHz)
4^a Portata:	100000Hz	(Campo: 20KHz – 220KHz)

Le capacità sono rispettivamente: **120nF, 12nF, 1,2nF, 120pF.**

⁴ - Per il calcolo si possono guardare le pagg. 6 e 7 dell'articolo "Un buon generatore B.F. fatto in casa" nella sezione "Tecnica" (reparto Strumentazione) sul sito "Le Radio di Sophie"

La foto precedente mostra la *versione definitiva* del distorsiometro il cui filtro è realizzato con un potenziometro doppio. Si possono notare la semplicità del montaggio e gli spazi ancora liberi. Gli schermi e il contenitore dei due inseguitori sono stati mantenuti al loro posto.

I condensatori situati sul commutatore al momento della fotografia hanno i seguenti valori: **220nF, 22nF, 2,2nF, 220pF**.

Essi danno luogo alle seguenti gamme:

11-130Hz; 110-1300Hz; 1100-13000Hz; 11000-130000Hz.

Al collaudo i campi effettivi non si sono allontanati sensibilmente da quelli calcolati.

I valori delle capacità saranno sostituiti con i valori riportati più sopra ottenuti dal calcolo, in modo che le gamme effettive corrispondano a quelle già scritte sul frontalino dello strumento.

Collaudo dello strumento

Lo strumentino è stato provato su tutte le gamme e su tutte le frequenze di ciascuna gamma. L'accordo è stato facile e, fatto più importante, il bilanciamento è stato possibile su ogni frequenza. Infatti la mia preoccupazione era che, per la differenza di valori tra le due sezioni dei potenziometri e la scarsa linearità degli stessi, non si riuscisse sempre a trovare il punto di bilanciamento nell'interno dell'intera gamma. Perciò ho modificato il ramo resistivo del ponte, fornendo alla "R" un più ampio campo di variazione. Il buon funzionamento del bilanciamento ci rende soddisfatti per la giustezza delle modifiche eseguite sul circuito⁵. Ho notato che, per fare una buona misura, è essenziale porre a metà corsa i potenziometri di "Bilanciamento Grosso" e di "Bilanciamento Fine", prima di agire sul potenziometro di "Assetto Livello" altrimenti potrebbe esserci un errore di lettura del segnale di distorsione totale. Quando la misura di distorsione sarà stata effettuata (ormai con la posizione giusta dei potenziometri di bilanciamento) è necessario e conveniente ritornare a "*Livello%*", ritoccare con il controllo "*Ass.Liv. %*" ("*Taratura Livello %*" sul frontalino dello strumento) il 100% di fondo scala e ripetere accuratamente la misura.

Ho dedicato un po' più di tempo e di attenzione alla misura di distorsione dei 1000Hz del mio generatore su cui, come già detto nell'articolo "*Un buon generatore B.F. fatto in casa*", il distorsiometro HP334A aveva rivelato un valore intorno allo 0,08%⁶.

La misura è stata documentata nelle quattro fotografie qui sotto riportate.

Foto N°1: Con il voltmetro sulla portata 1V che corrisponde al 100%, dopo aver posto il commutatore "Dist./Livello%" nella posizione "Livello %", ho manovrato il controllo di "Taratura Livello %" fino a portare l'ago dello strumento sul fondo scala.

Foto N°2: Il segnale sinusoidale visto sullo schermo dell'oscilloscopio. Con la portata sull'asse Y di 1V/cm si può rilevare come il V_{max} sia di 1,41V.

Foto N°3: Posto il comando "Distorsione/Livello%" nella posizione "Distorsione" ("*Dist.*" sul frontalino) ho manovrato sui comandi "Accordo", "Bilanciamento Grosso" e "Bilanciamento Fine" fino a portare l'ago pressoché sulla posizione "0" della scala. Poi, aumentando la sensibilità del millivoltmetro verso valori f.s. sempre più bassi, ho continuato ad accordare e bilanciare fino a raggiungere la lettura sulla portata più bassa possibile. Nella foto si vede come sia riuscito ad utilizzare la portata minima di 0,001V che corrisponde allo 0,1% f.s. di distorsione.

La lettura mostra un valore di distorsione pari allo 0,095%, sufficientemente vicino a quello misurato sul mio generatore con il Distorsiometro HP334A (0.08%) venti anni fa!

Ciò vuol dire che l' "accrocchetto" funziona!

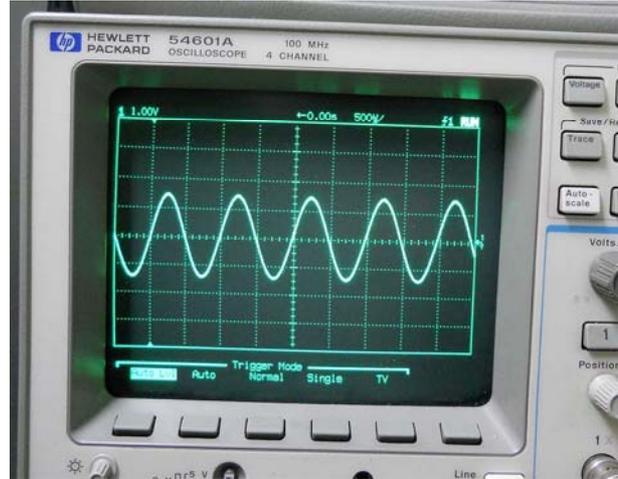
Foto N°4: Sullo schermo è visibile il residuo del segnale prodotto alla distorsione. Esso è formato dalle armoniche superiori miste al rumore di fondo.

⁵ - Per la giustificazione di quanto affermato si può guardare la pag.2, in particolare la formula (3a), dell'articolo "*Il Ponte di Wien*" nella sezione "Tecnica" (reparto "Teoria") sul sito "Le Radio di Sophie".

⁶ - "*Un buon generatore B.F. fatto in casa*" è reperibile nella sezione "Tecnica" (reparto "Strumentazione") sul sito "Le Radio di Sophie".



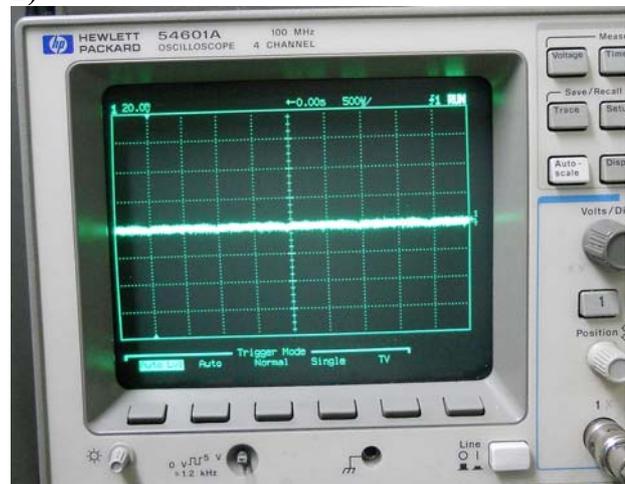
1)



2)



3)



4)

Si può fare qualcosa per risalire matematicamente al valore presunto vero della distorsione ed analizzare qual è l'errore commesso (almeno teoricamente).

Per segnali non isocroni, ossia che hanno frequenze disuguali come sono il residuo di distorsione e il rumore di fondo (che è praticamente a 50Hz), è valida questa relazione:

$$V_t^2 = V_R^2 + V_X^2$$

dove ho indicato con V_t^2 il quadrato del valore letto, con V_R^2 il quadrato del rumore e con V_X^2 il quadrato del valore presunto del segnale di distorsione.

Perciò il valore da trovare sarà:

$$V_X = \sqrt{V_t^2 - V_R^2}$$

Ora, sono conosciuti: $V_t = 0,95 \cdot 10^{-3}V$ e $V_R = 0,2 \cdot 10^{-3}V$.

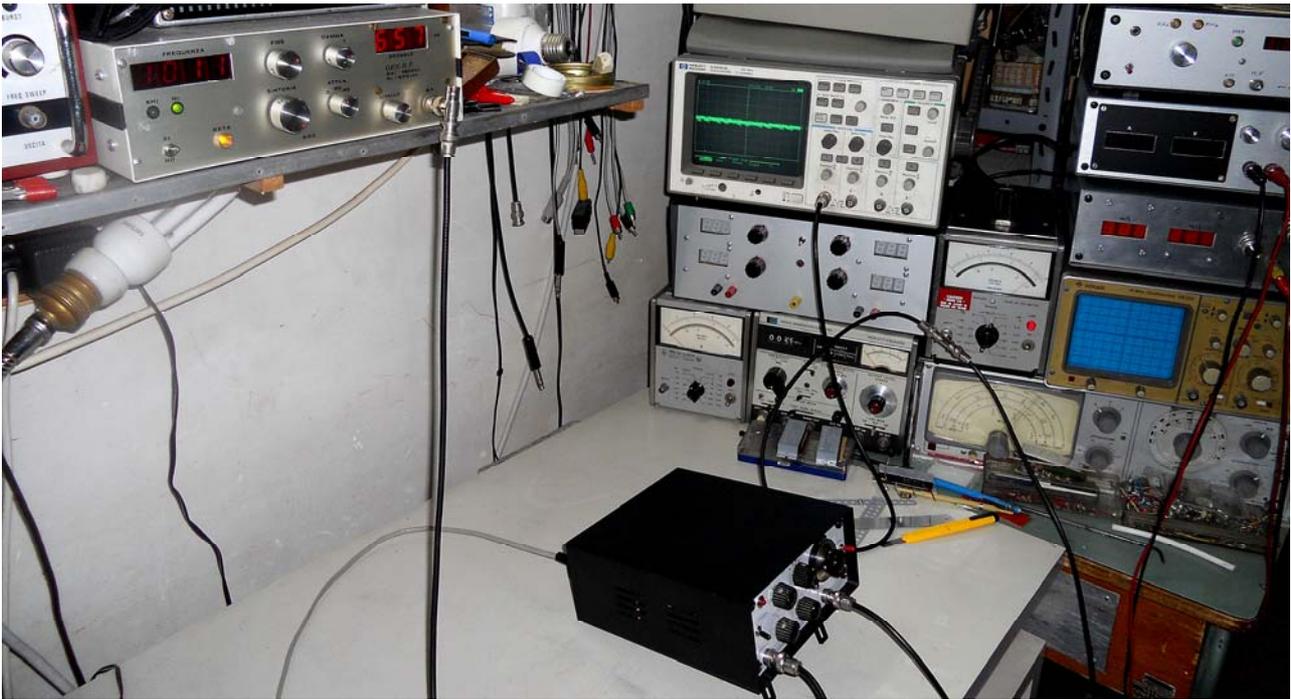
Posti questi valori nell'espressione si ottiene:

$$V_X = \sqrt{(0,9025 - 0,04) \cdot 10^{-6}} = \sqrt{0,8625} \cdot 10^{-3} = 0,93 \cdot 10^{-3}V$$

che corrisponde ad una distorsione più veritiera dello 0,093%, poco diversa comunque da quella letta (0,095%). Si può concludere che, se il rumore di fondo è molto più piccolo del segnale di distorsione l'errore di lettura commesso è trascurabile.

-----*

La foto sottostante mostra il distorsiometro al banco di collaudo. Si può leggere (con una certa difficoltà) la frequenza generata (1011Hz) e la tensione fornita (657mV) dal generatore B.F. Sull'oscilloscopio è visibile il residuo di distorsione mentre sul millivoltmetro si riesce a percepire la lettura di 0,095%.



Sono stati fatti altri controlli e tarature importanti che hanno portato ai seguenti risultati:

La banda passante è apparsa piatta entro $\pm 0,2\text{dB}$ tra 40Hz e 180KHz. Perciò è possibile eseguire una misura di distorsione attendibile fino ad una frequenza di 45KHz, se si accetta una distorsione prodotta dalla quarta armonica.

Con l'aggiustamento del trimmer P_2 che controlla la controreazione sono riuscito a portare il rumore di fondo da circa $0,3\text{mV}_{\text{eff}}$ a meno di $0,2\text{mV}_{\text{eff}}$. Contemporaneamente l'attenuazione della seconda armonica, misurata a 1KHz e a 10KHz, è salita da -12dB a $-5,5\text{dB}$ (in un filtro ideale dovrebbe essere 0dB). Per fare questa misura a 1KHz ho inserito una quantità di segnale pari a 0dB letto sul millivoltmetro, ho accordato il ponte per il minimo e poi, rimanendo in posizione "Distorsione", ho inserito un segnale a 2KHz leggendo il valore in dB. La stessa operazione ho fatto per i 10KHz.

----*----

Conclusione

L'idea di costruire un distorsiometro analogico è nata da un pensiero che all'inizio io definii quasi un po' folle.

Sinceramente non avrei scommesso nemmeno un centesimo sulla sua concretizzazione. Ma la ferma determinazione e un lavoro durato l'intero inverno con alterne vicende e continuato fino ad oggi ha invece portato ad una conclusione che io considero più che positiva. Dovevo raggiungere il mio obiettivo che era quello di analizzare il ponte di Wien nelle sue *due applicazioni più importanti* (una per generare un segnale, l'altra per annullarlo!). E in questo sembra di esserci riuscito in gran parte, pur nella difficoltà dovuta alla carenza delle attrezzature e delle strumentazioni necessarie.

E' stata interessante, anche se sofferta, la scelta del modo di funzionamento del ponte, perché mi ha costretto ad analizzare e valutare con ponderazione i pregi e difetti di ambedue le soluzioni. Ed il circuito che all'inizio sembrava il peggiore è poi risultato il migliore. Scherzi dell'esperienza! Infine reputo che sia stato un lavoro che ha giovato ad approfondire la conoscenza e a chiarificare alcuni concetti che erano da tanto tempo tranquillamente stratificati in memoria solo a livello teorico.

Penso che con questo ultimo articolo "*Un distorsiometro sperimentale*", che si affianca agli altri due, "*Il Ponte di Wien*" e "*Un buon generatore B.F. fatto in casa*", si sia conclusa la triade delle argomentazioni su questo straordinario e versatile Ponte di Wien.