

Nº10: VATIMETRO DIRECCIONAL HF LINEAL

Joan Borniquel Ignacio, EA3-EIS, 12-03-00.
Sant Cugat del Vallés (Barcelona) ea3eis@hotmail.com

INTRODUCCIÓN Y PRINCIPIOS DE DISEÑO

Muchos vatímetros direccionales, adolecen de una falta de precisión cuando se trata de medir la ROE o SWR y ello es debido, a que los diodos que forman parte del circuito detector, no responden de una manera lineal con señales de bajo voltaje. Ante esta problemática, el vatímetro que se expone en este reportaje, es capaz de funcionar bien al efectuar mediciones de Potencia Directa o FWD y también, en el control de ROE o SWR con niveles bajos de señal y lo hace, de forma simultánea, automática y sin ninguna maniobra previa por parte del usuario al medir la SWR y además, la presentación de ambas lecturas, es sobre escalas lineales analógicas.

Este diseño que utiliza básicamente, un circuito que compensa la no linealidad de los diodos detectores, tiene su origen, en un artículo de la revista: QST Enero de 1987, autor John Grebenkemper KI6WX y posteriormente, en los manuales de la ARRL: Handbook de 1994 y 1998, capítulos 34-9 y 22-36; también en el manual de la ARRL, Antena Book de 1998, capítulo 27-9.

Después de esta primera introducción, quisiera hacer hincapié sobre algunos conceptos básicos que se deben de considerar en el diseño de este tipo de instrumentos. En principio se podría decir, que la mayoría de vatímetros direccionales que se están utilizando dentro del mundo de la radioafición, la filosofía de su diseño, se ha ido desarrollando sobre tres partes importantes y esenciales las cuales, se ponen de manifiesto a continuación:

Acoplador Direccional.
Circuito Detector.
Presentador de la Lectura.

Acoplador Direccional: El acoplador direccional, es el dispositivo que nos permite, extraer una muestra de la potencia de RF que está presente en la línea de transmisión, ya sea directa o reflejada. Un acoplador direccional ideal, seria aquel que pudiera proveer señales proporcionales tanto de la potencia directa, como de la potencia reflejada, sin tener en cuenta la frecuencia de trabajo, dicho de otra manera: Que permitiera trabajar, sin alterar la lectura y dentro de un amplio margen de frecuencias. Por esta razón, es normal que algunos buenos diseños actuales de vatímetros operen dentro de unos márgenes de frecuencias ya preestablecidos; por ejemplo, el vatímetro Bird Modelo 43 el cual, permite trabajar desde: 2 a 30, 25 a 60, 50 a 125, 100 a 250 MHz, etc, según el elemento sensor enchufable que se esté utilizando y el cual, está condicionado también, por la potencia máxima a fondo de escala del instrumento. Todo dependerá, de la aplicación y del grado de precisión, en las mediciones a efectuar.

Circuito Detector: El Circuito Detector de una manera genérica, debe ser capaz de entregar a su salida, un voltaje de cc proporcional al voltaje de ca que está presente en la entrada. Muchos vatímetros direccionales, utilizan un simple diodo de germanio como elemento detector. Para bajos niveles de potencia, es mejor utilizar diodos de germanio en lugar de silicio, pues con este tipo de diodo, se minimizan los problemas de no linealidad, por lo menos en casos como este. La no linealidad en los diodos, también es causa de error en la lectura SWR a no ser, que se utilice un circuito especial que permita compensar esta falta de linealidad. Son muchos los vatímetros direccionales, que no trabajan satisfactoriamente con niveles bajos de potencia, sobre todo en SWR

debido a la falta de linealidad de los diodos y es que esta cuestión, es un poco compleja salvo, que se adopten ciertas medidas correctoras como se verá más adelante.

Presentador de la Lectura: En la mayoría de vatímetros, el método para presentar la lectura ya sea de: Potencia directa o SWR, consiste en un voltímetro de cc con distintas escalas en Watts para la potencia directa y para la SWR, requiere que el usuario después de medir la potencia directa, ajuste la sensibilidad del medidor hasta una referencia máxima y posteriormente mediante un selector, se podrá leer en el mismo instrumento de c/m, la SWR en una escala especial. Remarcar que ambas escalas de medición, siempre son de naturaleza logarítmica. También es habitual el solucionarlo, con dos instrumentos indicadores de manera independiente, que den las lecturas de la potencia directa o FWD y SWR, de manera simultánea.

VATIMETRO DIRECCIONAL PARA HF

Retomando el hilo de la cuestión, el instrumento que hoy se presenta, está fundamentado en los mismos principios que se han expuesto pero, mejorando de una manera notable: El acoplador direccional, el circuito detector y también la presentación de las lecturas de la potencia directa y la SWR. Puede verse el Diagrama de bloques en la Figura N°1. A continuación, se enumeran algunas de las características más importantes de este vatímetro:

Rangos de potencia	: 2,5, 10, 25, 100, 250 y 1000 W.
Rangos de SWR	: 5: 1 y 50: 1.
Márgen de frecuencia	: 1,8 a 30 MHz.
Impedancia de la línea	: 50 Ohms.
Error en pot. directa	: +/- 10%.
Error en SWR	: +/- 5%.
Lectura min. SWR	: 1,05: 1.
Presentación pot. directa	: lineal analógica.
Presentación SWR	: lineal analógica.
Alimentación	: red 220 Volts CA.
Dimensiones y peso	: 185x175x135 m/m y 2 Kg.

DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

Dada la importancia del instrumento y para su mejor comprensión, merece la pena antes de la fase constructiva, el hacer una descripción del principio de funcionamiento de cada uno de los circuitos que comprende este Vatímetro direccional para HF, estos se indican a continuación:

Acoplador direccional.

Detector compensado.

Rangos de potencia.

Procesador de señal.

Fuente de alimentación.

Acoplador direccional: El acoplador direccional que se utiliza en este vatímetro, consiste básicamente en dos transformadores toroidales conectados en tandem o en serie y acoplados de forma inductiva, como transformadores de intensidad y de tensión, ambos sobre una corta sección de cable coaxial de una impedancia igual a la línea de transmisión. Todo este conjunto, queda insertado en la propia línea de transmisión que va desde la fuente de potencia TX hasta la carga Load. En definitiva se trata de un circuito simétrico, donde el lado izquierdo responderá

mayoritariamente a la potencia directa o FWD y el lado derecho, lo hará con la potencia reflejada o REF, según se puede ver en la disposición de la Figura N°2. El utilizar las dos pequeñas secciones de línea coaxial de 50 Ohms, es por dos motivos: Mantener una continuidad en la impedancia característica de la línea de transmisión y evitar el acoplamiento por capacidad parásita lo cual, modificaría la simetría del acoplador direccional y en consecuencia, se podrían alterar las lecturas de las potencias: Directa y reflejada. Añadir que en la línea de transmisión y en potencia directa, tanto la tensión como la corriente están en fase y en la potencia reflejada, estas mismas componentes de tensión y corriente están desfasadas 180° y esta última circunstancia, se da en mayor medida, cuando el valor de la impedancia de carga no se corresponde con la impedancia característica de la línea de transmisión y por consiguiente, cuanto más difieran estos valores de impedancia, más alto será el valor de la potencia reflejada o SWR. Esto equivale a decir, que en nuestro Acoplador direccional y en la salida directa o lado izquierdo, las componentes vectoriales de las corrientes directas de ambos transformadores: T1 y T2, se suman y las componentes de las corrientes reflejadas se cancelan; con la salida reflejada o lado derecho, ocurre lo contrario, las componentes vectoriales de las corrientes directas se cancelan y las componentes de las corrientes reflejadas se suman. Véase también este proceso, en la Figura N°2. Dada la importancia del Acoplador direccional como elemento sensor, hay algunos factores que pueden definir su bondad y que merece la pena el tenerlos en cuenta:

Pérdidas por inserción.

Factor de acoplamiento.

Aislamiento.

Direccionalidad.

Pérdidas por inserción: Es la cantidad de potencia que se pierde en el flujo de RF desde la entrada a la salida del Acoplador direccional. Por lo tanto la pérdida por inserción, deberá de ser la mínima posible con tal de evitar una disminución de potencia desde el transmisor a la carga.

Factor de acoplamiento: Es la parte proporcional de potencia, que se hace presente por inducción en el secundario o secundarios de los transformadores de intensidad y tensión; esta señal es directamente proporcional a la relación de transformación o número de espiras. Un factor de acoplamiento plano, es determinante en la precisión de las lecturas tanto de la potencia directa como de la potencia reflejada, siempre en función del margen de frecuencia.

Aislamiento: Es la señal no deseada, que puede aparecer en las salidas secundarias del Acoplador direccional y cuyo origen hay que atribuirlo, a la dispersión de la potencia transferida desde la entrada TX a la salida hacia la carga, dentro del propio Acoplador direccional y esto también, puede contribuir a falsear las lecturas de potencia. De esto se desprende, la necesidad de blindar adecuadamente por la vía electrostática, además de la entrada TX con respecto a la salida, los transformadores entre si de intensidad y tensión T1 y T2.

Direccionalidad: Esta pérdida se llega a generar, entre los transformadores de intensidad y de tensión por el mismo efecto de dispersión, influyendo mayoritariamente, en la mínima señal SWR que se puede llegar a apreciar de manera general con el sistema de medición; por ejemplo, un Acoplador direccional con una direccionalidad de 20dB, al medir una SWR cuya lectura fuera de 1:1, la lectura real podría corresponder a 1,07:1, evidentemente que estas presentaciones de la SWR hay que tomarlas como un ejemplo teórico.

Este tipo de Acoplador direccional según datos del autor, trabaja bien dentro de un margen de frecuencia que va de 1,8 a 54 MHz, con un factor de acoplamiento de 30dB y la respuesta en función de la frecuencia, se mantiene bastante plana entre 1,8 a 30 MHz. Hacer constar que estas prestaciones, corresponden a una versión con núcleos toroidales T50-3 (u 35) y con 31 espiras en ambos bobinados de los transformadores T1 y T2. Por mi parte, al no poder disponer de dichos núcleos toroidales, tuve que ensayar con otros de distinta permeabilidad, antes de decidirme por el más idóneo como se verá más adelante, Figuras N°3 y N°4.

Según más comentarios del autor sobre esta parte específica, la respuesta en las frecuencias bajas de este Acoplador direccional, puede quedar limitada por la inductancia resultante en los transformadores toroidales; la reactancia inductiva, suele ser grande del orden de 150 Ohms con núcleos T50-3 (u 35) por otra parte, esto contribuye a reducir las pérdidas por inserción. La limitación en las frecuencias altas de este acoplador, viene determinada por la longitud de los bobinados de los transformadores toroidales, cuando la longitud o desarrollo del bobinado de dichos transformadores, se aproxima a una fracción significativa de la longitud de onda, las prestaciones del Acoplador direccional se deterioran. En el Acoplador direccional descrito, el transformador de intensidad T1 con núcleo T50-3 (u 35), podría sufrir calentamiento con potencias altas (1500 W) y en la banda de 160 Metros, ello es debido a la circulación de una corriente de RF de cierta consideración por el secundario de dicho transformador; este problema caso de presentarse, se podría corregir utilizando un núcleo con más permeabilidad, pues un núcleo más dimensionado, comportaría un bobinado de mayor longitud y esto, podría afectar el límite de las frecuencias más altas. Después de todo lo dicho y con los resultados de los ensayos efectuados, me decidí por utilizar el núcleo FT50-61 (u125), en la confección de los transformadores de intensidad y de tensión T1 y T2 para el montaje del Acoplador direccional. Véanse curvas de respuesta, de un transformador toroidal de intensidad en función de la frecuencia, con igual número de espiras y utilizando núcleos de distinta permeabilidad en la Figura N°3 y también, el sistema utilizado para su evaluación en la Figura N°4.

Detector compensado: Como ya se ha dicho al principio, son muchos los vatímetros direccionales para radioaficionados que utilizan diodos de germanio como elemento detector y de esta manera, se minimiza la caída de voltaje en conducción directa dentro del propio diodo; aunque la caída de tensión o voltaje es bastante suave, un diodo detector no compensado, no puede responder ante las señales pequeñas de una manera lineal como sería deseable; además de los diodos de germanio, los diodos de silicio tampoco tienen una respuesta lineal dentro de la zona de pequeños voltajes y la caída de tensión directa es superior; también con diodos de punta de contacto de silicio o diodos Schottky, para pequeñas señales y en RF, la respuesta es mejor pero la caída de tensión directa, sigue siendo la misma y por lo tanto, la rectificación de las pequeñas señales de RF adolecerán siempre de una falta de precisión cual es el caso, en bajos niveles de SWR; para una mejor claridad y comprensión de todo lo expuesto, véanse las Figuras: N°5 y N°6. El circuito detector por simple diodo de germanio que se presenta en la Figura N°5, puede ser de interés cuando no se requiere cierta precisión al medir señales de RF de pequeño nivel; la resistencia R, es la resistencia de carga del diodo detector D y el condensador C, es el filtro capacitivo que permite aplanar la componente pulsatoria que está presente en la salida del diodo detector. Para entender mejor la dinámica de funcionamiento de este circuito detector, véase la curva característica correspondiente en la Figura N°6, en ella se puede apreciar el comportamiento de dicho diodo asumiendo las funciones de un detector clásico para RF.

La curva característica directa de corriente-tensión, no es lineal sino que sigue una ley más bien, de carácter exponencial; también la resistencia dinámica directa del diodo, disminuye cuando aumentan los niveles de I_d y V_d por lo tanto, esta resistencia puede ser muy pequeña en la zona 2 con niveles altos de señal y por el contrario, hacerse grande en la zona 1 con niveles bajos de señal y este, es el problema que más nos afecta.

La curva característica inversa de corriente-tensión, tampoco es lineal y la resistencia dinámica inversa del diodo, será tanto mayor cuanto menor sea el ángulo que forman: La línea de la de la curva característica con la coordenada horizontal, por lo tanto la resistencia dinámica inversa más alta en la zona 3, corresponderá a los niveles inversos más bajos de corriente-tensión, I_i y V_i al igual que ocurre en la zona 1 de característica directa y con cierta simetría. La zona 4 se podría definir, como la parte de la curva característica que pasa, de un valor muy grande de resistencia dinámica inversa, a otro valor más pequeño.

El semiciclo A1, correspondería al semiciclo A una vez ya rectificado y el pequeño semiciclo B1 al semiciclo B, pues en el sentido inverso, un diodo de germanio puede permitir el paso de corrientes nada despreciables con tensiones elevadas; esto no ocurre con los diodos de silicio, dado que su resistencia inversa es elevadísima. Añadir que el efecto de rectificación o detección, no se da con corrientes de pequeño nivel y su comportamiento como sistema, más bien correspondería al de un divisor de tensión contando, con la resistencia de carga R del diodo detector.

Para poder corregir esta problemática de los diodos detectores, el Vatímetro direccional que se expone en este trabajo, utiliza un Detector compensado por lazo de realimentación no lineal a cargo de un diodo de silicio Schottky (1N5711). Con este tipo de detector, se pueden medir potencias que van de 10 mW a 1500 Watts, véase la Figura N°7. Según el autor este Detector compensado, puede trabajar con señales de entrada por debajo de 30 mV de pico con una buena respuesta de salida; cuando con un circuito clásico, a base de diodo de germanio, comportaría errores significativos, con señales de entrada por debajo de 1 V de pico.

Este circuito Detector compensado, al que también se le podría definir, como un rectificador de media onda de precisión, está compuesto por las siguientes partes: Un circuito detector simple por diodo de silicio Schottky D1 (1N5711) y un amplificador no lineal no inversor de corriente continua, cuyo lazo de realimentación no lineal, consiste en otro diodo Schottky D2 idéntico a D1 el cual, tiene la facultad de variar exponencialmente su resistencia dinámica en función de la señal de salida de dicho amplificador; de tal manera, que a máxima señal correspondería una menor resistencia directa del diodo D2 y en consecuencia, bajará la ganancia del amplificador; a mínima señal de salida, sucederá todo lo contrario. El resultado de todo esto, es que el propio sistema tiende a ejercer un autocontrol sobre las señales pequeñas permitiendo, además de su precaria detección, su posterior amplificación y en cuanto a las señales grandes, también son detectadas o rectificadas pero, el nivel de señal continua a la salida del amplificador, tiende a mantenerse dentro de los niveles manejables gracias también, al sistema de realimentación no lineal que ejerce el diodo D2.

De una manera más gráfica y teniendo en cuenta la Figura N°8, podría decirse en términos filosóficos, que este Detector compensado es capaz de llegar a corregir, la no linealidad de origen exponencial del diodo detector D1 mediante, el comportamiento inverso o logarítmico del conjunto amplificador y diodo D2 de realimentación y esta es la solución, que permite disponer de una salida de señal con una linealidad bastante buena, dentro de los márgenes que se han indicado.

Según el autor, para un diodo detector de silicio Schottky D1 con una resistencia de carga R1 de 1 Mg, podría ser óptima una relación de 5:1 para establecer el valor de R2 la cual, con el diodo D2, fijan el nivel de ganancia del amplificador. Este circuito Detector compensado, puede utilizarse tanto para la Potencia directa como para la Potencia reflejada y son válidos para estas aplicaciones todos los principios de circuitería y de funcionamiento que han sido expuestos los cuales, se podrán ver más adelante de una manera práctica, en la descripción constructiva a nivel de todo el conjunto.

Rangos de potencia: Para poder establecer unos rangos de Potencia directa y también de manera correspondiente, de Potencia reflejada, se dispone a la salida de cada Detector compensado de otro amplificador no inversor de corriente continua y lineal en este caso, por el hecho de emplear elementos puramente resistivos en el lazo de realimentación. Variando el divisor de tensión, entre la salida y la entrada (-) del amplificador lineal mediante un selector manual, es factible gobernar el nivel de amplificación en función de la potencia máxima establecida para cada uno de los rangos de medición, véase la Figura N°9.

Procesador de señal: Los circuitos del procesamiento de la señal, calculan y determinan: La Potencia directa o FWD y la SWR que están presentes en la línea de transmisión. Cuando se mide la Potencia directa, muchos vatímetros direccionales, nos indican la potencia que está

presente, en la línea de transmisión pero esta magnitud, es la suma de las dos potencias: La directa y la reflejada o sea que no se tiene en cuenta, que cuando la SWR se incrementa, la Potencia directa sobre la carga disminuye, por ejemplo: Con una Potencia directa de 100W y una SWR de 3:1, implicaría solamente una Potencia directa efectiva sobre la carga de 75W y la Potencia reflejada correspondería a 25W.

Nuestro vatímetro direccional, difiere de otros vatímetros por el hecho de que es capaz, de presentar la Potencia directa efectiva sobre la carga y la SWR de manera independiente, simultánea y sin ningún ajuste manual previo por parte del usuario. Con respecto a la SWR, el procesador de señal la computa o calcula de una forma aislada y sin verse esta, afectada por los cambios que puede haber en la potencia de transmisión o TX ni tampoco, con bajos niveles de SWR. La base de este circuito, es un dispositivo amplificador con funciones logarítmicas y también antilogarítmicas el cual, está asociado a otros amplificadores operacionales que en conjunto, asumen la función de sumadores, sustractores y divisores analógicos, pudiendo estos, efectuar operaciones matemáticas de cálculo en tiempo real; esto también permite, la adaptación de voltajes a Potencia directa y SWR así como, su posterior presentación en escalas totalmente lineales, véase una versión simplificada de amplificador logarítmico y antilogarítmico, en la Figura N°10.

Estos amplificadores que se presentan en la Figura N°10, están fundamentados, en el factor de corriente de colector de un transistor NPN dispuesto en base común, cuyo factor, es proporcional de manera exponencial, al voltaje base-emisor y dentro de un margen de corrientes de colector que van de 5 nA a 5 mA y cuando el voltaje base-colector es cero. El comportamiento de cada uno de estos circuitos, que dan amplificación no lineal, se debe también a la incorporación de elementos no lineales en su lazo de realimentación en la entrada (-) de los mismos; con la utilización de un transistor en lugar de un diodo y con la disposición indicada, se obtiene una mejor adaptación de impedancias con respecto a cada entrada y salida de dichos elementos activos y también, un margen más amplio de la señal de entrada. Otra cuestión importante, que se verá en el apartado constructivo es la deriva térmica que puede comportar este sistema, en este caso se ha resuelto por parte del autor, utilizando componentes de bajo consumo en el caso de los amplificadores operacionales y arrays de transistores NPN en los lazos de realimentación, ambos con encapsulado de tipo monolítico, con tal de aumentar la estabilidad térmica.

Presentador de la potencia: La Potencia directa FWD y la SWR, como se ha indicado con anterioridad, se presentan mediante dos instrumentos de c/m de 50 uA dotados ambos, de escalas lineales que permiten simplificar mucho la confección de las mismas, pues todo se resume a una sola escala que puede ser la original de cada instrumento; a cada una de estas escalas, se la puede dotar de valores numéricos; multiplicadores o divisores y en función, de los rangos de la Potencia directa o SWR. Este es el resultado del dispositivo, amplificador logarítmico y antilogarítmico, que permite pasar de una señal de naturaleza logarítmica, a una presentación de tipo lineal y analógica. También y según indica el autor, se podrían utilizar presentadores del tipo digital del comercio pero esto, ya es una predilección de cada uno, yo opté por el sistema analógico por dos razones: Por una cuestión de espacio y también, porque al controlar la potencia variable cual puede ser, una modulación de la voz humana, siempre es más cómodo observar, las oscilaciones de la aguja de un instrumento de c/m que un baile de números.

Fuente de alimentación: La Fuente de alimentación en la versión original, está pensada y solucionada mediante dos baterías de 9 V en serie para poder conseguir los 18 Vcc, esta tensión para la alimentación general de entrada, se hace presente o se activa solamente cuando la potencia directa llega a sobrepasar la lectura de 1,5 Watts, bajo este condicionante y mediante un detector de RF y de un circuito de control, las tensiones de servicio se consiguen, a partir de tres reguladores de tensión en serie y dispuestos a la salida del mismo circuito de control. Como yo no soy muy amigo de las baterías o pilas, opté por una solución más clásica y me serví de dos transformadores,

primario de 220 V y secundario de 7,5+7,5 V, rectificadores, filtros y reguladores de tensión para poder disponer de: +12 +2,5 y -2,5 Vcc a la salida. Esta solución, permite que el vatímetro también sea operativo, tanto en Potencia directa como en SWR. En cuanto al aislamiento de la RF por la vía de red CA, se ha resuelto mediante un filtro de red LC y manteniendo la condición de tierra flotante en los retornos a masa de toda la circuitería, exceptuando el Acoplador direccional, como se verá a continuación en el aspecto constructivo.

CONSTRUCCIÓN

Acoplador direccional: El Acoplador direccional se ha construido, considerando siempre la problemática que comportan este tipo de sensores, como ya se ha comentado anteriormente; en la práctica casi todo se resume, en aislar al máximo y entre si, los elementos básicos que componen dicho Acoplador direccional con respecto a la RF y también, que su disposición llegue a ser lo más simétrica posible. El aislamiento o separación en esta aplicación concreta, se basa en considerar que un transformador ya sea de intensidad o de tensión, sería deseable, que el acoplamiento entre primario y el secundario, fuera siempre de naturaleza magnética o inductiva, tratando de evitar, el acoplamiento eléctrico o capacitivo entre ambos devanados; para ello, se ha blindado con tubo de latón, el hilo que ejerce de bobinado de una sola espira a través del núcleo toroidal y se han ubicado, cada uno de los bobinados toroidales dentro de blindajes o cajas metálicas lo más estancas posible con tal de evitar, además de la capacidad parasita, la influencia entre los transformadores de intensidad y de tensión T1 y T2. El tubo de latón, es concéntrico y soldado con cada caja. Cave insistir, que la direccionalidad máxima se consigue, mediante blindajes o compartimentos que permitan separar: La entrada TX de la salida Load, los dos transformadores T1 y T2, los circuitos de carga de 50 Ohms, la detección por diodos D1 y D2 y los condensadores de filtro que están en las respectivas salidas directa FWD y reflejada REF; para conseguir más estanquedad, estas salidas de señal ya rectificadas, se interconectan con los detectores compensados, mediante conectores BNC. El Esquema eléctrico de principio, es el que se presenta en la Figura N°2; donde las dos resistencias de carga de 50 Ohms, son dos resistencias de 100 Ohms, 1W, 5 % del tipo antiinductivo y en paralelo, anteriormente estas resistencias eran de 100 Ohms, 1/4W, 5%; los diodos de detección, son de silicio punta de contacto Schottky (1N5711) debidamente apareados y los filtros de RF, son dos condensadores de 10nF/100V del tipo cerámico. También remarcar que en el montaje, se tengan en cuenta: El enfasado de T1 y T2, el conexionado que sea lo más simétrico posible en cuanto a las longitudes del cableado y puntos de retorno a masa. La ubicación de todo el sensor o Acoplador direccional, se ha dispuesto dentro de una caja de aluminio Retex Minibox Mod RM07 y dimensiones: 55x45x125 m/m en color gris que le da un buen acabado, además de esta caja exterior, comprende otra envolvente interior en plancha de Cu de 0,5 m/m soldado con estaño y a título de doble blindaje. Para detalles constructivos y dimensiones, véanse las Figuras N°11 y N°12.

Detectores compensados y Rangos de potencia: Los Detectores compensados cuya filosofía de funcionamiento ya ha sido tratada anteriormente, se han dispuesto de forma modular con el selector Range W, esta disposición y la utilización del circuito integrado U1 (TLC27L4), que es un amplificador operacional Quad y del que podríamos destacar, su bajo consumo y buen coeficiente de temperatura, lo hacen muy indicado para las funciones: U1A y U1B ambos, como Detectores compensados de las señales: FWD y REF; también U1C y U1D, como amplificadores lineales del selector Range W, este integrado va montado con zócalo; más detalles de montaje, los dos diodos de silicio Schottky (1N5711) de los lazos de realimentación y también, los que forman parte del Acoplador direccional: D1 y D2, deberán de ser todos iguales o apareados; las resistencias de 100K, que tienen que ver con los divisores de tensión de las entradas (+) de: U1C y U1D así como, las que forman parte de las salidas, deberán ser todas de una tolerancia del 1% lo cual,

contribuye a igualar la ganancia de ambos amplificadores, con respecto a las señales: FWD y REF; los dos ajustes de cero, deben de ser del tipo multivuelta, por ser críticos. Para evitar problemas de interferencia, sobre las etapas de entrada hasta la salida (U1), los retornos a masa, son flotantes con respecto a masa y se hacen a través de un choque de RF de 270uH con ello, se evita la influencia de la señal exterior al medir potencias altas de RF. La circuiteria de los Detectores compensados y las resistencias del selector Range W, se han montado en dos plaquetas Repro CT1 en fibra de vidrio, unidas por separadores exagonales M3 y formando conjunto con el propio selector, todo este grupo queda envuelto por un blindaje de plancha de Cu de 0,5 m/m. Para detalles de la circuiteria, ver Esquema eléctrico en la Figura N°13 y foto interior en la Figura N°15.

Procesador de señal: La construcción del procesador de señal, comprende varias partes importantes, como son el procesador de la Potencia directa FWD, que es el resultado matemático y analógico de la diferencia entre la señal directa FWD y la señal reflejada REF para ello, de forma previa ambas señales de naturaleza logarítmica, son convertidas en dos magnitudes lineales mediante amplificadores logarítmicos y antilogarítmicos idénticos y cuyas funciones, corren a cargo de un amplificador Quad U2 (TLC27L4) y dos arrays de cuatro transistores NPN que son U5 y U6 (CA3146); los componentes activos que comprenden y forman dichos amplificadores, son los siguientes, para la señal FWD: U2A, U5 y U2D; para la señal REF: U2B, U6 y U2C, el funcionamiento de ambos amplificadores, ya ha sido expuesto y por lo tanto, no es necesario volver a insistir sobre este tema, lo único es el recordar que la presencia de las dos señales, es necesaria para llegar a obtener, la Potencia directa real que está presente en la carga y para ello, dichas señales: FWD y REF una vez amplificadas y linealizadas, son sometidas a un proceso de sustracción analógica mediante el amplificador diferencial U4B (TLC27L2) en la salida del cual, tenemos la señal resultante que en definitiva, es la potencia que disipa la carga. El procesador de señal que afecta a la SWR, es algo más complejo no obstante, tomando en consideración, que la relación de ondas estacionarias ROE o SWR, viene dada por la expresión:

$$SWR = \frac{V_f + V_r}{V_f - V_r}$$

Donde V_f , representa la señal de la Potencia directa y V_r , la Potencia reflejada, la relación entre la suma y la diferencia de ambas, da el valor de la SWR, ha sido necesario seguir este mismo procedimiento matemático y de manera analógica, para conseguir el resultado final de la SWR con una presentación lineal, de forma automática y sin ninguna manipulación por parte del usuario. El proceso de la SWR, se inicia con la suma analógica de las señales FWD y REF, esta operación corre a cargo del amp. operacional U3B (TLC27L4) y en la sustracción de las mismas señales, que es simultánea y en tiempo real, interviene el amp. operacional U4A (TLC27L2). Como el circuito sumador es inversor y logarítmico U3B y U7, se hace necesario invertir la señal del producto de la sustracción y para ello, se añade otro amp. operacional inversor y logarítmico U3D y U7 a la salida de U4A. Posteriormente los productos de la suma y de la sustracción, se envían al amp. operacional inversor y divisor U3C a la salida del cual, se hace presente la señal SWR ya procesada y de carácter lineal. El amp. operacional U3A y el potenciómetro R5 permiten ambos, el ajuste de ganancia SWR de manera independiente y sin influir en la Potencia directa; remarcar que este potenciómetro R5 y además R3 y R4 controles de ganancia FWD y REF respectivamente, se recomienda sean del tipo multivuelta. La conexión de todos los circuitos integrados, se ha hecho con zócalos. El transistor Q1 (2N2222), hace que la lectura del indicador SWR marque cero, cuando el nivel de Potencia directa o FWD, esté por debajo del 2% de la lectura máxima en cualquiera de las escalas de medición. Los retornos a masa, también son flotantes en lo que respecta a la RF, se hacen por choque de 270 uH y perlas de ferrita FB. El montaje de todo el procesador de señal, se ha hecho en una placa Repro CT1 en fibra de vidrio, medidas: 120x50 m/m y sujeta mediante cuatro

separadores M3 sobre el blindaje de Al el cual, ubica los dos instrumentos de c/m presentadores de la Potencia directa FWD y SWR. Para más detalles, véase Esquema eléctrico Figura N°14 y foto interior en la Figura N°15.

Presentador de las potencias: La presentación de las potencias directa y SWR, es por dos instrumentos de c/m de 50 uA, Modelo 670 y de la marca Demestres; en cuanto a las escalas, utilicé la original de cada instrumento y esto permite simplificar mucho la confección de las mismas, para ello borré con corrector líquido Tipp-Ex, todas las indicaciones numéricas y literales originales en ambas escalas, dejando solamente, los sectores con las divisiones lineales, posteriormente saqué una fotocopia en Laser donde inserté, los nuevos datos con DECAdry (los números y letras que se pegan por presión), en función de los rangos de potencia en Watts y SWR, después recorté las escalas ya definitivas y procedí a pegarlas encima de las originales; esta operación, se puede hacer perfectamente procurando que al hacer el desmontaje y montaje del instrumento, no entren partículas de polvo en el conjunto imán/cuadro/móvil. He querido hacer hincapié en este tema, porque no deja de ser un inconveniente serio, cuando hay que pensar en hacer una escala especial para un instrumento de medición. Las escalas numéricas que comprende cada instrumento de c/m, son las siguientes:

Watts: Dos escalas de 0 a 10 y de 0 a 25, esto permite disponer de 6 rangos de potencia máxima: 2,5, 10, 25, 100, 250 y 1000 Watts, que se seleccionan mediante el selector de 6 posiciones y 2 circuitos S1 Range Watts.

SWR: Dos escalas de 1 a 5 y de 1 a 50 (SWRx10) esta queda seleccionada, en una de las tres posiciones del selector de tres posiciones y dos circuitos S2 Mode.

Las otras dos posiciones del selector S2 Mode, corresponden una a Power que permite la medición de la potencia directa media en CW y la otra posición Peak Power para la medición de la potencia de cresta de la envolvente o Wpew en la modalidad SSB. En ambos casos, la SWR siempre estará presente siguiendo la misma tónica de trabajo. Esta última medición de Wpew, se consigue con la adición de un condensador de 220 uF y una resistencia de 100 K en paralelo y ambos, en las dos salidas de señal: FWD y SWR, la constante de tiempo que representan, es suficiente larga para permitir integrar la señal de la modulación en SSB. La protección de los dos instrumentos de c/m, queda resuelta por dos diodos de silicio 1N914 en oposición y el condensador de 10 nF, es para filtrar cualquier componente de RF externa. Ver Esquema eléctrico, en la Figura N°14 y Vistas exteriores del vatímetro, en las Figuras N°16 y N° 17.

Fuente de alimentación: La fuente de alimentación es pequeña y simple, comprende: Dos transformadores con primario de 220V y secundarios de 7,5+7,5 V/300 mA; para la fuente de +12V me serví de los 15 V, un puente rectificador (4x1N4004), un filtro generoso y un regulador de +12V (7812); para los +2,5 y -2,5V, utilicé los 7,5+7,5 V del otro transformador, dos diodos opuestos (1N4004) como rectificadores, los filtros y dos reguladores de +5 y -5V (7805 y 7905), los +2,5 y -2,5V se pueden conseguir, mediante dos divisores de tensión compuestos, por dos resistencias de 470 Ohms y diodos de Zener de 2,5V en oposición; el nivel de rizado con una carga de 50mA en las tres salidas de CC, es apenas perceptible en la escala más sensible del osciloscopio (5mV/cm) y con una sonda de relación 1:1. El consumo total de este vatímetro es muy bajo, debido a la circuiteria que comporta de alta impedancia y también, al poco consumo de todos los componentes activos. Todos los retornos a masa de la fuente de alimentación, son comunes y flotantes, quedando unidos a masa mediante un choque de 270 uH; además para evitar problemas de tipo parásito en RF por la vía de entrada de red, opté por insertar un filtro paso bajo antes de los dos primarios de 220V. La fuente va montada en una placa de aluminio y los componentes, en una plaqueta Repro CT1 todo ello, como un módulo independiente. La caja utilizada para contener el vatímetro, es de la marca Retex medidas: 175x155x75 mm color gris, ver Esquema eléctrico en la Figura N°18 y foto interior en la Figura N°15.

CALIBRACIÓN DEL VATIMETRO

La calibración de este vatímetro direccional según indica el autor, se puede hacer disponiendo solamente de un voltímetro de CC de alta impedancia que sea preciso (digital por ejemplo) y partiendo, de que los valores de las resistencias R6+R7 para cada escala, estén ajustados de manera previa según consta en la tabla siguiente:

Watts	R6+R7	Watts	R6+R7
1	2,32 K	50	18,70 K
2,5	3,30 ..	100	29,10 ..
3	4,02 ..	150	37,40 ..
5	5,23 ..	200	46,40 ..
10	7,63 ..	250	59,50 ..
15	9,53 ..	300	63,40 ..
20	11,00 ..	500	100,0 ..
25	13,23 ..	1000	345,0 ..
30	15,00 ..	1500	649,0 ..

Una vez conseguidos los valores de dichas resistencias, iguales para cada amplificador de rangos de potencia FWD y REF, se procede a realizar la calibración, según este orden:

- (1) Situar el mando Mode, en la posición Power y el selector Range Watts en la escala de 100 W y conectar el vatímetro a la red.
- (2) Unir TP1 con TP2 y ajustar el potenciómetro R1 a cero Volts en TP3.
- (3) Unir TP4 con TP5 y ajustar el potenciómetro R2 a cero Volts en TP6.
- (4) Ajustar R1 hasta obtener un valor de 7,07 Volts en TP3.
- (5) Ajustar R3 hasta obtener 5,00 Volts en TP7 o fondo de escala en M1, (Watts).
- (6) Ajustar R2 hasta obtener un valor de 7,07 Volts en TP6.
- (7) Ajustar R4 a 0 Volts en TP7 o lectura cero en M1, (Watts).
- (8) Ajustar R2 hasta obtener 4,71 Volts en TP6,
- (9) Ajustar R5 hasta obtener 5,00 Volts en TP8 o fondo de escala en M2, (SWR).
- (10) Situar el mando Range Watts, en la escala de 2,5 W.
- (11) Quitar los puentes entre TP1-TP2 y TP4-TP5.
- (12) Ajustar R1 a cero Volts en TP3.
- (13) Ajustar R2 a cero Volts en TP6.

Estos dos últimos ajustes de cero, son bastante críticos aun utilizando, potenciómetros del tipo multivuelta. A partir de aquí, se puede considerar ya realizado el ajuste del vatímetro. No obstante y en este caso concreto, al utilizar una escala que no consta en el listado (2,5W), el alimentar con +12V todos los amp. operacionales en lugar de +15V y también, al poder contar con una fuente de RF y filtros LPF de 1,8 a 30 MHz con salida de 1 a 300W, opté por hacer una recalibración posterior sobre los potenciómetros de ajuste R7 de cada escala y en la modalidad CW, para controlar este ajuste final, utilicé un voltímetro de CC de alta impedancia y sonda detectora de RF con divisor de tensión 10:1 incorporado (300W), además de un osciloscopio.

COMENTARIOS FINALES

En SWR, se pone de manifiesto la sensibilidad y fiabilidad de este instrumento, al comparar las lecturas con potencias QRP y de mayor nivel, sobre una carga artificial de 50 Ohms MFJ-264 de 1,5 KW, en la indicación SWR de 1,01:1 da una diferencia del orden del 2%, en toda la gama de

frecuencias HF de 1,8 a 30 MHz. También se mantiene este comportamiento, en un análisis comparativo sobre una antena como carga y con distintas potencias.

Dado que este instrumento va conectado a la red, se ha hecho necesario, el utilizar choques de RF de menos inductancia (270uH) que el original con baterías, esto fué por un problema añadido el cual, afectaba mayoritariamente a la lectura de la SWR y en el modo Peak Power, una vez introducida esta modificación, el problema quedo resuelto.

La simplicidad en la utilización y manejo de este vatímetro, queda patente, al poder medir simultáneamente la Potencia directa Watts y la SWR sin necesidad previa de ninguna maniobra manual, como suele ocurrir con los instrumentos más clásicos.

También la experiencia constructiva de este Instrumento de medida, ha sido para mi muy positiva, pues me ha permitido profundizar un poco, en el conocimiento de los amp. operacionales dentro de unos campos de aplicación, que desconocía cuales son: Los detectores compensados, los amplificadores logarítmicos y antilogarítmicos y el cálculo analógico en tiempo real.

Es por todos estos motivos además de las prestaciones de dicho instrumento, que recomiendo en gran manera la construcción de este vatímetro, muy especialmente a todos aquellos que sientan algún interés por la instrumentación y tengan posibilidades de llevar a término su montaje. Saludos de Joan, EA3-EIS.

Relación de Estacionarias	Rendimiento Antena %
1,11 : 1	99,5
1,22 : 1	99,0
1,35 : 1	98,0
1,50 : 1	96,0
1,67 : 1	94,0
1,85 : 1	91,0
2,30 : 1	84,0
3,00 : 1	75,0
4,00 : 1	65,0
5,50 : 1	51,0
9,00 : 1	34,0
19,1 : 1	19,0
Infinito	00,0

Nota: Esta tabla es solo una guía orientativa, sobre el significado que puede tener la lectura del medidor de ondas estacionarias o SWR, cuando estamos acoplando la potencia de un transmisor sobre una carga o antena. Obsérvese que en la mayoría de medidores de SWR, la escala de medición a partir de 3 está señalizada en color rojo lo cual, indica que a partir de este punto para arriba, la energía que no se disipa por la antena o carga, retorna hacia el amplificador final con el peligro de calentamiento excesivo, evidentemente esto no ocurrirá si dicho equipo, dispone de un sistema de limitación de la potencia de salida por aumento de la potencia reflejada.

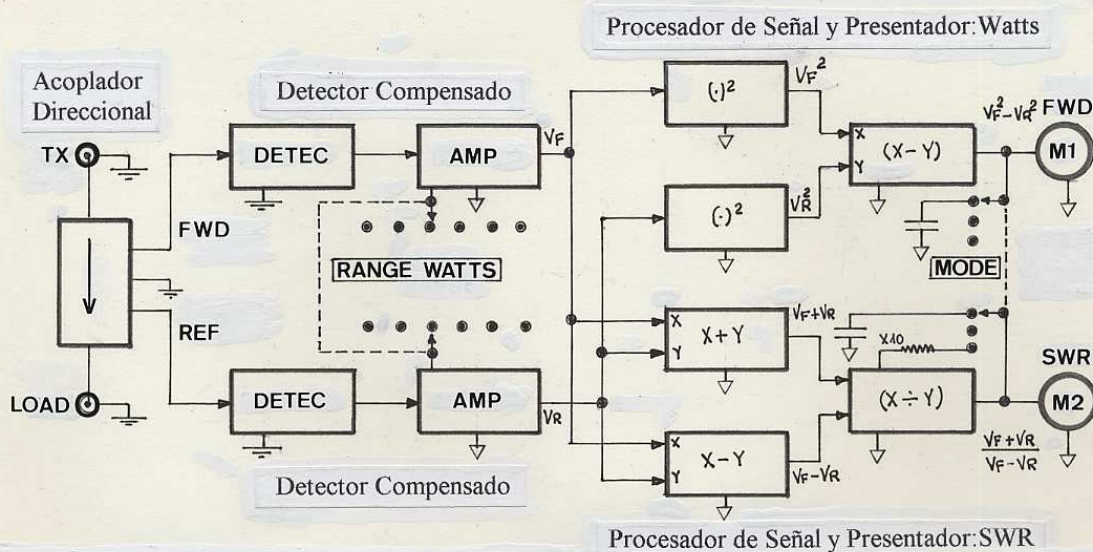


Figura N°1: Diagrama de Bloques del Vatímetro Direccional para HF. Pueden verse por orden: El Acoplador Direccional, los Detectores Compensados con el selector de Escalas, los Procesadores de señal y presentadores de la potencia en Watts y SWR, ambos de tipo analógico y con escalas de lectura lineal. También hay un selector de Modo, que permite trabajar en potencia de Pico, potencia Média y SWR x 10.

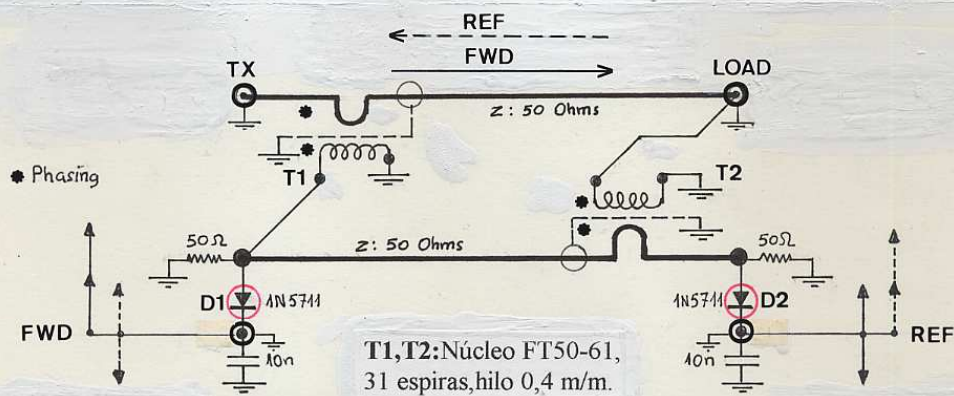


Figura N°2: Esquema eléctrico de principio del Acoplador Direccional. Véase la pequeña sección de línea de 50 Ohms que va de la entrada a la salida de potencia, esta corta sección de línea, actúa como bobinado primario blindado (1 espira) del transformador de intensidad T1 y el núcleo toroidal con su devanado alrededor del conductor central blindado, representa el secundario. El transformador de tensión T2, está dispuesto según el mismo sistema constructivo y sobre otro conductor blindado de la misma impedancia y longitud. La combinación de ambos transformadores T1 y T2, permite disponer de un doble sensor simétrico sin ningún ajuste y con el cual, se pueden valorar de manera independiente y simultánea las potencias: Directa FWD y Reflejada REF en una línea de transmisión. De forma gráfica se puede apreciar, la suma vectorial de las componentes de la corriente en cada una de las salidas de señal ya rectificadas o detectadas por los diodos D1 y D2.

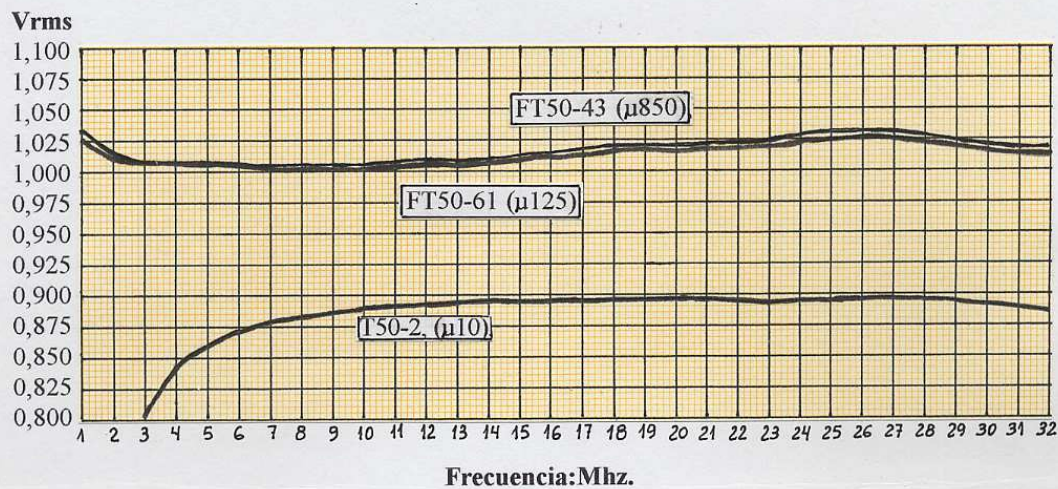


Figura N°3: Curvas de respuesta en función de la frecuencia, de los dos transformadores T1 y T2 del Acoplador Direccional con núcleos de distinta permeabilidad. El número de espiras, es de 31 en las tres versiones lo cual, equivale a una relación de transformación de 1:31 y un factor de acoplamiento según la señal en secundario de 30 dB; esta condición, se cumple en buena medida según los resultados, con el núcleo de ferrita FT50-61 (μ 125), así como el aplanamiento de la curva de respuesta. Con el núcleo de polvo de hierro T50-2 (μ 10), disminuye la respuesta en frecuencias bajas y el factor de acoplamiento no se corresponde con igual número de espiras. Con el núcleo de ferrita FT50-43 (μ 850), el factor de acoplamiento queda algo por encima de 30 dB.

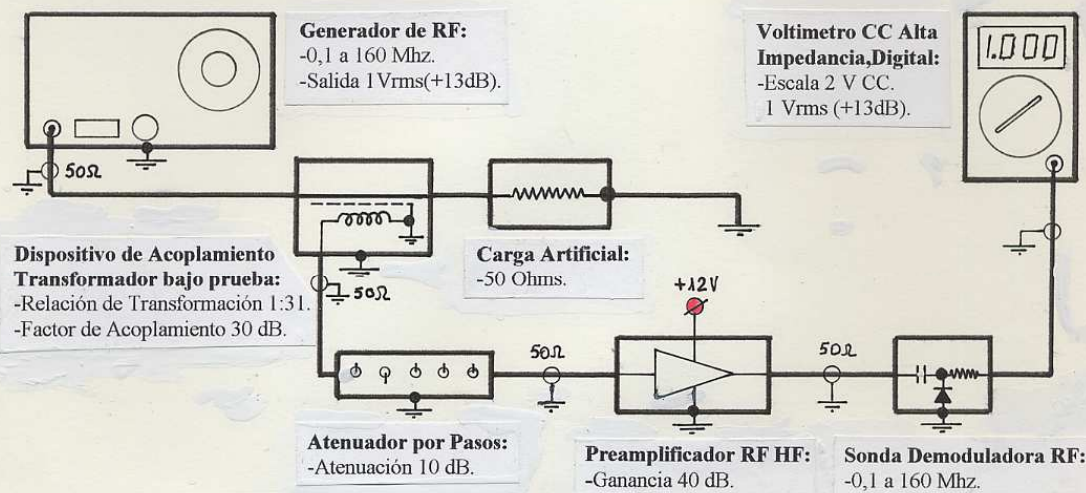


Figura N°4: Diagrama del sistema que se ha utilizado para efectuar la evaluación de los transformadores T1 Y T2 del Acoplador Direccional, comprende los siguientes elementos: Generador de RF de 0,1 a 160 Mhz impedancia de 50 Ohms y señal de salida constante de 1 Vrms; dispositivo de acoplamiento del transformador bajo prueba; carga artificial de 50 Ohms; atenuador por pasos; preamplificador HF de 40 dB; sonda demoduladora de RF y voltímetro de cc alta impedancia tipo digital. La respuesta en frecuencia tanto del generador como del preamplificador y sonda puede considerarse plana dentro de la banda pasante de HF.

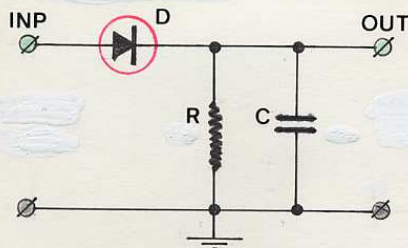


Figura N°5: Circuito Simple de Detección por Diodo de Punta de Contacto, Germánico.

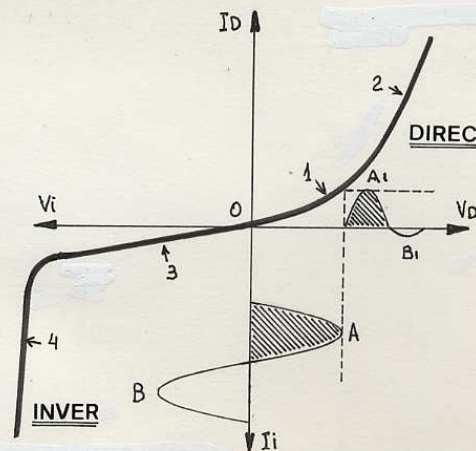


Figura N°6: Curva Característica de conducción Directa e Inversa en un Diodo de Germánico.

Figura N° 5: Circuito simple de detección por diodo de Ge. La resistencia R representa la resistencia de carga del diodo D y la capacidad C, es el filtro de aplanamiento de la componente pulsatoria de RF que está presente a la salida del diodo detector.

Figura N° 6: Curva característica de conducción directa e inversa de un diodo de Ge como detector de RF. Obsérvese que la característica directa de la corriente tensión I_D V_D y en consecuencia la resistencia dinámica, son de carácter exponencial y no lineal como sería deseable; pasando ha ser este, el problema que más nos afecta al detectar señales de poca amplitud. Con la característica inversa, ocurre algo parecido salvo que la resistencia dinámica es mucho mayor.

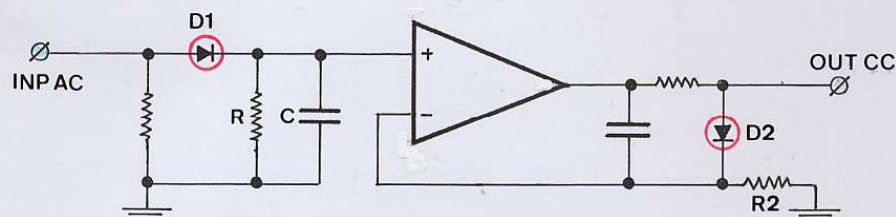


Figura N° 7: Circuito detector compensado. Este circuito detector, consta de un detector simple por diodo Schottky D1, seguido por un amplificador lineal no inversor de corriente continua cuyo lazo de realimentación, es de carácter no lineal por incorporar otro diodo de las mismas características D2 y el cual, debido su característica exponencial y en función de la señal de salida, tiende a ejercer un control automático de tal manera que ante señales pequeñas, la resistencia dinámica directa de D2 se hace muy grande con lo cual, la ganancia del amplificador aumenta y con señales mayores, ocurre lo contrario al hacerse la resistencia de realimentación más pequeña. La resistencia R2, es la que establece el margen de amplificación del sistema.

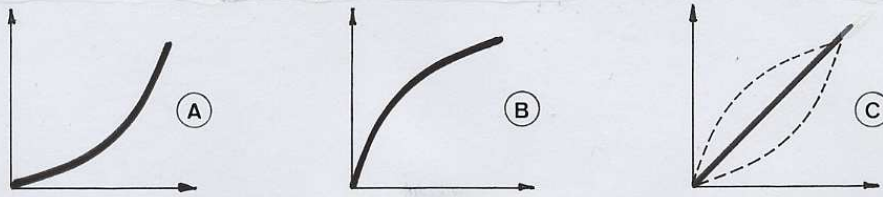


Figura N° 8: Representación gráfica, del principio de funcionamiento de un Detector compensado. (A): Curva exponencial de la característica directa del diodo D1. (B): Curva resultante logarítmica del conjunto, amplificador y diodo de realimentación D2. (C): Respuesta de carácter lineal, a la salida del Detector compensado.

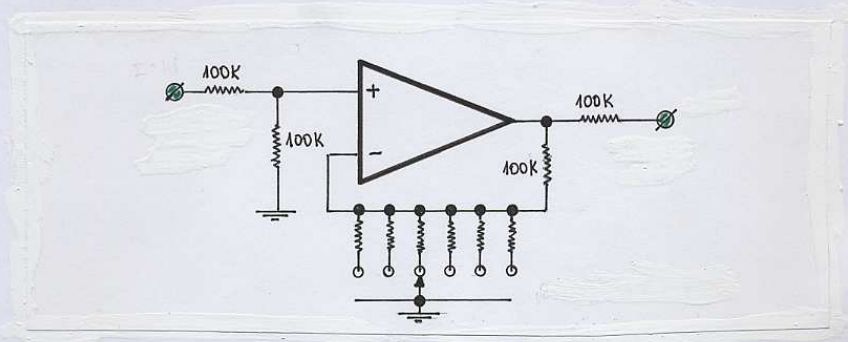


Figura N° 9: Etapa separadora y amplificador lineal, no inversor de corriente continua y de ganancia variable manualmente, por el selector RANGE WATTS. El divisor de tensión en el lazo de realimentación, es lineal por ser de naturaleza resistiva y cada valor de resistencia, guarda relación con el rango de potencia a medir hasta fondo de escala.

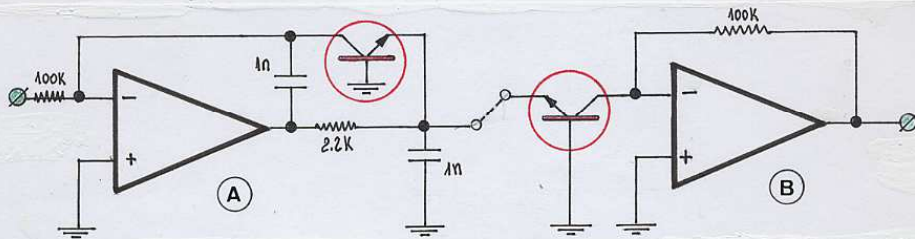
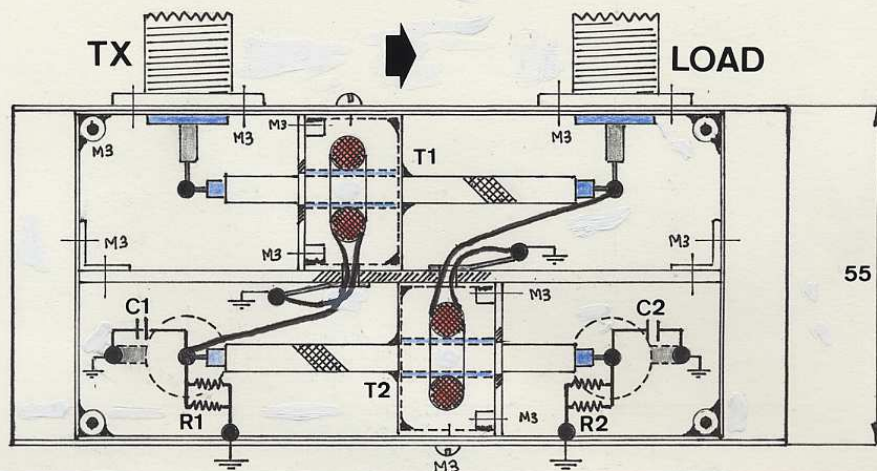


Figura N° 10: Dispositivo amplificador logarítmico y antilogarítmico. (A): Amplificador logarítmico. (B): Amplificador antilogarítmico o exponencial. La combinación de ambos y por este orden, permite efectuar operaciones matemáticas analógicas en tiempo real. La salida resultante, es siempre de carácter lineal. La utilización de transistores NPN conectados en base común, en lugar de diodos, permite una mejor adaptación de impedancias y un margen más amplio de la señal de entrada o de compresión de señal.



R1 y R2: Resistencias de 50 Ohms (2 R. de 100 Ohms 0,5 W, 5 % en paralelo).

C1 y C2: Condensadores de 10 nF, 100 V, tipo cerámico.

D1 y D2: Diodos de Si Schottky, 1N5711, apareados.

T1 y T2: Núcleos toroidales FT50-61 (u125), 31 espiras, hilo de 0,4 m/m.

Nota: Todas las medidas que se indican en las cotas, son en m/m.

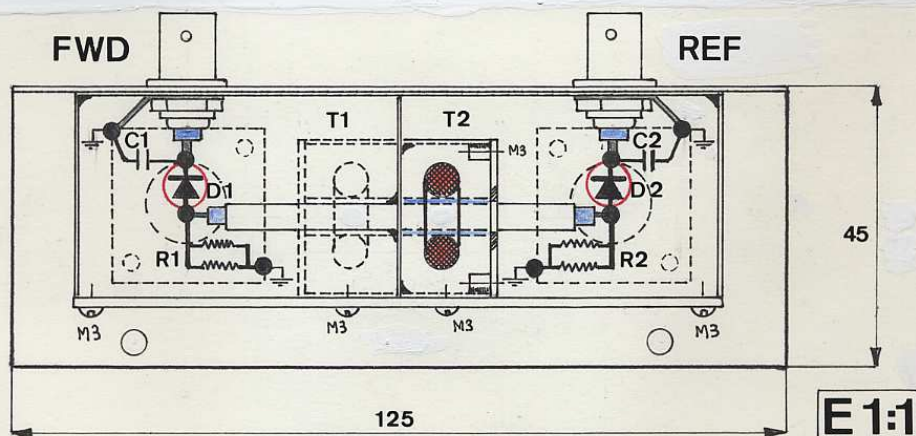


Figura N°11: Acoplador Direccional detalle interior, se pueden observar: Los conectores de inserción en la línea de 50 Ohms TX y LOAD así como, las pequeñas secciones de línea de la misma impedancia que ejercen la función de bobinados en los transformadores de intensidad T1 y de tensión T2; en ambos transformadores, los bobinados toroidales quedan alojados dentro de cajas o blindajes metálicos los cuales, forman parte del conjunto de compartimentos separadores referenciados a masa. También se puede apreciar, la simetría del cableado, las resistencias de carga de 50 Ohms R1, R2, los detectores D1, D2 y condensadores de filtro C1, C2 en las salidas de señal: Directa FWD y Reflejada REF a cargo de conectores BNC. Todo este conjunto, queda ubicado en una caja de aluminio según las medidas que se indican, además de otro blindaje interior en plancha de Cu de 0,5 m/m con uniones estañadas y tapa practicable de aluminio, con este doble blindaje, queda garantizada la hermeticidad de todo el sistema sensor.

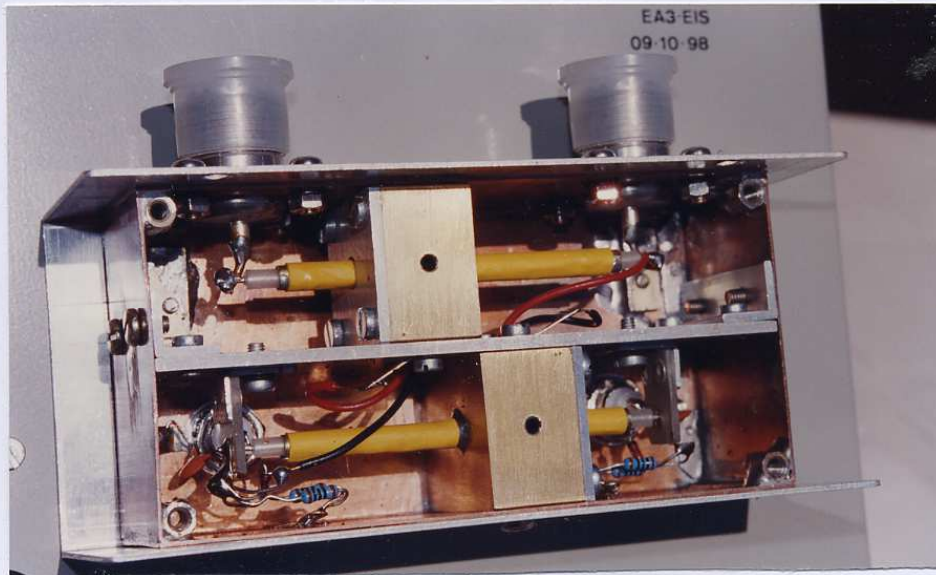


Figura N°12: Vista interior del acoplador direccional ya operativo. Este sensor queda situado, en el exterior de la tapa posterior del vatímetro direccional. En la parte superior de la foto, pueden verse los dos conectores PL hembra con sus tapones de protección, que corresponden a la entrada Tx y la salida Load, entre sus contactos activos centrales, tenemos una de las secciones de línea coaxial de 50 Ohms, como espira o primario del transformador de intensidad T1, recuérdese que el secundario de dicho transformador, discurre por un núcleo toroidal acoplado con el mismo segmento de línea coaxial, este transformador T1 queda envuelto de manera individual, por un blindaje electrostático con tapadera practicable mediante tornillos M3. Separado por un tabique de aluminio, tenemos el otro transformador de tensión T2, con el mismo principio de construcción y también, de aislamiento electrostático, aquí la sección de línea coaxial queda conectada, entre los terminales activos centrales de dos conectores BNC hembra, que dan acceso al interior del vatímetro, de las señales FWD y REF, potencia directa y potencia reflejada respectivamente. Como puede apreciarse de manera real, este dispositivo está dotado de un doble blindaje, el de efecto interno entre los dos transformadores T1 y T2, con tal de evitar en lo posible su mutua interferencia y también, el blindaje de tipo general de influencia hacia el exterior y a la inversa, desde una fuente de energía de procedencia exterior. Las señales FWD y REF, se llevan hasta los detectores compensados, a través de cable coaxial y conectores BNC tipo macho en un extremo, de esta manera, al quitar la tapadera posterior del vatímetro, el módulo sensor queda totalmente libre.

Figura N°13: Esquema eléctrico de los detectores compensados y de los rangos de potencia. Obsérvese que ambos detectores, son idénticos en cuanto al circuito, cave destacar la filosofía de los dos detectores compensados, que permiten conseguir una buena respuesta ante las señales de RF pequeñas y también, una buena inmunidad ante las señales externas de magnitud grande, al estar dotado todo este conjunto, de un retorno a masa flotante a través de choque de RF y de un blindaje electrostático interno.

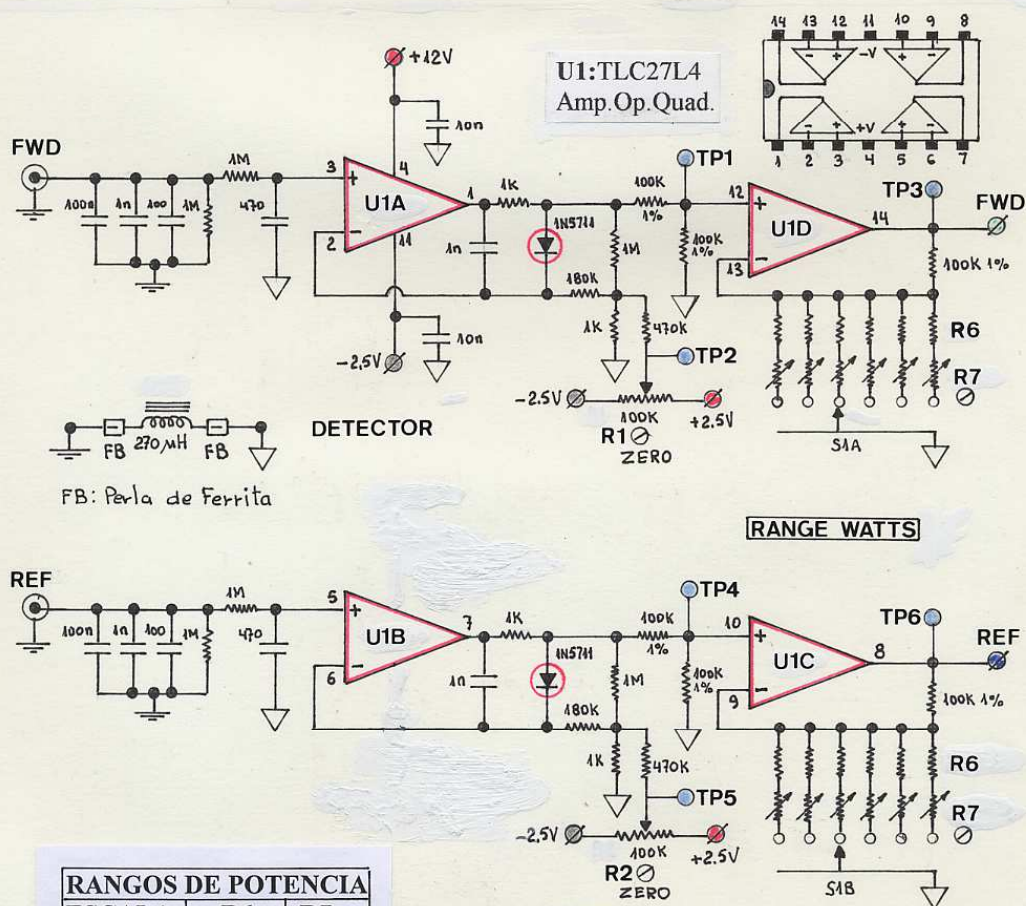
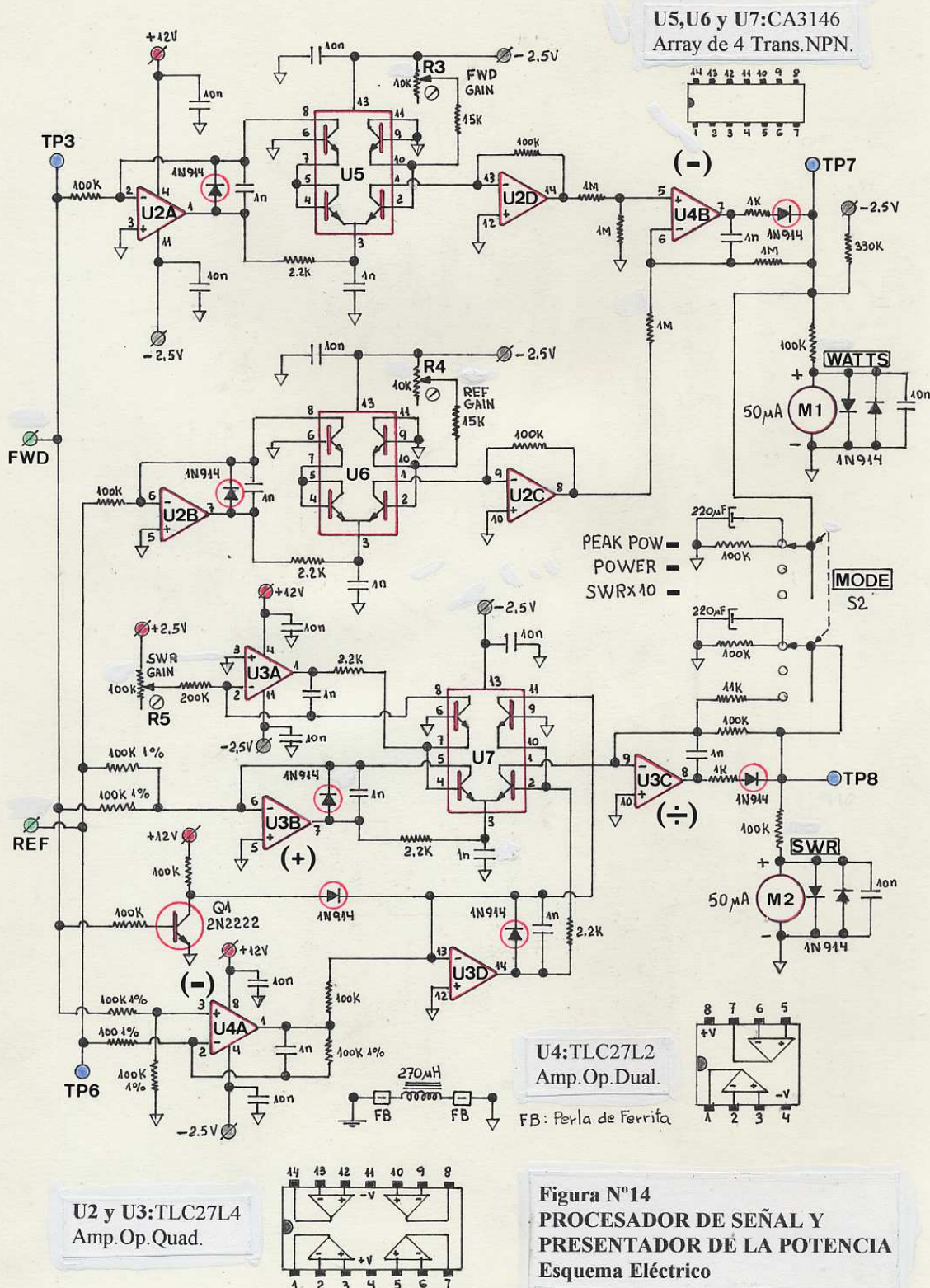


FIGURA N°13:
DETECTORES COMPENSADOS
Y RANGOS DE POTENCIA
Esquema Eléctrico



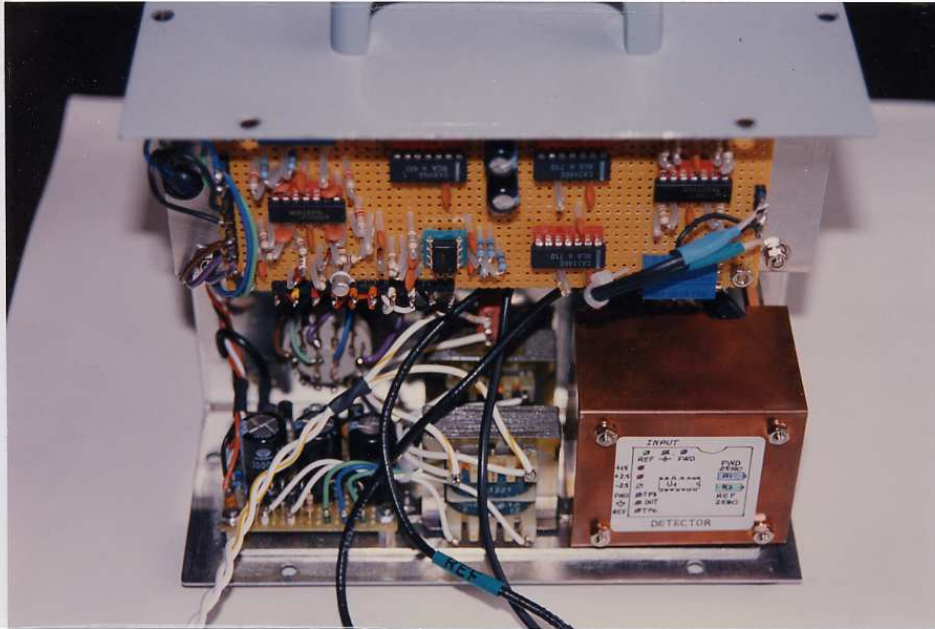


Figura N° 15: Vista interior del vatímetro. En la parte superior, el procesador de señal FWD y REF; en la parte inferior a la izquierda, la fuente de alimentación y a continuación, los detectores compensados y rangos de potencia FWD y REF , ambos ubicados en su respectivo blindaje de Cu.

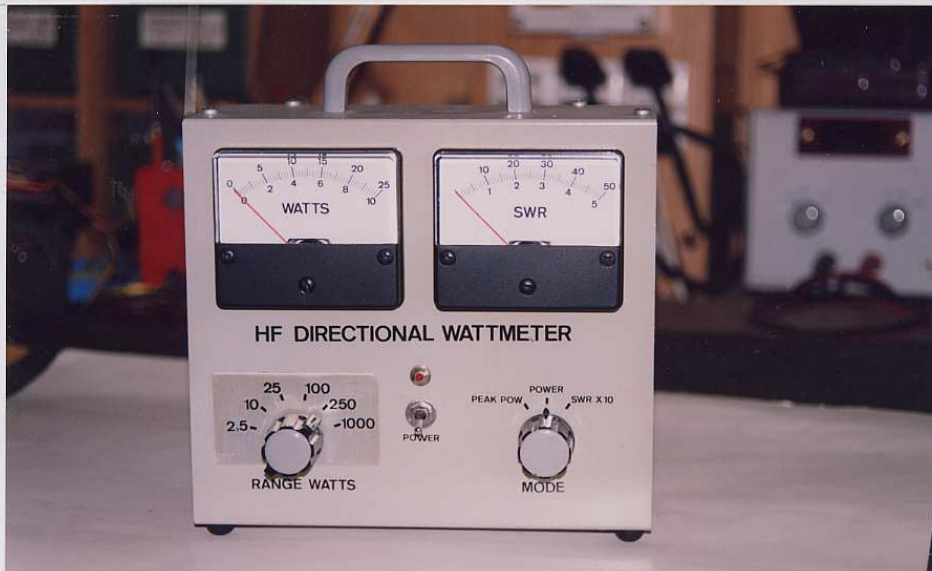


Figura N° 16: Vista exterior frontal del vatímetro. Lo primero que destacan, son las escalas lineales de ambos instrumentos: WATTS y SWR; el interruptor POWER y los dos únicos mandos: RANGE WATTS y MODE lo cual, evidencia la simplicidad de manejo de dicho instrumento.



Figura N° 17: Vista exterior posterior del vatímetro con el acoplador direccional adosado a la tapa trasera, de el solo destacan, los dos conectores PL correspondientes a TX – LOAD y el cable de red para su conexión a 220 V el cual, está dispuesto en su recogedor de PVC.

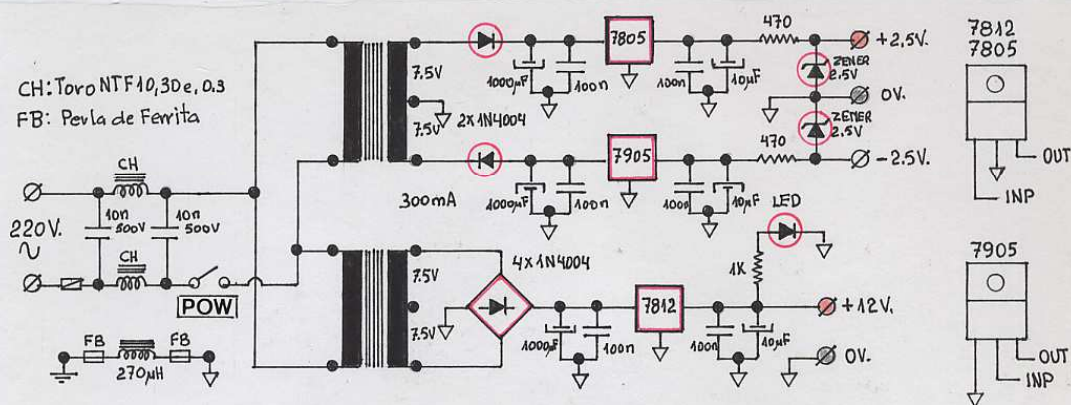


Figura N° 18: Esquema eléctrico de la fuente de alimentación regulada de: +12 V, +2,5 V y -2,5 V. Véase la entrada de primario a 220 V con el filtro de red intercalado así como, la tierra flotante que comunica el chasis o masa a través de un choque de RF y dos perlas de ferrita FB. El conjunto de la fuente de alimentación, es la única variante del proyecto original de este vatímetro.