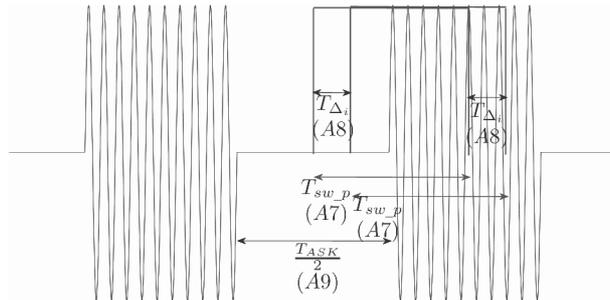


## R E S U M O

### **Método para determinar o atraso entre as medições em dois ou mais Analisadores de Espectro ou medidores de potência**

O objectivo é medir o atraso entre o instante de início da medição (A8) entre dois ou mais Analisadores de Espectro (AS) com base na potência medida em cada um usando uma relação de proporcionalidade entre as duas grandezas. Este método de medida de tempo implica a injeção em cada AS de dois sinais ASK (*Amplitude Shift Keying* em Inglês) sincronizados e idênticos, cada um modulado por uma onda quadrada de factor de serviço (*Duty Cycle* em Inglês) de 50%. Este método é válido para o caso também de corrente contínua (CC), em vez de injectar um sinal ASK (Rádio Frequência (RF) /Microondas) é injectada uma onda quadrada e a potência é medida por um medidor de potência CC com disparo.



## **D E S C R I Ç Ã O**

### **Método para determinar o atraso entre as medições em dois ou mais Analisadores de Espectro ou medidores de potência**

#### **Domínio técnico da invenção**

**Electrónica (Instrumentação), Frequência Radio, Microondas**

#### **Sumário da invenção**

A presente invenção está relacionada com a medição da diferença de tempo (A8) entre o início do ponto de medição da potência (num varrimento) em dois ou mais analisadores de espectro (ASs, AS - analisador de espectro) disparado por hardware, software ou mistura. A diferença entre os tempos de atraso desses disparos é a grandeza determinada. Essas diferenças de atraso podem-se dever aos próprio hardware ou software dos ASs ou devido aos sinais que fazem o disparo já estarem não sincronizados. No caso de existir bastante precisão temporal nos ASs (ou no medidor de potência com disparo), pode ser usado para medir a diferença de atraso nos disparos devido a um circuito externo. Isso pode ser usado, por exemplo, para medir diferença de atrasos em linhas de transmissão.

Assim, permite medir o grau de sincronismo entre medições simultâneas de ASs. Isso pode ser extrapolado para qualquer medição simultânea com outros medidores de potência de rádio frequência, Microondas ou em Corrente Contínua (CC).

#### **Descrição geral da invenção**

O objectivo é medir o atraso entre o instante de início da medição (A8) em dois ou mais ASs (pode ser usado um medidor simples de potência RF/Microondas com disparo) com base na potência medida em cada um. Supõe-se que o comando para fazer as medições é feito em ambos os casos por dispa-

ro de software em ambos ou hardware em ambos ou mistura (diferente para cada um). Este método de medida de tempo implica a injeção em cada AS de dois sinais sincronizados Amplitude Shift Keying (ASK) idênticos (resultado da modulação duma portadora por uma onda quadrada com 50% de factor de serviço). Se os ASs estão localizados remotamente um do outro os sinais ASK devem ser sincronizados de alguma forma, por exemplo, por GPS. Se co-localizados o sinal ASK pode ser dividido através dum repartidor ou divisor de sinal (B3). O método permite a correcção do cálculo da diferença de instantes de tempo com base nas medidas, para o caso dos sinais ASK não terem a mesma potência medida devido a erros de calibração dos ASs ou não havendo simetria no divisor de sinal. O sinal calculado que representa a diferença de instantes de tempo revela boa precisão devido sua planura, o que acontece no caso do período de tempo medido (depois de calculado) ser muito maior do que as imprecisões temporais dos instrumentos e no caso do tempo calculado ser da ordem do período do sinal ASK dividido por 4. O método é também aplicável em Corrente Contínua (CC) com uma onda quadrada positiva (entre um valor positivo e zero) com factor de serviço de 50% e com medidores de potência de CC com disparo. Toda a teoria é aplicável da mesma forma.

Este método precisa que seja feita um grupo de medições vulgarmente designado nos manuais dos ASs por varrimento (*Sweep* em Inglês).

### Descrição das Figuras

Figura 1. Cenário de Campanha de Medidas para Rádio Cognitivo. A1 - Estação Base, A2 - Obstáculos, A3 - Sensor (AS<sub>1</sub>) responsável por  $P(t, s_1)$ , A4 - Sensor (AS<sub>2</sub>) responsável por  $P(t, s_2)$ , A5 - Computador. A distância entre sensores é menor que 200 metros.

Figura 2. Dispositivo de medição 1 (um), B1- Computador Portátil, B2 - Gerador de Sinal (Gerador de ASK), B3- Divisor de Sinal, B4, B5 - Analisadores de Espectro, B6 - Ligação Ethernet (de Carta Ethernet Dupla), B7 - Cabo SMA, B8 - Carta comandada e alimentada por USB (*Universal Serial Bus*, em Inglês) de saídas digitais TTL, B9 - Cabo ligado à entrada de disparo do Analisador de Espectro, B10 - Cabo USB

Figura 3. Dispositivo de medição 2 (dois), B1 - Computador Portátil, B2 - Gerador de Sinal (Gerador de ASK), B3 - Divisor de Sinal, B4, B5 - Analisadores de Espectro, B6 - Ligação Ethernet (de Carta Ethernet Dupla), B7 - Cabo SMA

Figura 4. Dispositivo de medição 3 (três), B1 - Computador Portátil, B2 - Gerador de Sinal (Gerador de ASK), B3 - Divisor de Sinal, B4, B5 - Analisadores de Espectro, B6 - Ligação Ethernet (de Carta Ethernet Dupla), B7 - Cabo SMA, B8 - Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL, B9 - Cabo ligado à entrada de disparo do Analisador de Espectro, B10 - Cabo USB

Figura 5. Rectângulos - Janelas temporais de Medida em dois ASs num único ponto de medida do varrimento, Sinusóide de Factor de Serviço de 50% - Sinal ASK.

Figura 6.. Caso em que  $T_{\Delta_i}$  dá aproximadamente zero para qualquer  $i$ .

Figura 7. Resultado do cálculo da diferença entre os instantes de tempo do começo das medidas de potência (dum varrimento) entre dois ASs (Disparo por Software)

Figura 8. Resultado do cálculo da diferença entre os instantes de tempo do começo das medidas de potência (dum varrimento) entre dois ASs (Disparo por Hardware).

Figura 9. Conexões do Díodo Zener e Díodos Schottky de limitação de tensão em ambos os extremos do cabo RG58 de transmissão do sinal de disparo. I1, I2, I5 - Díodos Schottky, I6 - Díodo Zener, I3, I4 - Terminação do cabo RG58. L1 - Lado da Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL, L2 - Lado do Analisador de Espectro, VA - 5Volts Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL

## Descrição detalhada da invenção

Figura 2 mostra um exemplo dum dispositivo para medir indirectamente a diferença (em segundos) entre instantes de tempo do início das medidas (A8) de dois ASs (B4 e B5). Neste dispositivo (Figura 2), o disparo é feito por hardware em um AS e por software em outro. O instante de tempo de início da medida, no AS com disparo por hardware é determinístico e no AS com disparo por software o instante de tempo de início da medida é não determinístico. Na Figura 3 é mostrado o dispositivo com dois ASs disparados por software (disparados através de comandos de programação transmitidos sobre Ethernet) e na Figura 4 é mostrado outro dispositivo com dois ASs disparados por hardware através da entrada de disparo (*Trigger*), e uma Carta comandada e alimentada por USB (*Universal Serial Bus*) de saídas digitais TTL (B8). Programada por USB pelo Computador Portátil (B1). Em cada AS é injectado um sinal ASK de potências iguais (não são realmente iguais devido a assimetrias no divisor de sinal) e sincronizados. A medida é feita com frequência central igual à frequência da portadora e SPAN igual a zero (este parâmetro do AS, com este valor implica que todas as medidas de potência dum varrimento são feitas à mesma frequência central). SPAN é uma largura de banda na qual a frequência central dos pontos de medida do varrimento estão espalhados e igualmente espaçados. A largura de banda de medida (*Resolution Bandwidth* em Inglês) deve ser tal que deve incluir em excesso a largura de banda do sinal ASK (que se pode aferir da visualização do sinal no AS, com SPAN e largura de banda de medida adequadas). Na Figura 5 é mostrada a onda ASK com duas janelas de tempo de medida de potência cada correspondendo a um ponto do varrimento em cada AS.

A cada ponto do varrimento o AS mede a energia e de seguida divide pelo tempo de medida desse ponto para calcular a potência.

Vamos inicialmente atribuir ao período de medida em cada ponto do varrimento ( $T_{sw\_p}$ , A7), metade do período do sinal ASK ( $T_{ASK}/2$ , A9). De notar que em cada AS o tempo de varrimento terá de ser o número de pontos do varrimento vezes este tempo (para SPAN igual a zero o tempo de varrimento mínimo é zero [7, página 76]). Por isso não é preciso tomar em conta efeitos transitórios no tempo de varrimento. Neste caso, o módulo da diferença entre instantes de tempo dos ASs (dados na Figura 5 por  $T_{\Delta}$ , A8) é directamente proporcional ao módulo da diferença de Energia entre eles (como evidencia a Figura 5). Neste cenário perfeito, com  $T_{sw\_p} = T_{ASK}/2$ , em cada ponto do varrimento (possível números de pontos por varrimento nos ASs 501, 1001, 2001, I ...

pontos, cada secção tem I pontos) dá o mesmo resultado ( $T_{\Delta_i}$  corresponde à energia  $T_{sw-p} |P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i|$ ,  $\frac{T_{ASK}}{2}$  corresponde à energia  $T_{ASK} P_{ASK}$ ):

$$T_{\Delta_i} = \frac{T_{sw-p} |P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i| T_{ASK}}{T_{ASK} P_{ASK} \cdot 2} = \frac{|P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i|}{2P_{ASK}} T_{sw-p} \quad (1)$$

em que  $P_{AS_1}^i$  e  $P_{AS_2}^i$  são as potências medidas (linear, se a medida for feita numa escala logarítmica como dBm tem que se passar para Watt) em cada ponto de varrimento  $i$  em cada AS ( $AS_1$  e  $AS_2$ , B4 e B5).  $P_{ASK}$  é a potência do sinal ASK injectado em cada AS. As outras variáveis estão explicitadas na Figura 5. Pode acontecer que a fase relativa das medidas com o sinal ASK seja a da Figura 6 e nesse caso a diferença de potência é zero. Uma maneira de resolver este problema é fazer o tempo de medida em cada ponto do varrimento ligeiramente superior ao meio período do sinal ASK de tal maneira que a fase relativa mudará ao longo dos pontos de varrimento (o tempo entre instantes de tempo de começo da medida nos dois ASs continua a ser dado pela Equação 1).

O valor da Equação 1 ao longo do índice  $i$  dos pontos do varrimento muda de zero a um máximo, ao contrário do que acontecia antes que se mantinham constantes. O máximo é o valor da diferença entre instantes de tempo.

$P_{ASK}$  pode ser medida directamente de cada secção (varrimento) (porque  $T_{sw-p} > \frac{T_{ASK}}{2}$ ). Existe uma relação de igualdade

da energia medida  $T_{sw-p} \text{MAX}_{i \in \{1, \dots, I\}}(P_{AS_1}^i)$  e a energia da onda ASK dando

$$P_{ASK} = \frac{T_{sw-p} \text{MAX}_{i \in \{1, \dots, I\}}(P_{AS_1}^i)}{T_{ASK}} \quad (2)$$

em que  $\text{MAX}_{i \in \{1, \dots, I\}}(P_{AS_1}^i)$  representa o máximo da potência medida em cada secção no  $AS_1$  (O AS escolhido é irrelevante). De aqui para a frente  $i \in \{1, \dots, I\}$  será omitido das equações.

A diferença entre os erros da calibração nos ASs e a diferença de atenuações no divisor de sinal (não balanceado) podem ser compensados (Interessa compensar um AS em relação

ao outro já que não temos o valor real da grandeza) introduzindo o seguinte ganho em potência no AS<sub>2</sub>

$$G_{\Delta} = \frac{\text{MAX}(P_{AS_1}^i)}{\text{MAX}(P_{AS_2}^i)} \quad (3)$$

Substituindo a Equação 2 na Equação 1, introduzindo a Equação 3 na Equação 1 obtêm-se

$$T_{\Delta_i} = \frac{\left| P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i G_{\Delta} \right| T_{ASK}}{\text{MAX}(P_{AS_1}^i) \cdot 2} \quad (4)$$

$\left| P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i G_{\Delta} \right| / \text{MAX}(P_{AS_1}^i)$  cancela os erros de calibração da AS<sub>1</sub> se o erro for modelado por um ganho.

### Precisão do Método

Atendendo que o erro relativo da função  $F$  é dado em função dos erros das suas variáveis por

$$\frac{\Delta F}{F(x_1, x_2, \dots, x_n)} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{dF}{dx_j} \Delta x_j}{F(x_1, x_2, \dots, x_n)} \quad (5)$$

Então, considerando uma grande precisão nas variáveis envolvendo tempo e  $P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i G_{\Delta} > 0$  temos

$$\Delta T_{\Delta_i} = \frac{T_{ASK}}{2} \frac{P_{AS_1}^i}{\text{MAX}(P_{AS_1}^i)} (\epsilon_{11} - \epsilon_{12}) + \frac{T_{ASK}}{2} \frac{P_{AS_2}^i}{\text{MAX}(P_{AS_2}^i)} (\epsilon_{22} - \epsilon_{21}) \quad (6)$$

sendo  $\epsilon_{11}$  - Erro Relativo da medida de  $P_{AS_1}^i$ ,  $\epsilon_{12}$  - Erro Relativo da medida de  $\text{MAX}(P_{AS_1}^i)$ ,  $\epsilon_{21}$  - Erro Relativo da medida de  $P_{AS_2}^i$ ,  $\epsilon_{22}$  - Erro Relativo da medida de  $\text{MAX}(P_{AS_2}^i)$ .

De notar que no caso do mesmo AS, o erro relativo pode ser do mesmo sinal e nesse caso existe um efeito de cancelamento do erro. Considerando o desvio padrão do erro relativo da potência medida no ASs ser  $\epsilon_r$  (melhor caso [5], [6], tipicamente 1.5%/100, mas encontrou-se sítios na internet reportando erros de 0.4%) e para o pior caso e  $\epsilon_{12} = -\epsilon_{11} = -\epsilon_r$  e  $\epsilon_{21} = -\epsilon_{22} = -\epsilon_r$  então

$$\left| \Delta T_{\Delta_i} \right| = \varepsilon_r T_{ASK} \left( \frac{P_{AS_1}^i}{\text{MAX}(P_{AS_1}^i)} + \frac{P_{AS_2}^i}{\text{MAX}(P_{AS_2}^i)} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\left| \Delta T_{\Delta_i} \right|}{T_{\Delta_i}} = 2\varepsilon_r \left( \frac{P_{AS_1}^i \text{MAX}(P_{AS_2}^i) + P_{AS_2}^i \text{MAX}(P_{AS_1}^i)}{\left| P_{AS_1}^i \text{MAX}(P_{AS_2}^i) - P_{AS_2}^i \text{MAX}(P_{AS_1}^i) \right|} \right) \quad (8)$$

O erro relativo teórico dado pela Equação 8, para  $\frac{T_{ASK}}{2} \cong 2T_{\Delta}$  com  $T_{\Delta}$  a diferença de instantes de início da medida (A8), é aproximadamente 5% (para 1.5% de erro relativo nas medidas). Mas o erro relativo real pode ser menor se existir um efeito de cancelamento do erro ou se a precisão for maior. Com o aumento de  $\frac{T_{ASK}}{2}$  (A9) em relação a  $2T_{\Delta}$  a

precisão decresce.  $T_{ASK}/2$  (A9) deve ser escolhido suficientemente grande de forma a medir a diferença de instantes de tempo esperados mas não muito de forma a garantir a precisão. Para um  $T_{ASK}$  e  $T_{sw-p}$  (A7) determinado este método pode medir atrasos até  $T_{\Delta} = T_{ASK} - T_{sw-p}$  (Só se existir uma determinada fase entre o sinal ASK e intervalo de medida dum pontos de varrimento). No entanto é recomendado que

$$\begin{aligned} T_{\Delta} &< \frac{1}{2} (T_{ASK} - T_{sw-p}) \\ T_{sw-p} &= \frac{T_{ASK}}{2} \left( 1 + \frac{\delta}{100} \right) \\ \delta &> 5 \\ \delta &< 15. \end{aligned} \quad (9)$$

Este conjunto de Equações 9 determina o tempo do período da onda ASK em função do tempo que pretendemos medir. Pelas Equações 9 o tempo a medir deve ser menor a aproximadamente um quarto do período da onda ASK.

$\delta$  é um parâmetro que vai definir a percentagem em que o tempo de varrimento num ponto é superior a metade do período da onda ASK. Como definido nas Equações 9 é recomendado que esteja entre 5 e 15.

Estas condições simultâneas, expressas nas Equações 9, garantem que as ondas apresentadas na secção *Resultados* têm topos suficientemente largos.

## Resultados

A Figura 7 é um exemplo de tal medida no cenário de dois ASs (B4,B5) disparados por software (cenário Figura 3). Representa quatro secções de 501 pontos de varrimento cada. Os parâmetros são  $T_{sw\_p} = 21ms$ ,  $T_{ASK} = 40ms$  e  $P_{ASK} = 0.44\mu W$  ( $-33.56dBm$ ) (A potência não é muito relevante. Deve no entanto ser pelo menos maior que 1000 vezes (30dB) acima do nível de ruído. E ter em conta as não linearidades dos instrumentos). Os dois ASs (B4,B5) usados na medida foram da mesma marca mas de diferentes gerações (Rhode & Schwarz, modelos FSP40 e FSQ8). O gerador de sinal (B2) foi o Rhode & Schwarz, SMU200A. Como se pode ver, a diferença de instantes de tempo (A8) é dado pelo máximo que não muda durante uma secção. O erro relativo real pode-se considerar pequeno devido ao topo plano das ondas da Figura 7.

A Figura 8 mostra as medidas com o cenário de dois ASs (B4,B5) disparados por hardware (cenário Figura 4). A Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL (B8) foi configurada para disparar através de duas linhas Entrada/Saída TTL numa mesma porta (byte) em Push-Pull (Nível Alto - 5V, Nível Baixo - 0V). A Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL (B8) está ligada por dois cabos de 90 metros RG58 (B9) às entradas de disparo dos ASs. Ambas terminações dos cabos estão protegidos com Díodos Schottky (I1,I2,I5) e um Díodo Zener (I6) para limitar o sinal acima e abaixo. Na Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL está protegida com dois Díodos Schottky (I1, I2, modelo BAT85S) porque há acesso aos pinos de alimentação. Do lado dos ASs está protegida com um Díodo Schottky (I5) e um Díodo Zener (I6, modelo BZX79-C5V6) porque não há acesso à tensão mais alta de alimentação dos ASs (ver Figura 9). O nível de tensão de disparo nos dois ASs foi de 1.4V. Este valor terá de se tomar em conta no caso de aplicações em que a diferença de instantes de tempo do começo das medidas terá de ser calculada com precisão.

Foi usado  $\frac{T_{ASK}}{2} = 100\mu s$  para uma medida de diferença de instan-

tes de tempo de aproximadamente  $8\mu s$ . Apesar da falta de topos planos das ondas verificou-se que o valor medido tem mais repetibilidade do que o caso do disparo por software (veja-se os topos entre secções). A falta de topos planos é devido ao facto que a diferença de instantes de tempo é

muito menor e a assunção da precisão de tempo dos ASs não é mais válido e para o tempo medido ( $8\mu s$ ) e período do sinal ASK, o erro relativo da Equação 8 dá um valor muito maior (por volta de 45%).

Este método dá o atraso relativo entre ASs mas não o que dispara primeiro. Tal pode ser encontrado no caso do disparo por software introduzindo um atraso (por software, uma fracção do atraso total) no comando de disparo dum dos ASs. Se o atraso médio aumenta então esse é o AS mais atrasado. De outro modo é o AS adiantado.

## Conclusões

Foi apresentado um método novo para determinar o tempo entre instantes de começo das medidas de dois ou mais ASs. O método pode ter aplicações além do objectivo necessário pelos autores que era encontrar os melhores métodos de disparo para conseguir o sincronismo entre medidas de ocupação de espectro para rádio cognitivo. As medidas revelam resultados muito melhores do que o erro teórico em caso do período de tempo medido é muito maior do que as imprecisões do tempo dos instrumentos e no caso do tempo medido ser aproximadamente o período do sinal ASK dividido por 4. Isso pode ser explicado pelo fato que na determinação do atraso poder existir efeito de cancelamento do erro e a precisão das medidas ser melhor do que as especificações dos ASs.

## Exemplos de aplicação

No estudo de fusão em Rádio Cognitivo é necessário fazer medidas de potência síncronas a um par de centenas de metros entre aparelhos de medidas de forma a medir condições de sombra (*Shadowing* em Inglês).

Isto é o seguimento de medidas numa estação única [1] em bandas GSM. Figura 1 mostra o cenário da campanha de medidas para Rádio Cognitivo.  $P(t, s_1)$  (A5) é a potência medida no

$AS_1$ . Os rectângulos mostram as janelas temporais de medida.

Para que as medidas sejam uteis (para mais tarde fazer a fusão) é preciso que as mesmas sejam síncronas nos dois ou mais ASs. Com o método proposto é encontrado a diferença entre instantes de tempo  $T_\Delta$  (A8). Para obter bom sincronismo

é preciso que  $T_\Delta \ll T_{sw\_fusion}$  ( $T_{sw\_fusion}$  - período de tempo de medida em cada ponto de varrimento para depois fazer a fusão. Não confundir com o tempo de medida em cada ponto no método para determinar  $T_\Delta$  (A8).). Em [1] o período de varrimento por ponto foi de 4.62ms ou seja igual ao tempo duma

trama de GSM. O tempo entre o começo das medidas nos ASs ( $T_{\Delta}$ , A8) de  $8\mu s$  é um bom grau de sincronismo para um tempo de varrimento por ponto igual à trama de GSM. A diferença entre o começo das medidas pode ser devido a diferenças de tempo de processamento entre ASs e falta de sincronismo no envio de comandos pelo computador através dos Cabos Ethernet (B6), isto no caso de dois disparos por software. No caso de disparos por hardware o atraso pode ser devido a diferentes atrasos na resposta aos disparos por parte dos ASs e a diferentes atrasos nos disparos introduzidos pelos circuitos externos aos ASs. O método proposto permite avaliar várias abordagens para obter o sincronismo. Trabalho anterior neste contexto foi feito com sincronismo obtido por GPS [2] o que não permite flexibilidade na escolha no tempo de varrimento e não permite por isso medidas contínuas sem lapsos de tempo.

A medida de tempos é feita, usualmente, de início e volta (em Inglês, back to back) no camada MAC em redes de computadores e envolve recursos tecnológicos consideráveis [3], [4]. Neste caso o método simplifica-se devido ao facto que o sistema original incluir ASs e assim pode ser calculado o atraso através de medidas de potência com precisão.

Esta invenção pode dar origem a Notas de Aplicação por marcas de AS como Rohde-Schwarz, Agilent, Tektronix, etc. Um grupo de companhias que poderão estar interessadas na industrialização são fabricantes de medidas de atraso e diferenças de atraso em linhas de transmissão. Também se poderá medir atrasos absolutos em linhas de transmissão se uma linha de Entrada/Saída TTL fôr ligada directamente à entrada de disparo dum AS (ou medidor de potência) e outra linha de Entrada/Saída TTL for ligada através da linha a medir o atraso. Este atraso pode ser usado para medir o comprimento de linhas de transmissão. A generalização da ideia para uma onda quadrada e para Medidores de Potência em Corrente Continua (em vez de sinais ASK e ASs) alarga a aplicabilidade da ideia e muito mais companhias poderão estar interessadas. Um Medidor de Potência em Corrente Continua tem uma tecnologia mais simples que alarga a aplicabilidade.

### **Descrição do Experimento com disparo por hardware nos ASs**

1. Montar o dispositivo da Figura 4.
2. Nas extremidades dos Cabos RG58 (B9 da Figura 4), cada um com 90 metros, fazer as ligações da Figura 9. A malha do cabo modelo RG58 é ligada aos 0V na parte da Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL (I3). Do lado do ASs a malha é ligada à parte

externa do conector da entrada (I4) de disparo (massa).

3. Programar manualmente o gerador de sinal (B2, opções R&S, SMU200A, R&S@SMU-B9/-B10/-B1) para gerar uma onda ASK com o período pretendido variando a taxa de Símbolos/Bits no bloco de banda base. Períodos maiores da onda quadrada que modula a portadora em ASK podem ser obtidos com *Data Patterns* (seleccionando *Patterns* na janela de banda base) de 1s consecutivos, seguidos de 0s consecutivos. O período da onda ASK pode ser determinado pelas Equações 9. Não se sabendo à partida o tempo a medir  $T_{\Delta}$  poderá ter de se tentar vários períodos do sinal ASK até se conseguir medir. Deve-se tentar escolher  $T_{ASK}$  de forma a poder medir em excesso o tempo esperado. Depois se variar  $T_{ASK}$  uma pequena percentagem e der um tempo medido diferente é porque ainda não se encontrou o valor certo. Programar em modulação ASK, ASK Profundidade de Modulação=100%, filtro rectangular de banda base com relógio interno e dados internos. Na secção de rádio frequência definir a frequência da portadora, e o nível da portadora de tal forma que o nível de sinal (potência total, englobando toda a largura de banda do sinal ASK) nos ASs estejam mais de 30dB acima do nível de ruído mas que, no entanto, não entrem na saturação das entradas dos ASs.
4. Correr programa em Labview no computador portátil (B1) para programar os ASs (B4, B5. Rhode & Schwarz, modelos FSP40 e FSQ8) com o tempo de varrimento adequado ( $T_{sw\_p}$  vezes o número de pontos de varrimento), número de pontos de varrimento (este parâmetro só pode tomar certos valores determinado pelo fabricante), medidas RMS, SPAN=0, frequência da portadora do sinal ASK,

largura de banda de medida (medir antes manualmente com um AS, com SPAN diferente de zero a largura de banda do sinal ASK para determinar largura de banda de medida) e de vídeo (3-10 vezes a largura de banda de medida) e pôr os ASs em modo de espera de disparo de hardware. Estas programações são feitas através de dois cabos Ethernet (B6, STP - Shielded Twisted Pair em Inglês, ligação directa sem repetidores), um a cada ASs, com mais de 90 metros (< 100 metros) cada um. Do lado do computador tem uma carta Ethernet dupla (com duas portas, 100BaseT).

5. Em sequência do programa Labview comutar as (duas) linhas de Saída TTL (mesmo byte) da Carta comandada e alimentada por USB de saídas digitais TTL (B8) de aproximadamente 0V para aproximadamente 5V. Os dois ASs deverão fazer as medidas devido ao disparo (sinal através dos cabos RG58, D9). O nível de tensão em que os ASs fazem o disparo deve ser igual em ambos e ser feito na subida (*Positive Edge*) ou descida (*Negative Edge*) em ambos.
6. Ler as medidas (grupo de pontos do varrimento em virgula flutuante) dos dois ASs através das ligações Ethernet, para o computador e gravar em disco.
7. Calcular (4) para cada ponto do varrimento para obter uma secção da Figura 8 (utilizando todos os pontos). Pode-se usar o mesmo computador que lê as medidas dos ASs para fazer os cálculos e gerar os gráficos com um programa como o Matlab.
8. As medidas podem ser feitas com mais de 2 ASs (n ASs) mas os cálculos são feitas com as medidas de 2 ASs. Assim gera-se os disparos em  $n > 2$  saídas TTL (o divisor de sinal terá n saídas também), lê-se os conjuntos de medidas com n cabos Ethernet ligados aos n ASs. Mas os cálculos são feitos com 2 conjuntos de medidas (2 a

2) de 2 ASs. Podem-se repetir esses cálculos com o conjuntos de medidas de 2 ASs dos n até abranger várias combinações de grupos de 2 ASs.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. Mendes, L. Gonçalves, e A. Gameiro, "GSM Downlink Spectrum Occupancy Modeling," em IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'11), (Toronto, Canada), 10-14 Setembro 2011.
- [2] M. Wellens, J. Riihijärvi, M. Gordziel, e P. Mähönen, "Evaluation of Cooperative Spectrum Sensing Based on Large Scale Measurements," em Third IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), (Chicago, Illinois, USA), 14-17 Outubro 2008.
- [3] B. Ngamwongwattan e R. Thompson, "Measuring One-way Delay of VoIP Packets without Clock Synchronization," em IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2009), (Singapore), 5-7 Maio 2009.
- [4] A. Hernandez e E. Magafia, "One-Way Delay Measurement and Characterization," em Third International Conference on Networking and Services (ICNS 2007), (Athens, Greece), 19-25 Junho 2007.
- [5] "Agilent PSA Series Spectrum Analyzers - Data Sheet,"
- [6] "R&S FSQ Signal Analyzer Specifications,"
- [7] Fundamentals of Spectrum Analysis, Christoph Rauscher, Volker Janssen e Roland, Sixth Edition, Rohde & Schwarz, 2008

7 de Outubro de 2015

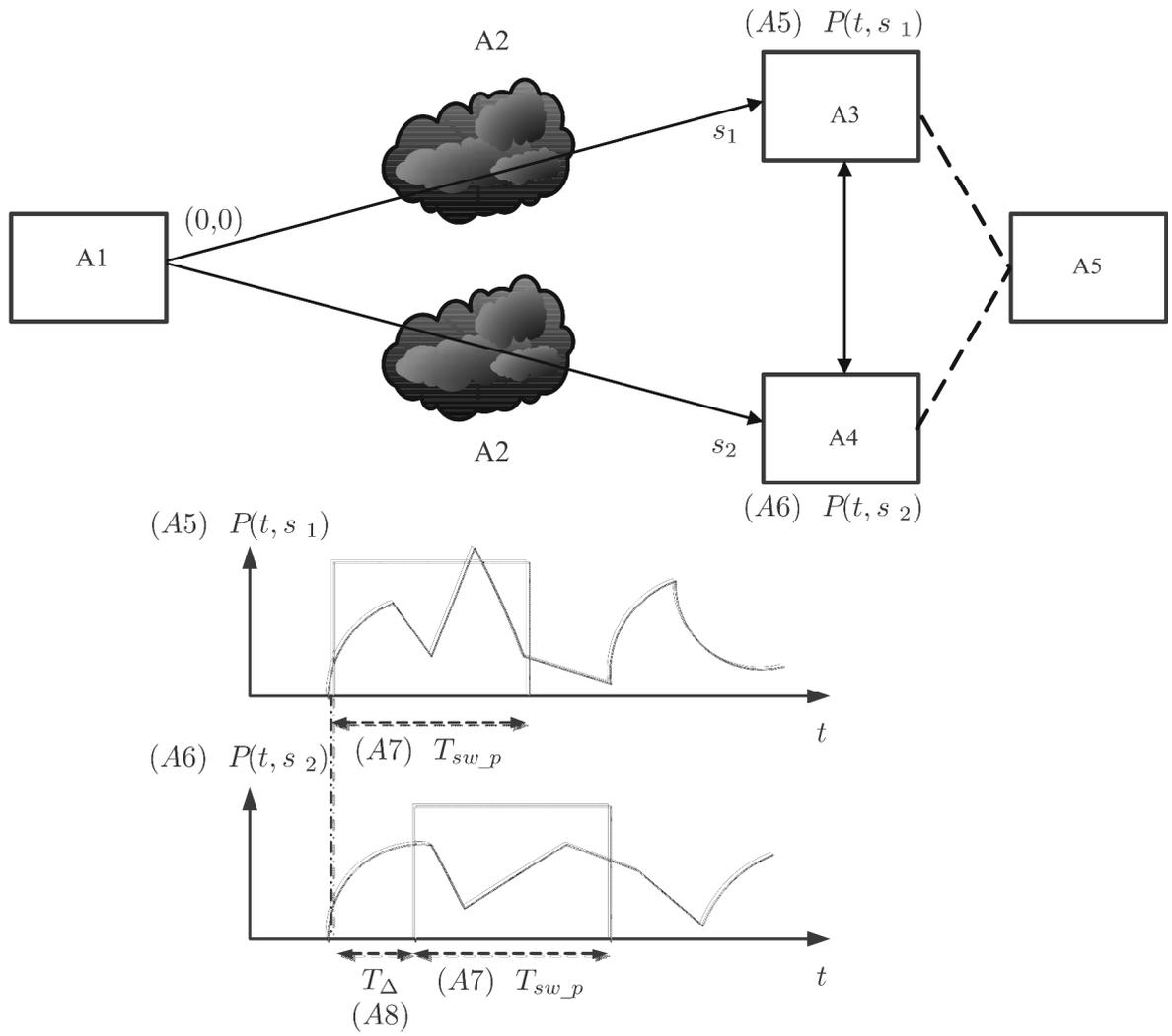


Figura 1.

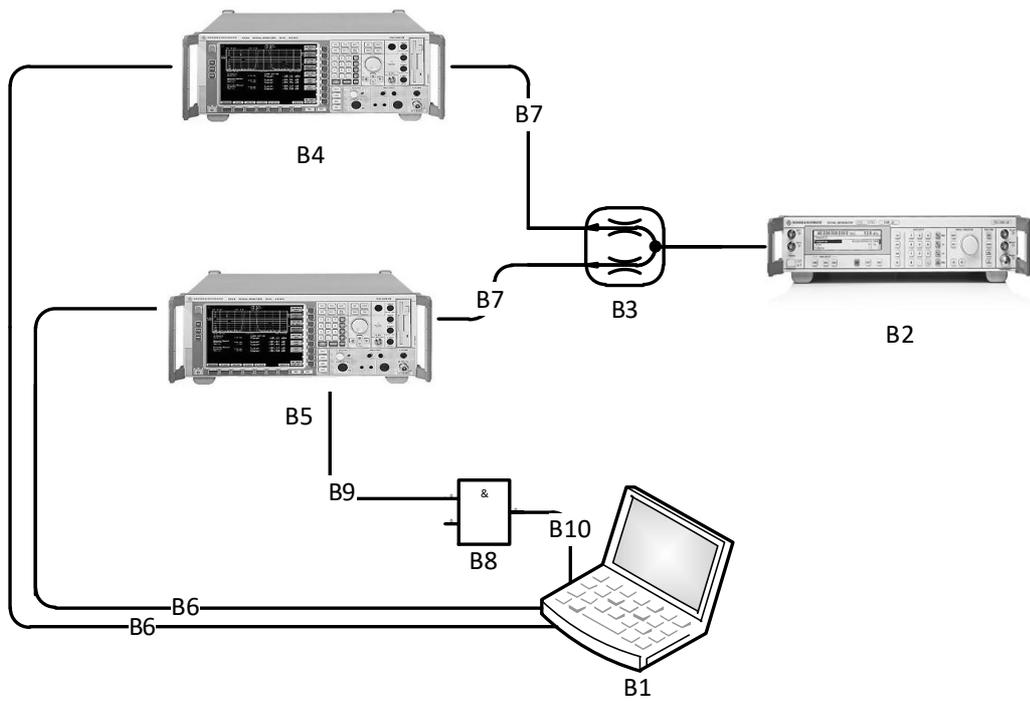


Figura 2.

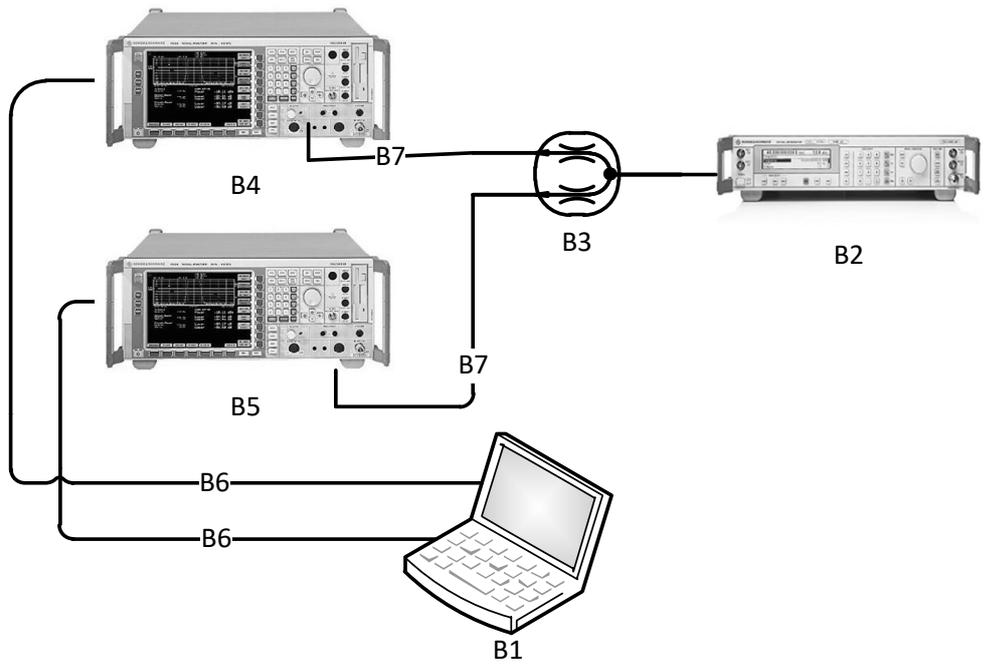


Figura 3.

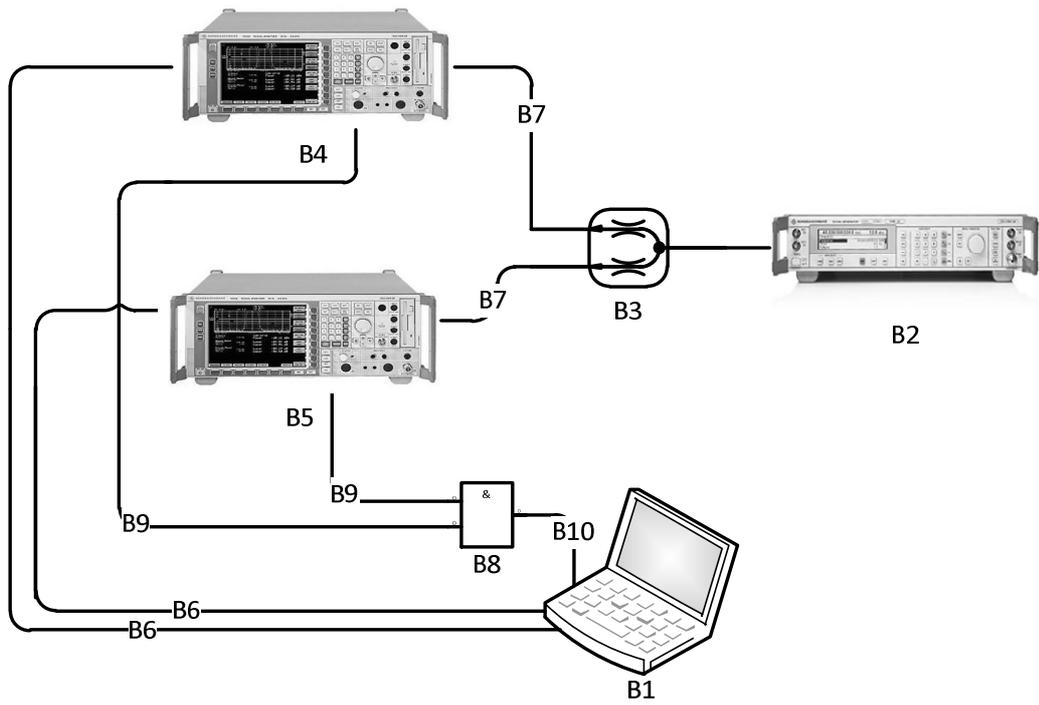


Figura 4.

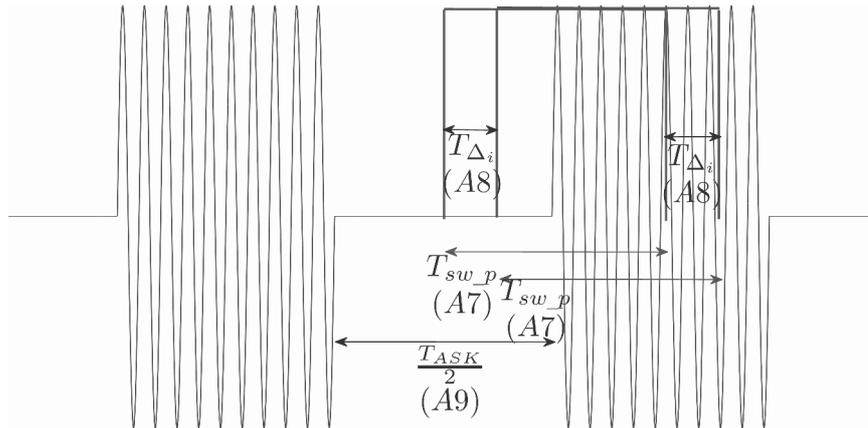


Figura 5.

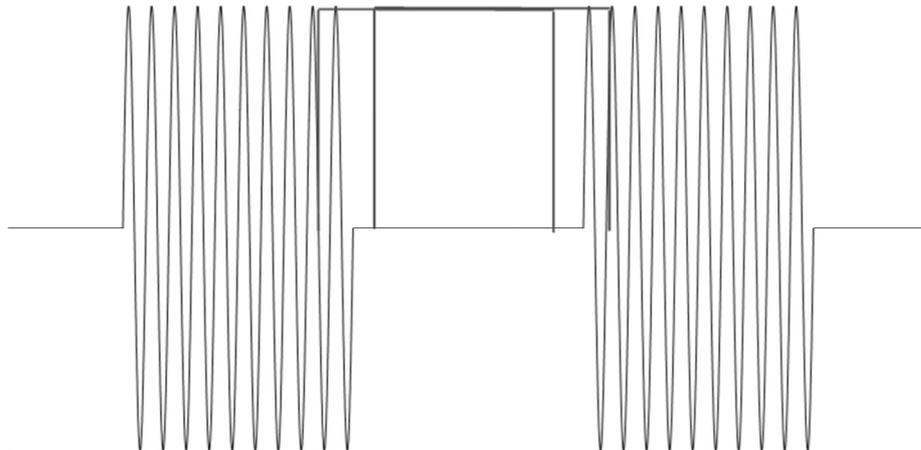


Figura 6.

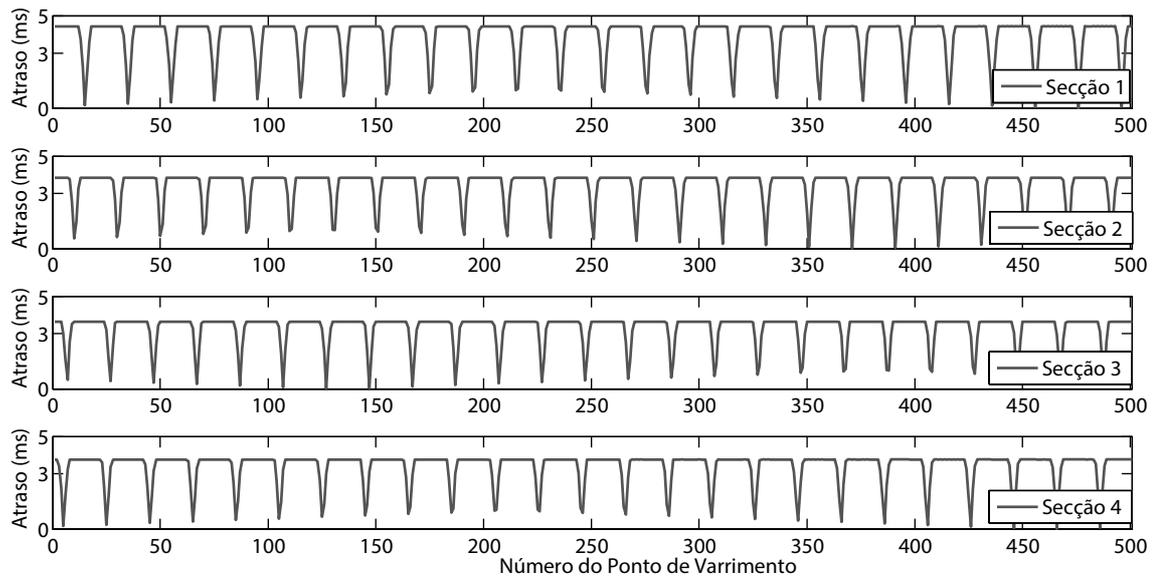


Figura 7.

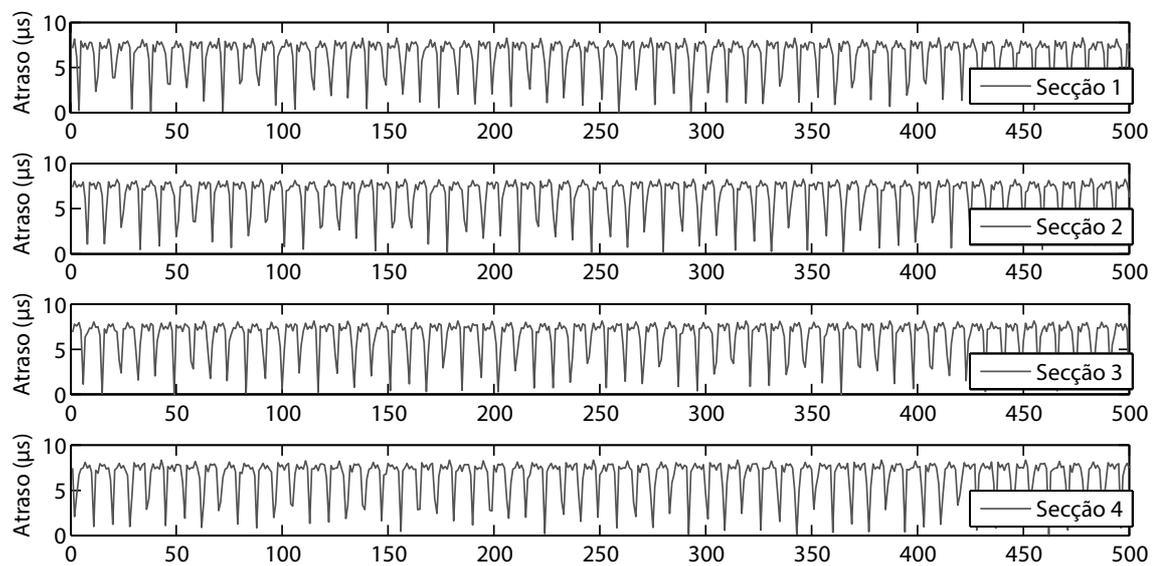


Figura 8.

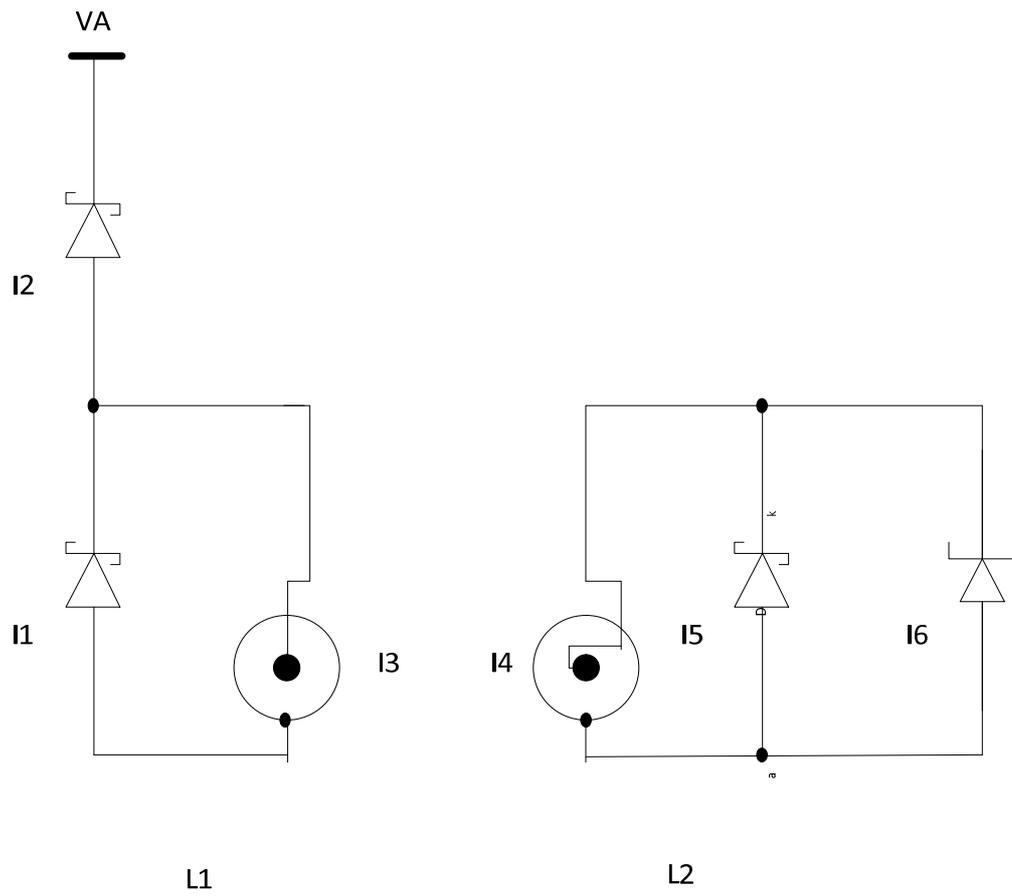


Figura 9.

## R E I V I N D I C A Ç Õ E S

1. Método para determinar o tempo entre inícios de medições entre dois ou mais Analisadores de Espectro - B4 e B5 - ou Medidores de Potência caracterizado por:
  - a. injeção do Sinal ASK - *Amplitude Shift Keying*, em Inglês - com período determinado pelo conjunto de Equações E4 a partir dum tempo a medir, e com factor de serviço de 50% e profundidade de modulação de Rádio Frequência - RF - ou Micro-ondas de 100%, como sinal de teste nos dois ou mais Analisadores de Espectro - AS - ou Medidores de Potência de RF e Microondas mais simples com entrada por disparo; ou alternativamente pela Injeção de Sinal de Onda Quadrada com período determinado pelo conjunto de Equações E4 a partir dum tempo a medir, com factor de serviço de 50% como sinal de teste em dois ou mais medidores de potência de corrente contínua com entrada por disparo;
  - b. geração dos Sinais de Disparo por uma Carta comandada e alimentada por USB - *Universal Serial Bus*, em Inglês - de saídas digitais TTL - B8 - que se propagarão por circuitos, como cabos RG58, que introduzem atrasos de propagação até à entrada de disparo dos ASs;
  - c. execução, através dum dispositivo de cálculo, da Equação E1 que permite determinar as diferenças dos atrasos só das subidas ou só das descidas nas entradas de disparo dos ASs ou medidores de potência, através duma conversão duma diferença de Potência em diferença de instantes de tempos, a partir das medidas, tendo em conta erros de calibração entre os aparelhos de medidas e assimetrias de potência devido ao divisor de sinal - B3 -;

- d. execução, através dum dispositivo de cálculo, das Equações E2 e E3 que permitem determinar uma estimativa dos erros absolutos e relativos respectivamente (dessas diferenças de tempos).

$$T_{\Delta_i} = \frac{|P_{AS_1}^i - P_{AS_2}^i G_{\Delta}| T_{ASK}}{\text{MAX}(P_{AS_1}^i)} \frac{1}{2} \quad (\text{E1})$$

$$|\Delta T_{\Delta_i}| = \varepsilon_r T_{ASK} \left( \frac{P_{AS_1}^i}{\text{MAX}(P_{AS_1}^i)} + \frac{P_{AS_2}^i}{\text{MAX}(P_{AS_2}^i)} \right) \quad (\text{E2})$$

$$\frac{|\Delta T_{\Delta_i}|}{T_{\Delta_i}} = 2\varepsilon_r \left( \frac{P_{AS_1}^i \text{MAX}(P_{AS_2}^i) + P_{AS_2}^i \text{MAX}(P_{AS_1}^i)}{|P_{AS_1}^i \text{MAX}(P_{AS_2}^i) - P_{AS_2}^i \text{MAX}(P_{AS_1}^i)|} \right) \quad (\text{E3})$$

$$T_{\Delta} < \frac{1}{2} (T_{ASK} - T_{sw-p})$$

$$T_{sw-p} = \frac{T_{ASK}}{2} \left( 1 + \frac{\delta}{100} \right) \quad (\text{E4})$$

$$\delta > 5$$

$$\delta < 15$$

$T_{\Delta_i}, T_{\Delta}$  - Diferença de tempos a calcular no ponto de medida  $i$  e o tempo real que será aproximado ao máximo ao longo de  $i$ , respectivamente.

$T_{ASK}$  - período da onda ASK

$P_{AS_1}^i$  - Potência do ponto do varrimento  $i$  no Analisador de Espectro 1

$P_{AS_2}^i$  - Potência do ponto do varrimento  $i$  no Analisador de Espectro 2

$T_{sw-p}$  - Tempo de varrimento num ponto de medida

$\text{MAX}(P_{AS_1}^i)$  - Representa o máximo da potência medida em cada secção no  $AS_1$

$\text{MAX}(P_{AS_2}^i)$  - Representa o máximo da potência medida em cada secção no  $AS_2$

$\delta$  - É um parâmetro que vai definir a porcentagem em que o tempo de varrimento num ponto é superior a metade do período da onda ASK. Como definido nas Equações E4 é recomendado que esteja entre 5 e 15. Pelas Equações E4 o tempo a medir deve ser menor a aproximadamente um quarto do período da onda ASK.

$G_{\Delta}$  - Toma o valor  $\text{MAX}(P_{AS_1}^i) / \text{MAX}(P_{AS_2}^i)$

$\Delta T_{\Delta_i}$  - Estimativa do erro absoluto no cálculo da diferença de tempo no ponto  $i$ .

$\mathcal{E}_r$  - desvio padrão do erro relativo da potência medida no ASs.

7 de Outubro de 2015