



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



David Maykon Krepsky Silva
Havena Louise Pavão

Adaptação de Impedâncias: Redes L, T e π

Data de realização do experimento:

15 de setembro de 2016

Série/Turma:

1000/1011

Prof. Me. Jaime Laelson Jacob

29 de setembro de 2016

Resumo

Neste trabalho foi realizada a análise teórica e a simulação de redes adaptadoras de impedância, tendo como objetivo a análise da transferência de energia de uma fonte para uma carga, de modo a se obter a máxima transferência de potência. O estudo foi realizado tanto para redes do tipo L (Banda estreita e banda larga) quando para redes do tipo T . Foram analisados o índice de mérito e a banda de passagem (para 3 dB de atenuação e pelo critério da transferência de potência) para os circuitos. Foi observado que quanto maior a largura de banda da rede, menor seu fator Q e que este problema pode ser amenizado utilizando-se várias redes do tipo L em cascata.

Sumário

Resumo	1
1 Introdução	3
2 Revisão Teórica	4
2.1 Rede L	4
2.2 Rede $L_{wideband}$	5
2.3 Rede π	6
2.4 Rede T	7
3 Metodologia Experimental	8
3.1 Materiais	8
3.2 Métodos	8
3.2.1 Redes Adaptadoras de Banda Estreita: 2 e 3 elementos (L , T e π)	8
3.2.2 Rede Adaptadora de Banda Larga (WBand)	9
4 Resultados	10
4.1 Rede L	10
4.2 Rede T	11
4.3 Rede $L_{wideband}$	12
5 Discussão e Conclusão	15

1 Introdução

Ao se transportar um sinal de uma fonte para uma carga, caso as mesmas não possuam a mesma impedância, ocorre a reflexão de parte do sinal enviado de volta para a fonte [1]. Este fenômeno é bastante prejudicial em sistemas de comunicação, pois reduz a potência transmitida e, em alguns casos, pode ocasionar danos a fonte. Para solucionar este problema são utilizadas os casadores de impedância, também chamados de rede adaptadora de impedância. Seu princípio de funcionamento consiste em utilizar elementos passivos de modo a satisfazer as condições do teorema da máxima transferência de potência.

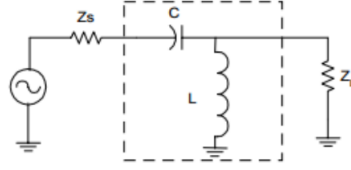
As topologias utilizadas são as redes do tipo L , T e π , sendo possível o acoplamento de redes L em cascata para melhorar o desempenho em sinais de banda larga. O objetivo deste trabalho é analisar o projeto e desempenho de redes do tipo L e T , sendo também estudado o comportamento de redes L em cascata.

2 Revisão Teórica

2.1 Rede L

A rede L é a mais simples das redes e é largamente utilizada por isso [2]. A rede L pode ser Passa-Baixas ou Passa-Altas, porém como neste trabalho o intuito da rede L é bloquear componentes DC, trabalharemos com a rede L Passa-Altas.

Figura 1: Rede L passa-altas.



Fonte: Taufik Abrão, 2002.

Para o projeto de uma rede L, é necessário determinar seu valores de capacitância e indutância [3, 4]. As equações (1), (2) e (3) modelam a rede L.

$$Q = \sqrt{\frac{R_L}{R_S} - 1}. \quad (1)$$

Onde Q é o fator de qualidade da rede, R_S a resistência da fonte e R_L a resistência da carga.

$$X_s = QR_S [\Omega]. \quad (2)$$

Sendo X_s a reatância do elemento série.

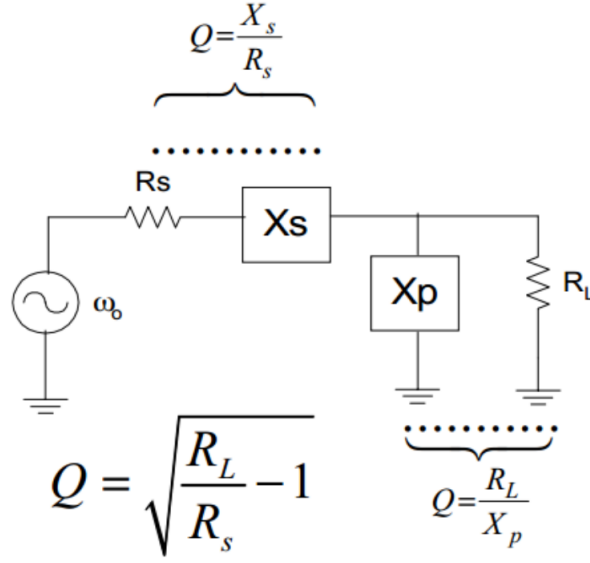
$$X_p = QR_L [\Omega]. \quad (3)$$

Sendo X_p a reatância do elemento em paralelo.

O valor dos componentes é determinado com os seguintes passos:

1. cálculo do fator de qualidade Q de acordo com a impedância da fonte e da carga, conforme a equação (1);
2. cálculo da reatância do elemento em série através da relação (2);
3. cálculo da reatância do elemento em paralelo através da relação (3);
4. determinação do valor dos componentes através do valor da reatância e da frequência de corte.

Figura 2: Parâmetros da rede L.



Fonte: Taufik Abrão, 2002.

Fator de qualidade em redes L está definido (fixo) pela relação entre R_L e R_S . Não há liberdade de escolha para o índice de qualidade o que é um dos grandes problemas no projeto de redes de banda estreita. Para resolver este problema, surgem as redes de três elementos que permitem obter adaptação de Z de banda estreita com alto Q.

2.2 Rede $L_{wideband}$

Uma vez que em uma rede L, definido R_S e R_L , fica determinado o índice de qualidade carregado da rede. Para adaptação de Z em circuitos de Banda Larga, usa-se duas (ou mais) Redes L em cascata (ou série). Para esse tipo de rede adaptadora, a resistência virtual R_v está sempre entre os valores das resistências de fonte e carga. O índice de qualidade desse tipo de rede é menor que os de uma rede L simples, rede T ou rede π . O valor de Q [3] é dado por :

$$Q = \sqrt{\frac{R_v}{R_{min}} - 1}. \quad (4)$$

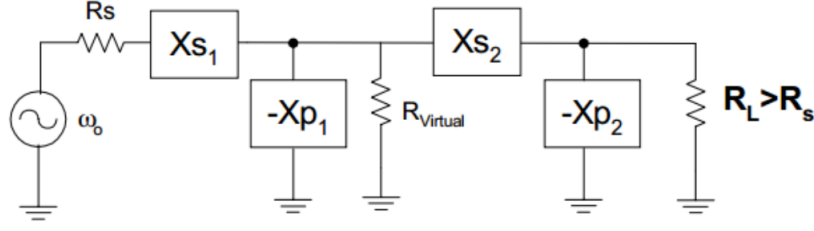
Onde Q é o fator de qualidade carregado (Q^{Load}), R_v é uma resistência virtual e R_{min} é $\min(R_L, R_S)$.

A máxima banda de passagem (ou mínimo Q) é obtida quando:

$$R_v = \sqrt{R_S R_L}. \quad (5)$$

Conforme a necessidade de BW seja maior, mais redes L devem ser cascadeadas. As etapas de projeto para redes WBand de n seções L são as mesmas que as para uma rede L simples, basta solucionar a equação para um específico Q carregado baixo de projeto, obtendo R_v e determinar a reatância dos elementos série e paralelo, porém, com as equações (6), (7), (8) e (9).

Figura 3: Parâmetros da rede $L_{wideband}$.



Fonte: Taufik Abrão, 2002.

$$X_{s1} = Q. \quad (6)$$

$$X_{p1} = Q. \quad (7)$$

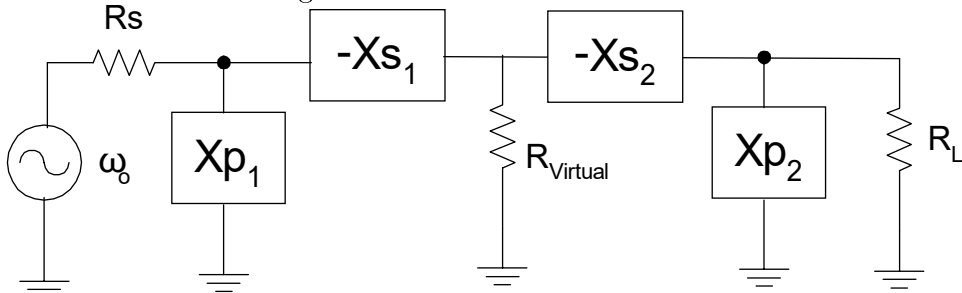
$$X_{s2} = Q. \quad (8)$$

$$X_{p2} = Q. \quad (9)$$

2.3 Rede π

A rede π consiste em duas redes L configuradas como "back to back" [3] onde o casamento de impedâncias é realizado através de um resistor virtual R_v , como mostra a figura 4.

Figura 4: Parâmetros da rede π .



Fonte: Taufik Abrão, 2002.

O processo para projeto da rede é semelhante ao da rede L, contudo, o fator Q é determinado de acordo com a equação (10).

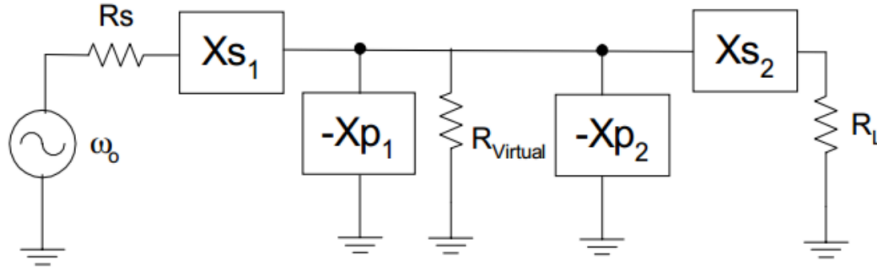
$$Q = \sqrt{\frac{R_{high}}{R_v} - 1}. \quad (10)$$

Onde $R_{high} = \max(R_S, R_L)$.

2.4 Rede T

O projeto da rede T segue as mesmas etapas do projeto de uma rede π . Neste tipo de rede, também deve-se adaptar a impedância da fonte à da carga via R_v . A resistência virtual na rede T é [3, 4]: $R_v \geq \max(R_S, R_L)$.

Figura 5: Parâmetros da rede T.



Fonte: Taufik Abrão, 2002.

Este tipo de rede é utilizada para adaptar duas impedâncias de baixo valor associado à necessidade de acoplamento em banda estreita (alto Q). Q carregado da rede T é determinado pela seção L de maior Q (isto ocorre na terminação da seção L que tiver o menor resistor série de terminação), isto é $R_{Small} = \min(R_S, R_L)$, conforme a equação (11).

$$Q = \sqrt{\frac{R_v}{R_{small}}} - 1. \quad (11)$$

3 Metodologia Experimental

3.1 Materiais

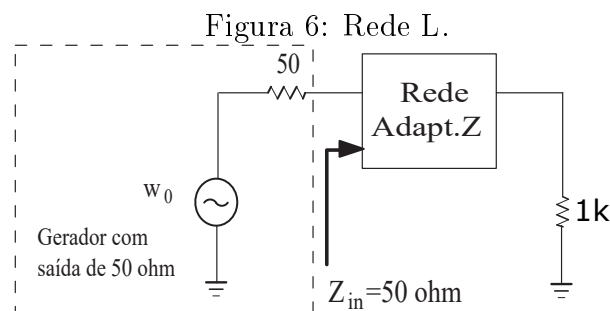
O material utilizado foi:

- Computador.
- Software Orcad.

3.2 Métodos

3.2.1 Redes Adaptadoras de Banda Estreita: 2 e 3 elementos (L, T e π)

1- A partir do circuito da figura 6, projetar uma rede adaptadora de impedância com 2 elementos (rede L) tal que $Z_{in} = 50 \Omega$ em $\omega_0 = 4300 \text{krad/s}$; com impedância de saída $Z_{out} = 1 \text{k}\Omega$. Admita que a rede tenha também a função de bloquear a eventual componente DC a fonte.



Fonte: Me. Jaime Laelson Jacob, 2016.

- Montar o circuito com a rede adaptadora projetada;
 - Injetar um sinal senoidal de frequência ω_0 e amplitude da ordem de centenas de milivolts de pico na entrada do circuito montado.
 - Observar a forma de onda da entrada, sobre a carga à saída e sobre a carga resistiva à saída. Anotar as formas de onda.
 - Variar a frequência do sinal senoidal até obter o perfeito casamento de impedância entre fonte e carga. Anotar esta frequência.
 - Obter o índice de mérito do circuito completo (Q_{Load}). Calcular este parâmetro e comparar com o medido. Obter a banda de passagem da rede adotando um dos critérios para adaptação de impedância, sintetizados nas equações (6) e (7).
- 2- Reprojetar a rede adaptadora utilizando 3 elementos (rede T ou π). Admita agora que não há restrição para o bloqueio de eventuais componentes DC entre fonte e carga.
- Variar a frequência do sinal senoidal até obter o perfeito casamento de impedância entre fonte e carga. Anotar esta frequência.
 - Obter, através de um procedimento experimental, o novo índice de mérito carregado para a rede de 3 elementos. Comparar com o valor teórico do projeto.

- c Qual a banda de passagem para esta topologia. Adote o mesmo critério utilizado anteriormente.

3.2.2 Rede Adaptadora de Banda Larga (WBand)

A partir do problema de adaptação de impedância mostrado na figura 2, calcular e implementar uma rede de banda larga de 2 seções L de tal forma a maximizar a banda de passagem. Nesta condição, calcular o índice de qualidade carregado do circuito. Como frequência central de projeto, adote a mesma do item anterior.

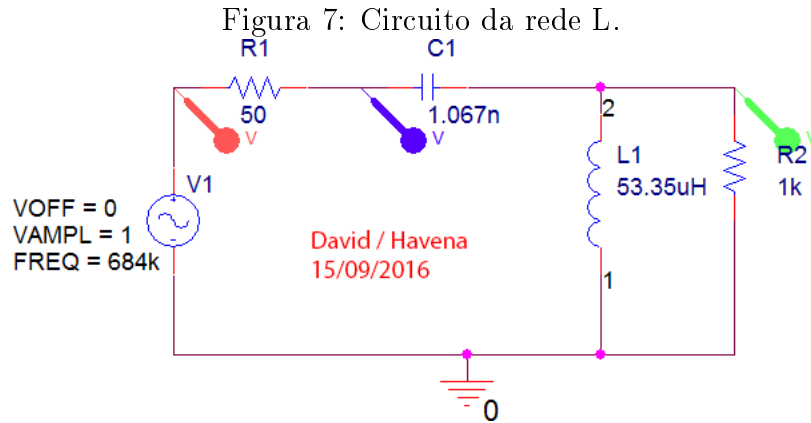
Passos experimentais:

- a Montar o circuito com a rede adaptadora WBand projetada.
- b Obter a BW da rede adotando o mesmo critério utilizado anteriormente na obtenção da BW da rede de banda estreita. Comparar o incremento na BW com relação ao caso anterior.
- c Medir o Q_{rede} WBand e comparar com o valor teórico.

4 Resultados

4.1 Rede L

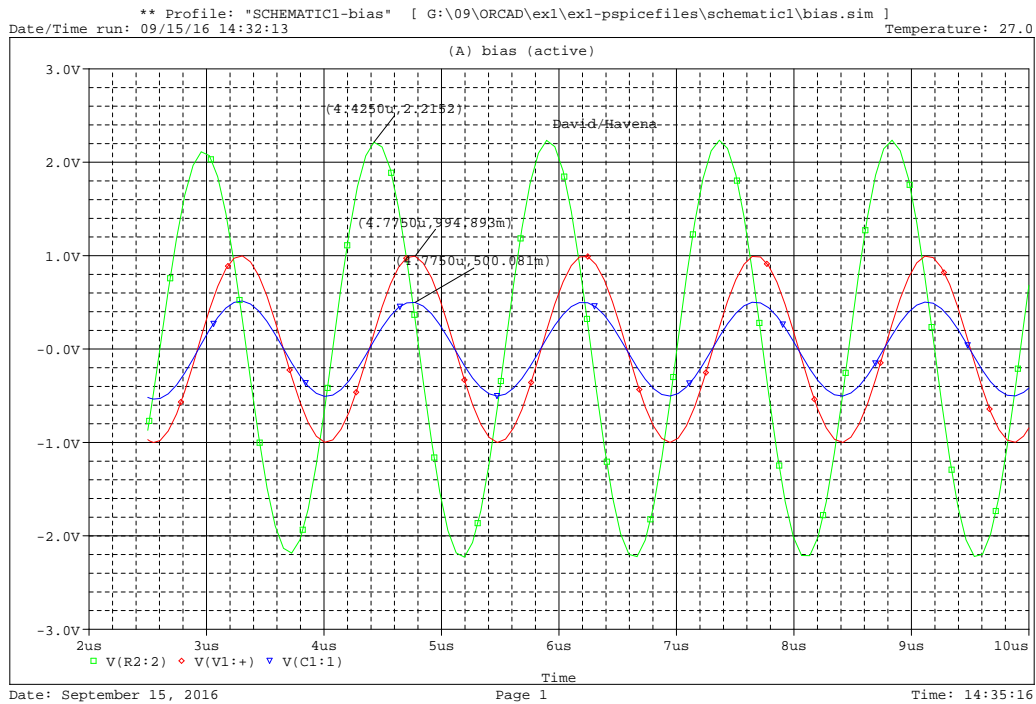
Foram calculados os parâmetros dos componentes da rede L conforme o procedimento descrito na seção 2.1, chegando-se no circuito mostrado na figura 7.



Fonte: Autoria própria.

As formas de onda no domínio do tempo obtidas para o circuito são mostradas na figura 8.

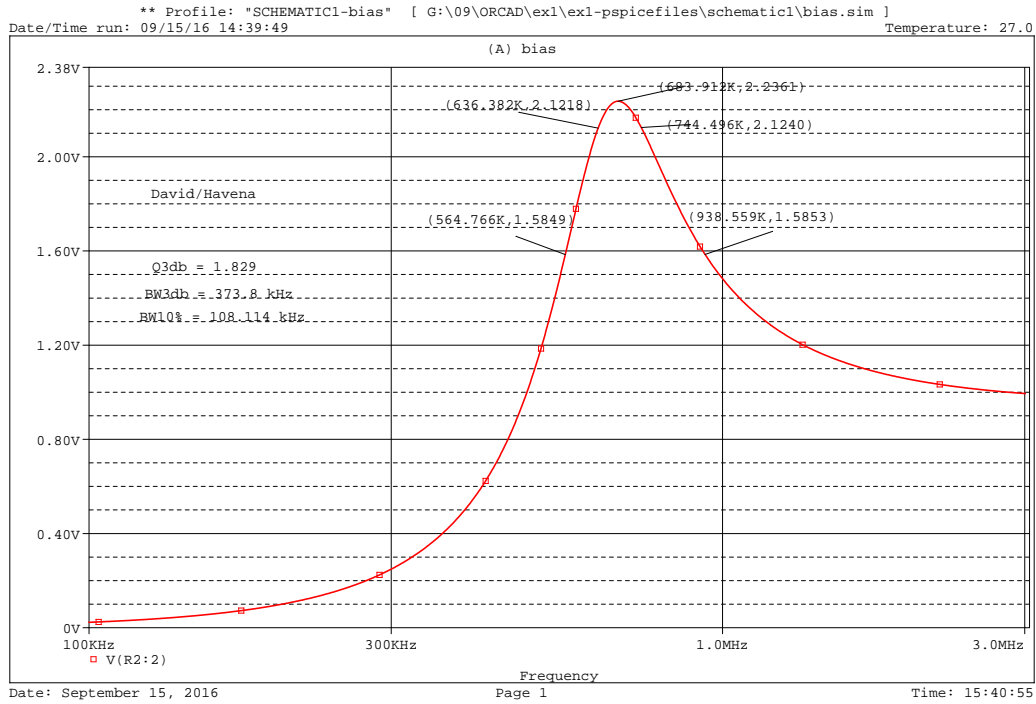
Figura 8: Formas de onda na fonte, entrada da rede L e sobre a carga.



Fonte: Autoria própria.

O circuito foi então simulado no modo AC-Sweep, onde foi obtido o gráfico da magnitude da resposta em frequência, mostrado na figura 9.

Figura 9: Resposta em frequência da rede L.



Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos com o experimento estão descriminados na tabela 1.

Tabela 1: Resultados para rede L.

f_c	BW_{3dB}	BW_{pot}	Q
683,912 kHz	373,8kHz	108,114 kHz	1,829

Fonte: Autoria própria.

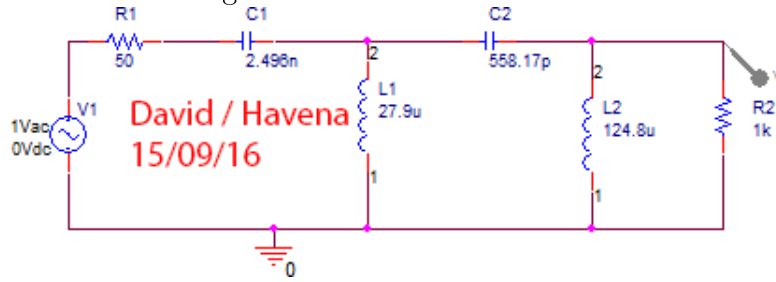
Sendo f_c a frequência central, BW_{3dB} a banda de 3dB, BW_{pot} a banda pelo critério da potência e Q o fator de mérito.

Observa-se que pelo critério da potência, a largura de banda é mais estreita do que pelo critério de 3dB.

4.2 Rede T

Para o segundo experimento a rede T foi escolhida, sendo calculados os parâmetros dos componentes da rede, mostrado na figura 10.

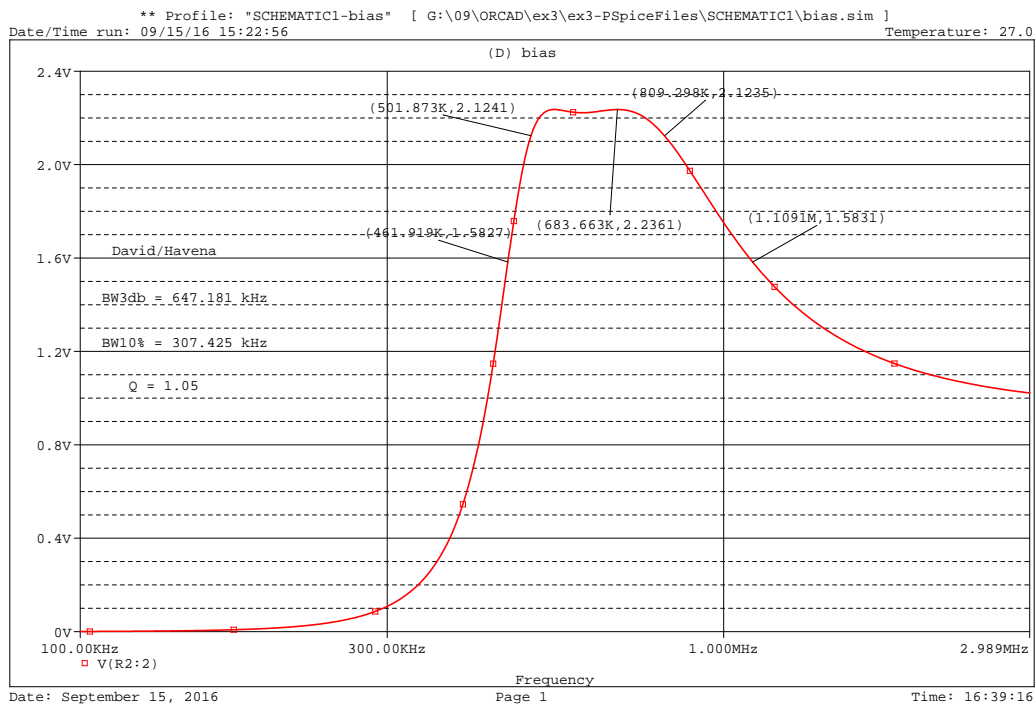
Figura 10: Circuito da rede T.



Fonte: Autoria própria.

O circuito foi então simulado no modo AC-Sweep, onde foi obtido o gráfico da figura 11.

Figura 11: Módulo da resposta em frequência para rede T.



Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos com o experimento estão descriminados na tabela 2.

Tabela 2: Resultados para rede T.

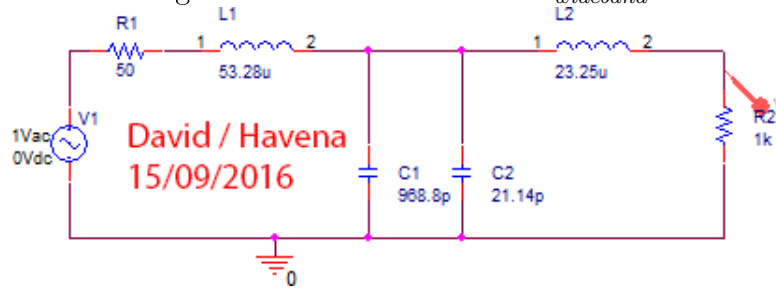
f_c	BW_{3dB}	BW_{pot}	Q
683,912 kHz	330,8kHz	109,84 kHz	2,067

Fonte: Autoria própria.

4.3 Rede $L_{wideband}$

Foram calculados os parâmetros dos componentes da rede $L_{wideband}$, chegando-se no circuito mostrado na figura 12.

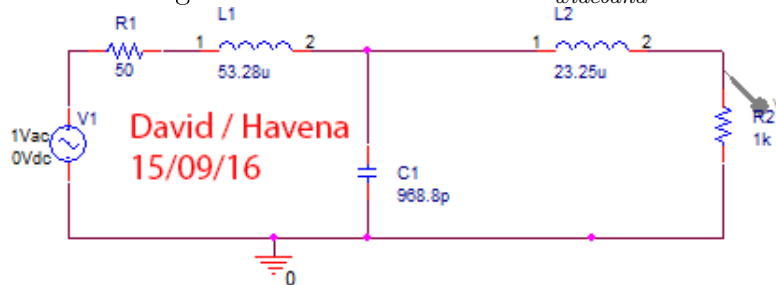
Figura 12: Circuito da rede $L_{wideband}$.



Fonte: Autoria própria.

De modo a reduzir o número de componentes no circuito, os dois capacitores em paralelo foram substituídos por um único capacitor equivalente, como mostra a figura 13.

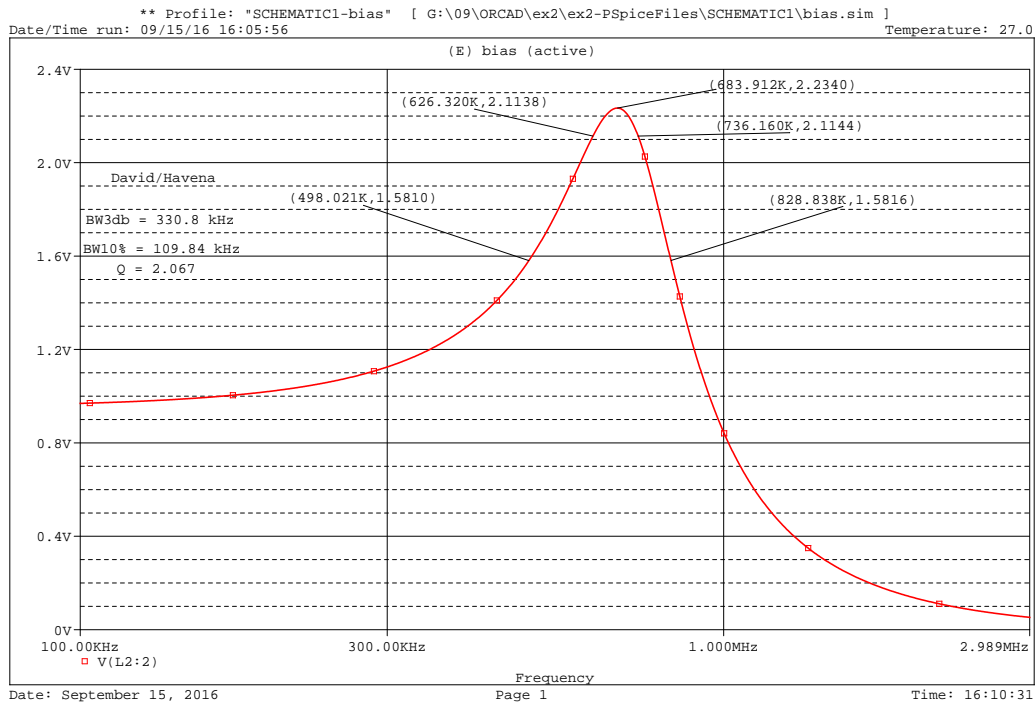
Figura 13: Circuito da rede $L_{wideband}$.



Fonte: Autoria própria.

O circuito foi então simulado no modo AC-Sweep, onde foi obtido o gráfico da figura 14.

Figura 14: Módulo da resposta em frequência da rede $L_{wideband}L$.



Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos com o experimento estão descriminados na tabela 3.

Tabela 3: Resultados para rede $L_{wideband}$.

f_c	BW_{3dB}	BW_{pot}	Q
683,663 kHz	647,181kHz	307,425 kHz	1,05

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a adição de uma segunda camada a rede L aumentou consideravelmente a largura de banda.

5 Discussão e Conclusão

Neste experimento foi possível analisar o projeto de três topologias de circuitos adaptadores de impedância, onde foi possível constatar que, de fato, a potência transferida da fonte para a carga é maior com os mesmos. Um dos fatores importantes observado foi que a largura de banda diminui conforme o fator Q , porém, isso pode ser contornado com a utilização de redes do tipo L em cascata ($L_{wideband}$). Notória também é a diferença de qualidade entre a rede L simples e a rede T , onde a rede T apresenta melhores resultados, porém, a custo de uma maior complexidade no circuito.

Referências

- [1] R. W. Rhea, *Oscillator Design and Computer Simulation*. Noble Publishing, 1995.
- [2] L. W. Couch, *Digital and Analog Communication Systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc, 2001.
- [3] T. Abrão, *Osciladores de RF*. Londrina - Paraná: Dep. de Engenharia Elétrica, UEL, 2002.
- [4] T. Abrao, *Circuitos de Comunicação*. Londrina - Paraná: Dep. de Engenharia Elétrica, UEL, 2002.