



UNICAMP

Circuitos de Corrente Alternada

Hugo L. Fragnito
Gustavo S. Wiederhecker

Campinas, SP
2011

Sumário

1	Experimento I - Filtros	3
1.1	Objetivos	3
1.2	Introdução	3
1.2.1	Diodo demodulador ou detector	3
1.3	Preparação	3
1.4	Roteiro A - Circuito RC	3
1.5	Roteiro B - Circuito RLC	4
1.6	Relatório	4
2	Experimento II - Transientes	5
2.1	Objetivos	5
2.2	Introdução	5
2.2.1	Diodo demodulador ou detector	5
2.3	Preparação	5
2.4	Roteiro A - Circuito RC	5
2.5	Roteiro B - Circuito RLC	5
2.6	Relatório	5
3	Diodo semiconductor e receptor AM	6
4	Linhas de transmissão	11
5	Interferômetros	14

1 Experimento I - Filtros

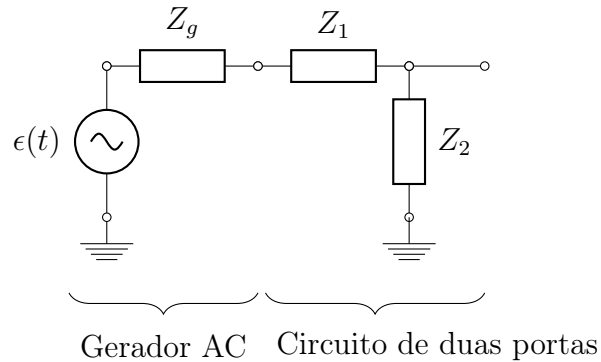


Fig. 1: Generic two-port circuit setup. Z_g represents the internal impedance of the AC generators, Z_1, Z_2 are any generic linear circuit components. The arrows V_1 and V_2 indicate where we connect oscilloscope channels to the circuit.

1.1 Objetivos

Entender o papel ...

1.2 Introdução

Introduction goes here...

1.2.1 Diodo demodulador ou detector

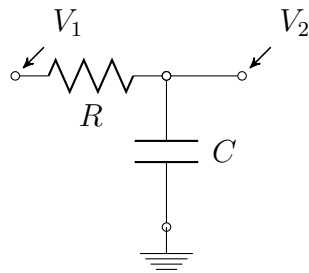
1.3 Preparação

1. Calcule a função...

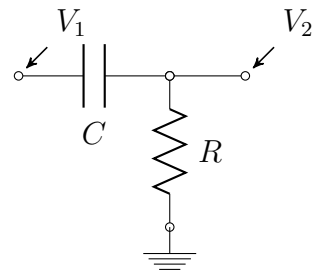
1.4 Roteiro A - Circuito RC

Material

- Diodo de silício.



(a) Circuito RC com tensão de saída medida no capacitor, $V_2 = \frac{1}{j\omega C}i$



(b) Circuito RC com tensão de saída medida no resistor, $V_2 = Ri$

Caracterização do circuito LC

1.5 Roteiro B - Circuito RLC

Caracterização da curva IV do diodo

1.6 Relatório

2 Experimento II - Transientes

2.1 Objetivos

Entender o papel ...

2.2 Introdução

Introduction goes here...

2.2.1 Diodo demodulador ou detector

2.3 Preparação

1. Calcule a função...

2.4 Roteiro A - Circuito RC

Material

- Diodo de silício.

Caracterização do circuito LC

2.5 Roteiro B - Circuito RLC

Caracterização da curva IV do diodo

2.6 Relatório

3 Diodo semicondutor e receptor AM

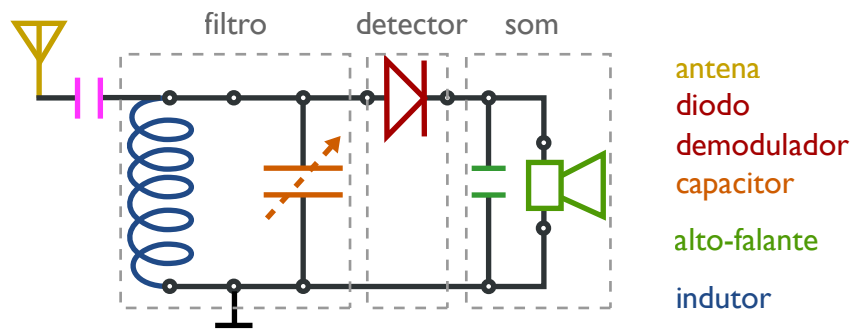


Fig. 2: Diagrama de um receptor de rádio AM.

Objetivos

Entender o papel dos componentes de um receptor AM (*amplitude modulation*) e montar um receptor de ondas AM. Para tanto iremos estudar experimentalmente a curva IV (corrente-tensão) de um diodo e também a resposta do filtro de sintonia.

Introdução

Diodo demodulador ou detector

A transmissão de informação por ondas de rádio é feita através da modulação de uma onda portadora (*carrier*) de alta frequência, $0.8 < f_c < 1.1$ MHz para AM (*amplitude modulation*) ou $88 < f_c < 105$ MHz para FM (*frequency modulation*), com o sinal de áudio que deseja ser transmitido, tipicamente com frequência entre 20 Hz e 10 KHz. Na figura 12 ilustramos estes dois tipos de modulação.

A modulação permite que a informação seja transmitida através de uma portadora em uma frequência mais alta que a frequência do sinal; na frequência da portadora espera-se melhores características de propagação, i.e., menor atenuação, dispersão. Também é possível utilizar outro tipo de onda, por exemplo, ondas eletromagnéticas para transmitir a informação, por

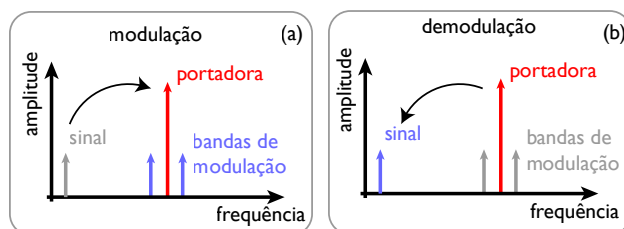


Fig. 3: Princípio de modulação e demodulação de um sinal.

exemplo, rádios AM exploram a alta refletividade da ionosfera para para transmitir ondas eletromagnéticas por longas distâncias.

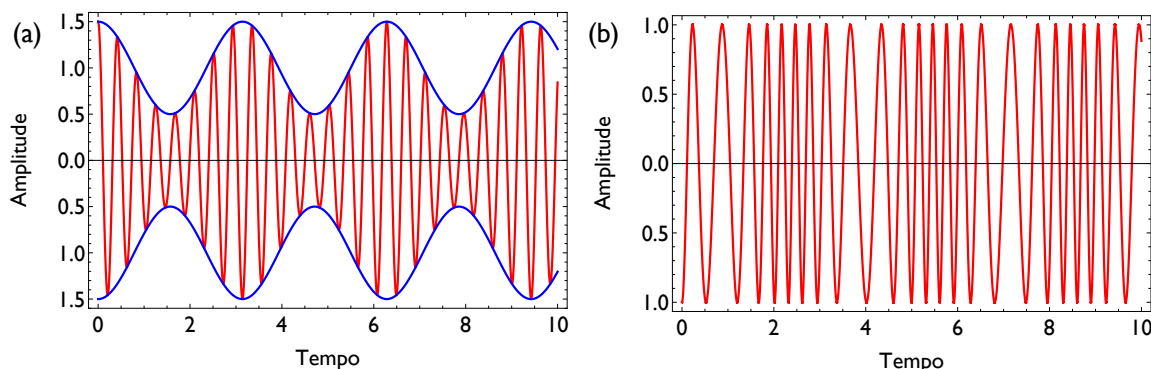


Fig. 4: **Modulação de ondas.** (a) Modulação de amplitude (AM), $A(t) = (1 + \delta \cos[\Omega t]) \cos[\omega_c t]$. (b) Modulação de frequência (FM), $A(t) = \cos[\omega_c t + \delta \cos[\Omega t]]$

Antena

Quando uma onda eletromagnética com frequência f_c e comprimento de onda $\lambda = c/f_c$ incide sobre uma antena, um dipolo oscilante é induzido na antena. O dipolo induzido gera uma corrente no circuito no qual a antena está conectada. Para que a excitação do dipolo seja eficiente na mesma, é importante que o comprimento da antena L seja, aproximadamente, uma fração inteira do comprimento de onda. No nosso laboratório $L \approx 17$ m, aproximadamente, $\lambda/10$ para as frequências de rádio AM.

Filtro ressonante

Como existem diversas estações de rádio AM, é necessário também filtrar o sinal recebido pela antena. Para tanto utilizaremos um circuito LC em paralelo, como mostra a Fig. 2, este filtro funciona como um passa-banda, selecione a estação de rádio que desejamos ouvir.

Diodo demodulador ou detector

Da mesma forma que modulamos a portadora para transmitir o sinal é necessário demodular a onda recebida para podermos escutá-la no alto-falante. Este é o papel do diodo neste circuito, devido a sua curva IV não-linear este componente recupera o sinal de audio que foi modulado na onda portadora.

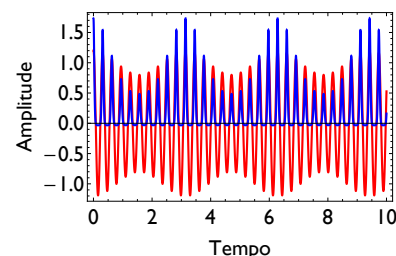


Fig. 5: **Demodulação por um diodo**

Preparação

1. Calcule a função de transferência $H(\omega)$ do filtro LC mostrado na figura 2. Mostre que a transmitância ($|H|^2$) é dada por $T(\omega) = \frac{L^2\omega^4 C_{in}^2}{(L\omega^2(C_{in}+C_v)-1)^2}$.
2. Qual é a frequência de ressonância deste filtro?
3. Assumindo que o indutor possui $L = 62\mu\text{H}$ e o capacitor variável pode variar entre $30\text{ pf} < C_v < 350\text{ pf}$, calcule a faixa de frequências que este filtro poderá sintonizar. Descubra na internet quais rádios de Campinas estão nesta faixa.
4. Assuma que a curva IV de um diodo pode ser aproximada pela expressão $i(t) = a_1 v(t) + a_2 v^2(t)$, onde a_1 e a_2 são constantes. Calcule a corrente quando a tensão for na forma $v(t) = v_0(1 + m(t)) \cos[\omega_c t]$. Mostre que existe um termo proporcional à $m(t)$. Pense no que acontece com os demais termos ao passar pelo capacitor do alto-falante?

Material

- Diodo de silício.
- Diodo de germânio tipo Schotky (Nunca aplicar um sinal do gerador neste diodo, ele é sensível e pode queimar!).
- Indutor e capacitor sintonizável ($30\text{ pf} < C_v < 350\text{ pf}$) (Estes componentes já estão montados!).
- Resistores: $1\text{ k}\Omega$.

Roteiro

Caracterização do circuito LC

Para caracterizar o filtro iremos utilizar a montagem da Fig. 14. Acople o sinal do gerador no terminal **verde** do filtro, meça o sinal de saída no terminal **vermelho**. Estime a frequência de ressonância esperada e depois encontre-a experimentalmente para 4 diferentes posições das placas do capacitor sintonizável. Com a maior capacitância possível, meça 10 pontos das amplitudes V_{pp1}/V_{pp2} na faixa de 50 KHz em torno da ressonância. No relatório estime a largura de banda do filtro.

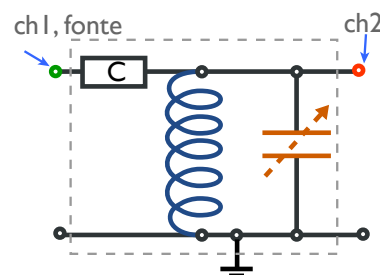


Fig. 6: **Esquema do circuito para caracterizar o filtro LC.** Utilize o gerador de funções no canal 1.

Caracterização da curva IV do diodo

Em teoria poderíamos medir a curva IV de um diodo simplesmente introduzindo um resistor R em série com o diodo. A queda de tensão no resistor seria proporcional à corrente, portanto $I = V_R/R$. Para obter V_D basta medirmos a queda de tensão no diodo. Contudo, no laboratório precisamos conectar o canal 1 do osciloscópio entre os terminais do diodo e o canal 2 entre os terminais de resistor. Como o terra de ambos canais é o mesmo, tal conexão implicaria no resistor (ou o diodo) em curto-circuito, portanto a queda de tensão medida seria nula. Para resolver este problema de aterramento iremos explorar o transformador de tensão pois neste o enrolamento primário (conectado à rede elétrica) está isolado do secundário (conectado ao circuito), consequentemente podemos impor um ponto de terra entre o resistor e o diodo, como ilustra a Fig. 15¹. Como invertemos o sentido que estamos medindo a tensão no resistor, é também necessário **inverter** o sinal do canal 2 do osciloscópio.

1. Monte o circuito da Fig. 15.
2. No modo *YT* do osciloscópio centralize ambas (canais 1 e 2) ondas em $Y = 0$ e grave no seu cartão de memória.
3. No modo *XY* salve 2 versões da curva IV, uma em que a curva toda possa ser visualizada (ajuste as escalas horizontais e vertical) e outra em que a origem (próximo de $V_R = 0, V_D = 0$) esteja ampliada.

No seu relatório inclua as três curvas. Para as curvas IV indique a escala vertical como corrente em mA e o eixo horizontal em V. Extraia destas curvas a corrente de saturação e também a inclinação da curva dI/dV , para polarização reversa ($V < 0$) e três pontos distintos para polarização direta ($V > 0$). Calcule a resistência diferencial nestes pontos $R = (dI/dV)^{-1}$

¹Note que se fizéssemos esta conexão utilizando o gerador sem o transformador, o resistor conectado ao terminal central do indutor estaria em curto-circuito.

Ouvindo o rádio

Chegou finalmente o momento de ouvirmos alguma música (ou notícias). Monte o circuito da Fig. 2 utilizando como detetor o diodo schotky. A motivo de usarmos este diodo, ao invés do diodo de silício, é que a tensão crítica na qual este diodo deixa passar corrente ($V_0 \approx 30 \text{ mV}$) é muito menor que o diodo de silício ($V_0 \approx 700 \text{ mV}$). Isto o torna ideal para demodular sinais de pequena amplitude, como o que recebemos da antena. Muito cuidado com este diodo pois ele é sensível e não temos muitos sobrando. Descreva no relatório quais rádios você conseguiu sintonizar. Em Campinas existem duas rádios nesta faixa de frequências, a rádio Central e a rádio Bandeirantes

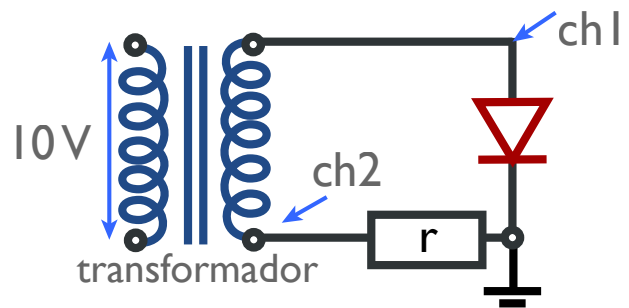


Fig. 7: **Esquema do circuito para caracterizar a curva IV.** Utilize o transformador de 9 V de saída e $R = 1K\Omega$ e um diodo de silício (**encapsulamento preto!**).

4 Linhas de transmissão

Objetivos

Estudar experimentalmente o funcionamento de uma linha de transmissão e determinar a impedância característica, o coeficiente de reflexão e a velocidade de propagação de pulsos.

Material

- Cabo coaxial RG-58U (ou cabo de par trançado ou cabo de antena de TV) de comprimento (conhecido) $\times \approx 100$ m.
- Acoplador BNC "T"
- Gerador de pulsos de duração menor que $1 \mu\text{s}$. No lugar de um gerador de pulsos pode ser utilizado um gerador de funções de pelo menos 2 MHz com duty-cycle variável (por exemplo, o Tektronix CFG 250): Selecione o modo de onda quadrada e ajuste o duty-cycle ao mínimo.
- Osciloscópio de pelo menos 50 MHz
- Resistores: 10, 22, 33, 47, 56, 75, 100, 220, 330 e 470 Ω .

Roteiro

1. Monte o circuito da figura 8a). Ajuste a taxa de repetição de pulsos em 500 kHz ou menos e a duração do pulso entre 100 e 200 ns. Se não tiver um gerador de pulsos, pode utilizar um gerador de funções de 2 MHz com duty-cycle variável (por exemplo, o Tektronix CFG 250): ajuste a frequência em 1 MHz ou menos; selecione o modo de onda quadrada e ajuste o duty-cycle ao mínimo. No canal 1 do osciloscópio verá o pulso de entrada e o refletido. No canal 2 verá o pulso no fim da linha (utilize um cabo curto para ligar Z_T ao canal 2). Para uma melhor estabilidade, utilize o sinal de sincronismo do gerador para disparar o osciloscópio pelo canal 3 (o sincronismo com o canal 1 também funciona bem).
2. Meça o atraso temporal entre o pulso lançado e o refletido e determine a velocidade de propagação do pulso. (Utilize o comprimento medido, L , escrito na etiqueta do cabo). Compare este resultado com a velocidade da luz! Quanto é o índice de refração, n , do

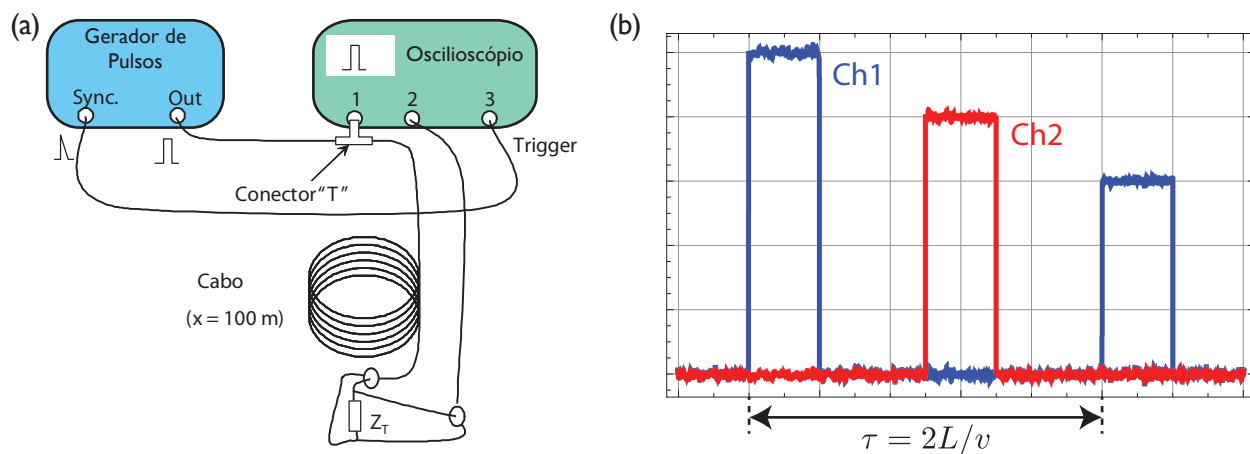


Fig. 8: a) Esquema de montagem. b) Pulsos observados no osciloscópio quando a linha não é terminada ($Z_T = \infty$).

- dielétrico do cabo? Quanto é a constante dielétrica relativa ($\epsilon_r \equiv \epsilon/\epsilon_0 = n^2$). Com este valor de n você poderia medir o comprimento de um cabo idêntico com L desconhecido.
- Para valores fixos de amplitude ($V_0 = V^+(0)$), duração e periodicidade do pulso, meça a amplitude do pulso de retorno $V_r = V^-(2L)$ para vários valores de Z_T (utilize resistores fixos, não a resistência de décadas) entre 10 e 330 Ω , inclusive para o caso $Z_T = 0$ (curto circuito) e $Z_T = \infty$ (circuito aberto). Construa uma tabela com os valores de Z_T e do coeficiente de reflexão normalizado $\rho_n = V_r/V_0$. O pulso refletido se deve anular quando $Z_T = Z_0$. Determine, assim, Z_0 experimentalmente. Utilize resistores em série e/ou em paralelo para obter mais valores de Z_T . Por exemplo, para obter 75 Ω (o valor nominal de Z_0 do cabo coaxial de TV a cabo) utilize dois de 150 Ω em paralelo.
 - Aumente a duração do pulso gradualmente até alguns microssegundos e veja se entende o que acontece no osciloscópio.
 - Se $Z_T = \infty$ o pulso refletido tem amplitude $V_0 \exp(-\alpha L)$. Utilizando este fato, determine o coeficiente de atenuação? (expresse o resultado em dB/100m: $\alpha[\text{dB}/100\text{m}] = 10^3 \alpha[\text{m}^{-1}] / \log(10) \approx 434 \alpha[\text{m}^{-1}]$).
 - Meça o atraso e a amplitude entre o pulso lançado e o pulso refletido (com $Z_T = 0$) para um cabo diferente do utilizado nos itens anteriores. Dispomos de cabos de rede de par trançado, ou UTP, cabo coaxial para TV a cabo e cabo coaxial de instrumentação RG-58

— veja a Fig. 9. Calcule o valor do índice de refração n e α) Compare os coeficientes de atenuação obtidos para os diferentes cabos (quanto menor é α , melhor sua qualidade).

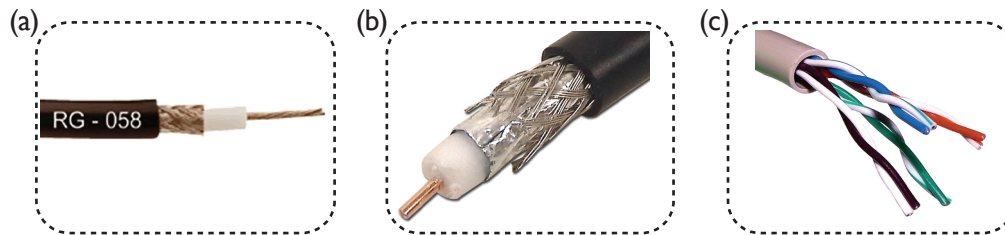


Fig. 9: (a) Cabo de instrumentação (RG-58). (b) Cabo de TV a cabo (CATV: Cable TV). (c) Cabo de par trançado para redes de informática (UTP - Unshielded Twisted Pair).

5 Interferômetros

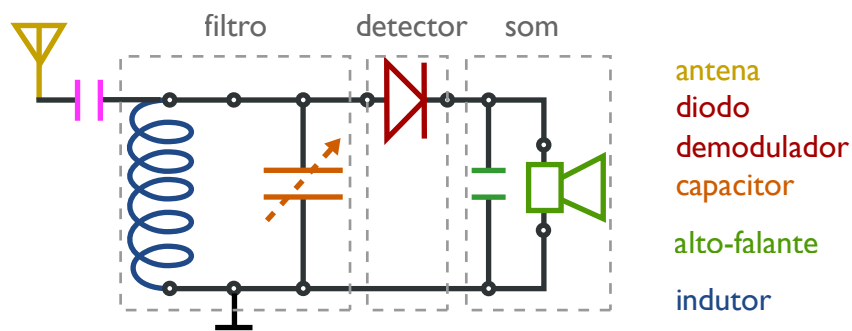


Fig. 10: Diagrama e exemplos de dois dos principais tipos de interferômetros ópticos, o interferômetro de Michelson e o de Fabry-Perot.

Objetivos

Entender os princípios e aplicações de interferômetros ópticos e utilizá-los para medir deslocamentos nanométricos e para desvendar o conteúdo espectral de fontes luminosas. Este roteiro explora os dois tipos de interferômetro mostrados na Fig. 10.

Introdução

Interferência entre ondas

A interferência é um fenômeno comumente observado quando trata-se de ondas, o caso eletromagnético (ou óptico) é apenas um exemplo. O fenômeno de interferência tem como base o princípio da superposição, segundo o qual o campo elétrico (ou magnético) resultante em um dado ponto do espaço é a soma linear entre o campo gerado por todas as fontes existentes no universo². Em favor

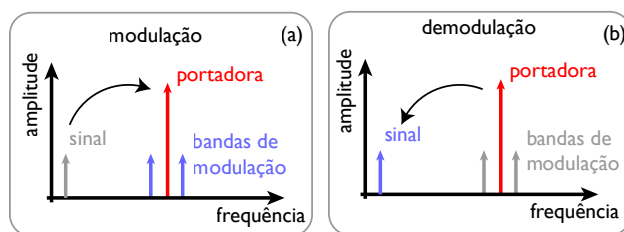


Fig. 11: Princípio de modulação e demodulação de um sinal.

²É bastante intrigante pensar nisto. Imagine a sua posição espacial neste momento, existem fontes de campos eletromagnéticos distribuídos por todo o universo, algumas a bilhões de anos luz de distancia, outras tão próximas quanto seu telefone celular, que estão contribuindo para o campo elétrico total na sua posição atual.

da simplicidade, consideremos o campo total gerado por duas fontes,

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}, t) + \mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) \quad (1)$$

Para simplificar ainda mais o problema, vamos assumir a os campos $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2$ são ondas planas propagando-se na direção \hat{z} (veja Figura), neste caso podemos escrever,

$$\mathbf{E}_1(\mathbf{r}, t) = \mathbf{e}_1 \cos(k_1 z - \omega_1 t + \theta_1) \quad (2)$$

$$\mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) = \mathbf{e}_2 \cos(k_2 z - \omega_2 t + \theta_2) \quad (3)$$

nas quais $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$ são vetores constantes transversais à direção de propagação. As principais consequências da interferência são notadas quando detectamos o campo eletromagnético. A frequência óptica é tão alta, $\omega/2\pi \approx 300 \times 10^{12}$ Hz que não conseguimos detectar a variação do campo elétrico diretamente, como acontece em frequências baixas na qual pode-se usar um osciloscópio. Nestas frequências, entretanto, a energia dos fótons é tão grande (> 1 eV) que eles podem ser absorvidos por transições entre níveis de energia de um átomo, molécula ou material semiconductor. No olho humano, eles são absorvido por moléculas, já nos dispositivos fotodetectores eles são absorvidos por materiais semicondutores. Portanto o que observamos a olho nu é a intensidade do campo eletromagnético, que a menos de uma constante é dada por,

$$I(t) \propto |\mathbf{E}|^2 = \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} = |\mathbf{e}_1|^2 \cos^2(\phi_1) + |\mathbf{e}_2|^2 \cos^2(\phi_2) + \mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_2 \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \quad (4)$$

na qual definimos as fases $\phi_{1,2} = k_{1,2}z - \omega_{1,2}t$. Obviamente a intensidade oscila no tempo e no espaço e dão origem às franjas de interferência que observamos e uma pergunta válida é: Por que o padrão de interferência aparenta ser estático? A resposta está novamente na escala de tempo que nossos detetores respondem à estas variações ultra-rápidas³. O que percebemos a olho nu é média temporal da intensidade,

$$\langle I(t) \rangle \equiv \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt \quad (5)$$

Na Eq. 5, queremos dizer que com limite $T \rightarrow \infty$ que a escala de tempo de resposta do detector (olho ou fotodiodo) é muito maior que o período de todas as funções que aparecem na Eq. 4. Como demonstramos no apêndice, os períodos que surgem na Eq. 4 são $\tau_1 = 2\pi/\omega_1$,

³Lembre-se do ventilador, quando olhamos para o mesmo não conseguimos perceber que este está girando, visualizamos apenas a regiões das hélices como se fossem translúcidas, ou seja, observamos uma média temporal; mesmo na ordinária frequência de 60 Hz

$\tau_2 = 2\pi/\omega_2$ e os períodos de batimento $\tau^{(-)} = 2\pi/(\omega_1 - \omega_2)$ e $\tau^{(+)} = 2\pi/(\omega_1 + \omega_2)$. Como ω_1 e ω_2 são frequência ópticas, estes períodos são da ordem de 10^{-15} s! Portanto temos certeza que $T \gg \tau_1, \tau_2, \tau^{(+)}$

Contudo, as ondas eletromagnéticas possuem a interessante propriedade de propagarem-se no vácuo e, em diversas faixas de frequência, com baixíssima atenuação. Estas propriedades lhes confere a sua vasta aplicação em transmissão de informação, seja em baixas frequências, i.e., rádio, ou em altas frequências, i.e. luz. Outra aplicação fundamental da luz está na metrologia, campo de estudo focado em medidas de precisão. No regime óptico, ou seja, quando as ondas eletromagnéticas possuem comprimento de onda na faixa ($400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$),

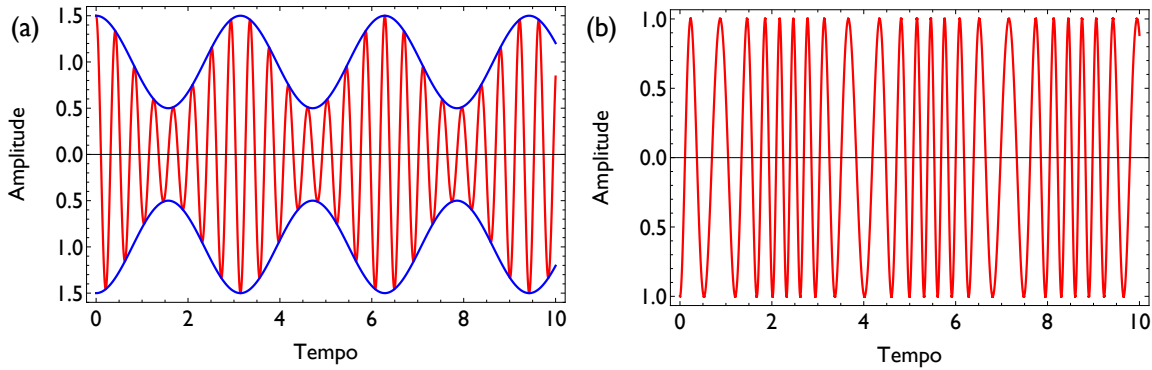


Fig. 12: **Modulação de ondas.** (a) Modulação de amplitude (AM), $A(t) = (1 + \delta \cos[\Omega t]) \cos[\omega_c t]$. (b) Modulação de frequência (FM), $A(t) = \cos[\omega_c t + \delta \cos[\Omega t]]$

Antena

Quando uma onda eletromagnética com frequência f_c e comprimento de onda $\lambda = c/f_c$ incide sobre uma antena, um dipolo oscilante é induzido na antena. O dipolo induzido gera uma corrente no circuito no qual a antena está conectada. Para que a excitação do dipolo seja eficiente na mesma, é importante que o comprimento da antena L seja, aproximadamente, uma fração inteira do comprimento de onda. No nosso laboratório $L \approx 17 \text{ m}$, aproximadamente, $\lambda/10$ para as frequências de rádio AM.

Filtro ressonante

Como existem diversas estações de rádio AM, é necessário também filtrar o sinal recebido pela antena. Para tanto utilizaremos um circuito LC em paralelo, como mostra a Fig. 2, este filtro funciona como um passa-banda, selecione a estação de rádio que desejamos ouvir.

Diodo demodulador ou detector

Da mesma forma que modulamos a portadora para transmitir o sinal é necessário demodular a onda recebida para podermos escutá-la no alto-falante. Este é o papel do diodo neste circuito, devido a sua curva IV não-linear este componente recupera o sinal de audio que foi modulado na onda portadora.

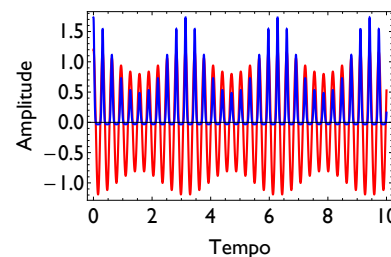


Fig. 13: Demodulação por um diodo

Preparação

1. Calcule a função de transferência $H(\omega)$ do filtro LC mostrado na figura 2. Mostre que a transmitância ($|H|^2$) é dada por $T(\omega) = \frac{L^2 \omega^4 C_{in}^2}{(L\omega^2(C_{in} + C_v) - 1)^2}$.
2. Qual é a frequência de ressonância deste filtro?
3. Assumindo que o indutor possui $L = 62\mu\text{H}$ e o capacitor variável pode variar entre $30\text{ pf} < C_v < 350\text{ pf}$, calcule a faixa de frequências que este filtro poderá sintonizar. Descubra na internet quais rádios de Campinas estão nesta faixa.
4. Assuma que a curva IV de um diodo pode ser aproximada pela expressão $i(t) = a_1 v(t) + a_2 v^2(t)$, onde a_1 e a_2 são constantes. Calcule a corrente quando a tensão for na forma $v(t) = v_0(1 + m(t))\cos[\omega_c t]$. Mostre que existe um termo proporcional à $m(t)$. Pense no que acontece com os demais termos ao passar pelo capacitor do alto-falante?

Material

- Diodo de silício.
- Diodo de germânio tipo Schotky (Nunca aplicar um sinal do gerador neste diodo, ele é sensível e pode queimar!).
- Indutor e capacitor sintonizável ($30\text{ pf} < C_v < 350\text{ pf}$) (Estes componentes já estão montados!).

- Resistores: $1k\ \Omega$.

Roteiro

Caracterização do circuito LC

Para caracterizar o filtro iremos utilizar a montagem da Fig. 14. Acople o sinal do gerador no terminal **verde** do filtro, meça o sinal de saída no terminal **vermelho**. Estime a frequência de ressonância esperada e depois encontre-a experimentalmente para 4 diferentes posições das placas do capacitor sintonizável. Com a maior capacitância possível, meça 10 pontos das amplitudes V_{pp1}/V_{pp2} na faixa de 50 KHz em torno da ressonância. No relatório estime a largura de banda do filtro.

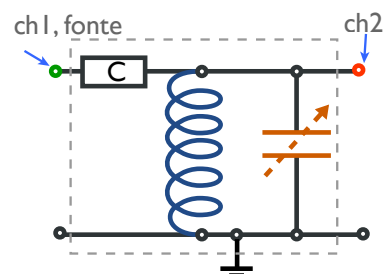


Fig. 14: **Esquema do circuito para caracterizar o filtro LC.** Utilize o gerador de funções no canal 1.

Caracterização da curva IV do diodo

Em teoria poderíamos medir a curva IV de um diodo simplesmente introduzindo um resistor R em série com o diodo. A queda de tensão no resistor seria proporcional à corrente, portanto $I = V_R/R$. Para obter V_D basta medirmos a queda de tensão no diodo. Contudo, no laboratório precisamos conectar o canal 1 do osciloscópio entre os terminais do diodo e o canal 2 entre os terminais de resistor. Como o terra de ambos canais é o mesmo, tal conexão implicaria no resistor (ou o diodo) em curto-circuito, portanto a queda de tensão medida seria nula. Para resolver este problema de aterramento iremos explorar o transformador de tensão pois neste o enrolamento primário (conectado à rede elétrica) está isolado do secundário (conectado ao circuito), consequentemente podemos impor um ponto de terra entre o resistor e o diodo, como ilustra a Fig. 15⁴. Como invertemos o sentido que estamos medindo a tensão no resistor, é também necessário **inverter** o sinal do canal 2 do osciloscópio.

1. Monte o circuito da Fig. 15.
2. No modo YT do osciloscópio centralize ambas (canais 1 e 2) ondas em $Y = 0$ e grave no seu cartão de memória.
3. No modo XY salve 2 versões da curva IV, uma em que a curva toda possa ser visualizada (ajuste as escalas horizontais e vertical) e outra em que a origem (próximo de $V_R =$

⁴Note que se fizéssemos esta conexão utilizando o gerador sem o transformador, o resistor conectado ao terminal central do indutor estaria em curto-circuito.

$0, V_D = 0$) esteja ampliada.

No seu relatório inclua as três curvas. Para as curvas IV indique a escala vertical como corrente em mA e o eixo horizontal em V. Extraia destas curvas a corrente de saturação e também a inclinação da curva dI/dV , para polarização reversa ($V < 0$) e três pontos distintos para polarização direta ($V > 0$). Calcule a resistência diferencial nestes pontos $R = (dI/dV)^{-1}$

Ouvindo o rádio

Chegou finalmente o momento de ouvirmos alguma música (ou notícias). Monte o circuito da Fig. 2 utilizando como detetor o diodo schotky. A motivo de usarmos este diodo, ao invés do diodo de silício, é que a tensão crítica na qual este diodo deixa passar corrente ($V_0 \approx 30 \text{ mV}$) é muito menor que o diodo de silício ($V_0 \approx 700 \text{ mV}$). Isto o torna ideal para demodular sinais de pequena amplitude, como o que recebemos da antena. Muito cuidado com este diodo pois ele é sensível e não temos muitos sobrando. Descreva no relatório quais rádios você conseguiu sintonizar. Em Campinas existem duas rádios nesta faixa de frequências, a rádio Central e a rádio Bandeirantes

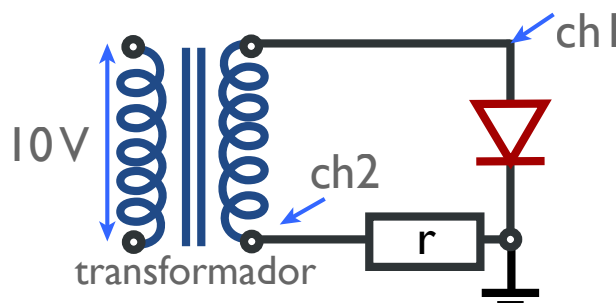


Fig. 15: **Esquema do circuito para caracterizar a curva IV.** Utilize o transformador de 9 V de saída e $R = 1K\Omega$ e um diodo de silício (**encapsulamento preto!**).