

Como traçar curvas características IV com um osciloscópio

O autor deste tutorial não assume qualquer responsabilidade pelos danos materiais ou pessoais causados por uso indevido do equipamento mencionado.

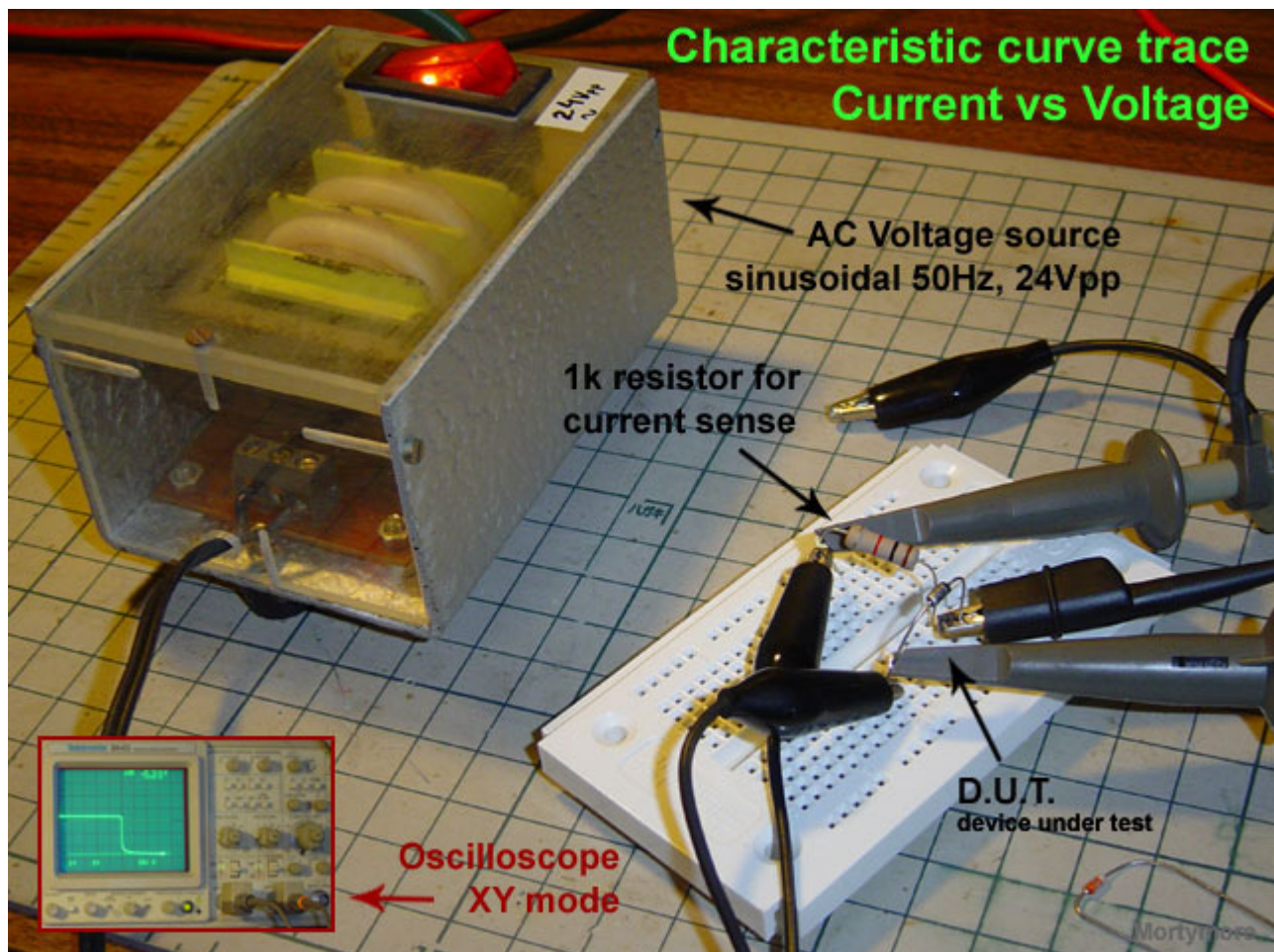
Este tutorial pode ser distribuído livremente, desde que não adulterado.

Introdução

A presente exposição destina-se a explicar de forma sumária, como se podem traçar curvas características corrente-tensão, de resistências, condensadores não polarizados, bobines e alguns díodos, nomeadamente do tipo: rectificadores, Schottky e Zener.

Seria possível traçar este tipo de curvas de forma discreta, recorrendo a uma fonte DC, a um voltímetro e a um amperímetro. Fazendo variar por exemplo a tensão a espaços, toma-se nota da tensão seleccionada, e do valor de corrente obtido e medido para essa mesma tensão. Naturalmente, poder-se-ia igualmente fazer variar a corrente em valores determinados, anotando-se as tensões obtidas para o valor de corrente seleccionada. Depois, traçando um gráfico XY em papel milimétrico (ou por exemplo numa folha de cálculo feita em computador), unem-se os pontos resultantes das medições discretas, e fica-se com uma ideia da curva característica do componente observado. Este processo é algo moroso, mas fica-se a conhecer a resposta em corrente contínua do componente.

Contudo o método para traçar curvas características que se pretende expor, recorre a uma fonte de sinal alterna e a um osciloscópio com 2 canais, capaz de funcionar no modo XY.



Fonte de sinal

Para determinadas montagens, será importante conhecer a curva de resposta de um componente em determinada(s) frequência(s). Claro que isso implica que se tenha à disposição um gerador de sinal capaz de providenciar um sinal em amplitude e frequência capaz de satisfazer os requisitos.

Contudo, as medições que vou apresentar foram realizadas tendo como gerador de sinal um comum transformador destinado a ser ligado à rede de distribuição de energia eléctrica (230v/50Hz) e com um secundário que apresenta uma “espécie” de senoide com 24Vpp. O importante é que a amplitude seja suficiente para poder testar os componentes que se pretendem, nomeadamente díodos Zener. Por outro lado, evidentemente que não deve ser demasiado elevada, para não danificar os componentes a testar.

Como vamos usar uma fonte de corrente alterna, há que não ser tentado a testar condensadores polarizados, como os electrolíticos ou de tântalo, pois podem rebentar.

O transformador que usei, permitiria então fazer um “varrimento” de -12v a +12v, aplicando ao componente em teste esta amplitude de tensão de 24Vpp, a uma frequência de 50Hz. Na verdade não estará disponível toda esta amplitude pois vamos ter que inserir uma resistência no circuito.

O medidor

Para realizar as medições, e observar de uma forma directa a curva característica, vamos recorrer a um osciloscópio. A ideia é manter as coisas tão simples quanto possível, mas aqui não há volta a dar, pois um osciloscópio é indispensável. Contudo, qualquer osciloscópio de duplo traço (2 canais), deverá ser capaz de funcionar no modo XY, requerido para se poderem visualizar as curvas características dos componentes a observar. O osciloscópio funciona tradicionalmente no modo YT, ou seja, no eixo dos YY's apresenta a tensão, e no eixo dos XX's é representado o tempo decorrido. No modo XY será apresentada intercessão de 2 sinais fornecidos aos canais 1 e 2 do osciloscópio.

O osciloscópio usado foi um TEK2445.

Sensor de corrente

Um osciloscópio mede de forma directa a diferença de potencial entre dois pontos (para os osciloscópios destinados a ser ligados à rede eléctrica, as medições são tipicamente feitas tendo como referencial a terra, pois o chassis do osciloscópio a ela estará ligado). Para que um osciloscópio consiga medir correntes, recorre-se a pinças amperimétricas, ou usa-se uma resistência shunt, inserida em série no circuito, e aos terminais da qual se medirá a tensão que será apresentada no osciloscópio. A lei de Ohm ($I=V/R$) nos dirá a que corrente corresponde a tensão observada aos terminais da resistência, sendo que o valor da resistência shunt terá naturalmente que ser conhecida.

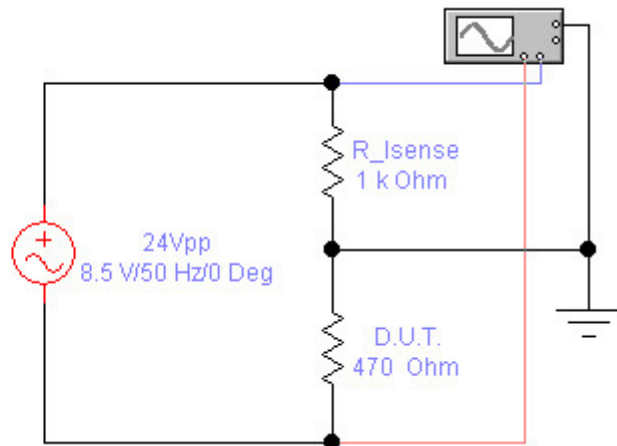
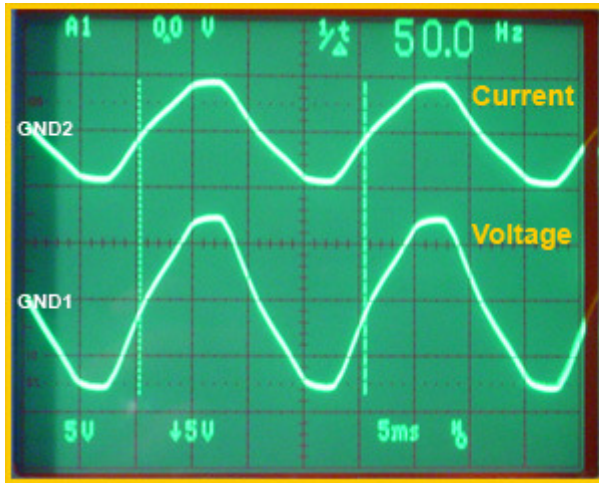
Em todas as montagens foi usada uma resistência de 1K (1W), e esta resistência acabou por desempenhar não só o papel de resistência sensora, mas também de limitador de corrente para os componentes a testar. Poder-se-ia ter usado um valor dimensionado de forma propositada para cada componente que requeresse limitação de corrente, mas como disse, a ideia é manter as coisas simples.

Para além de uma fonte de sinal alterno, osciloscópio de duplo traço com modo XY, e de uma resistência, só falta mesmo o componente a testar e talvez uma placa de ensaios e uns cabos que possam vir a ser necessários para facilitar as ligações.

Resistência

Foram testadas 3 resistências com os valores de 470Ohm, 1k, e 1k8.

Na imagem seguinte apresenta-se o esquema de ligações e a medição no canal 1 indirecta da corrente, o traço de cima, e no canal 2, traço de baixo, é apresentada a tensão aos terminais da resistência em teste.



A medição de corrente é indirecta pelo anteriormente exposto, uma vez que na verdade o que se apresenta é a queda de tensão aos terminais da resistência sensora.

No ecrã do osciloscópio, em cima do lado direito e com número de maior dimensão, apresentam-se por vezes no decurso do presente documento, a frequência ou a tensão de acordo com o posicionamento dos 2 traços verticais marcadores do “readout”.

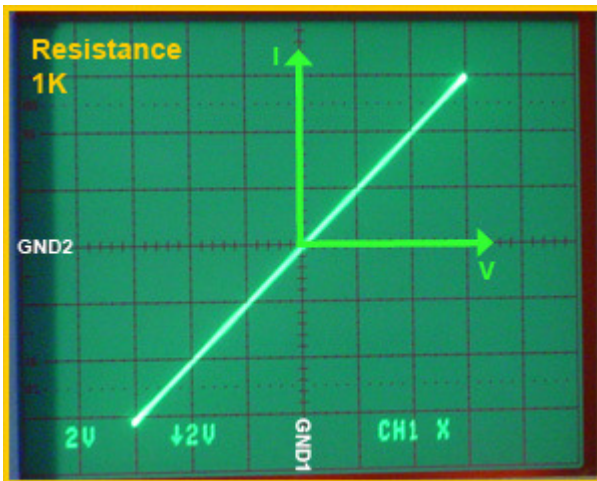
Na parte inferior do ecrã e da esquerda para a direita, podem ler-se os valores seleccionados para o canal 1 (traço vermelho no esquema) dos Volt/divisão (5v), depois V/div (5v) para o canal 2 (traço azul no esquema), e no caso particular a anteceder o “5v” está uma seta apontada para baixo que significa que nesse canal o sinal foi invertido. Ainda com relevância, mais à direita é apresentado o valor seleccionado na base de tempo (Tempo/divisão), que no caso é de 5ms.

Como o readout do osciloscópio usado não insere marcadores para a linha de referência GND de cada um dos canais visualizados, inseri posteriormente a inscrição GND1 e GND2 (em cor branca) sobre cada uma das respectivas linhas, que foram tidas como referência para cada um dos 2 canais usados.

É importante referir, que uma vez que estamos a pretender medir 2 sinais que à partida teriam referenciais distintos, mas o osciloscópio não tem entradas flutuantes, temos que recorrer a uma artifício, ligando o ponto de referência comum (massa), entre a resistência sensora e o componente a testar, mas depois não nos podemos esquecer que numa medição directa o osciloscópio vai apresentar no canal 2 o sinal invertido em relação ao que está a apresentar no canal 1. Contudo, é comum os osciloscópios terem a opção de inverter o sinal do canal 2, e a essa função temos que recorrer para que de facto os sinais observados façam sentido.

Na imagem anterior capturada do osciloscópio, pode ver-se que a corrente está em fase com a tensão. Se o canal 2 não estivesse invertido, teríamos um desfaseamento de 180º, e não faria sentido haver numa resistência circulação de corrente no sentido inverso ao da diferença de potencial aplicada aos seus terminais.

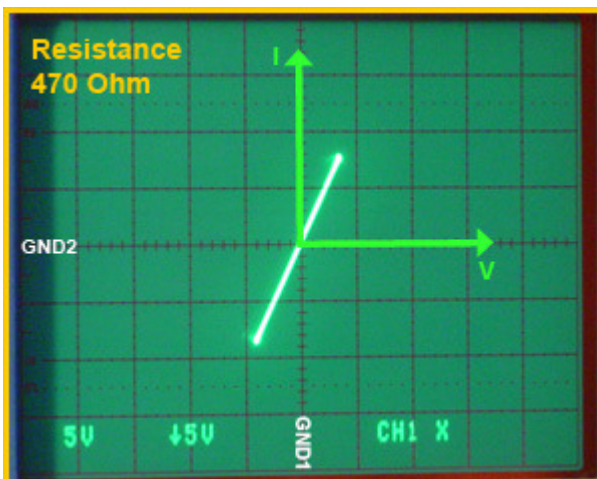
Resistência 1K



Para facilitar a leitura, inseri na imagem os eixos cardinais.

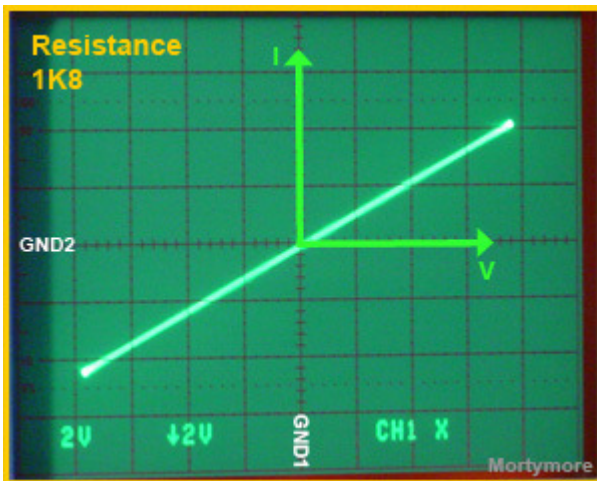
Na imagem apresenta-se a curva característica IV de uma resistência de 1k, e como se pode observar a variação da corrente ocorre linearmente com a variação da tensão. Como temos uma resistência sensora de corrente também de 1k, a recta assume inclinação de 45° , o que significa que por cada unidade de tensão, temos uma variação de uma unidade de corrente, quer no sentido directo, quer no sentido inverso, pois naturalmente na metade esquerda do ecrã do osciloscópio os valores são negativos para a tensão representada, e na metade inferior do ecrã, os valores são negativos para a corrente apresentada, pois houve o cuidado de alinhar o traço vertical com o eixo central vertical do ecrã, e o traço horizontal com o eixo central horizontal. Para efectuar esse procedimento, comuta-se o selector de acoplamento de entrada de sinal para GND, num canal e no outro, alternadamente, e procede-se ao alinhamento de cada um dos traços vertical e horizontal, com cada um dos eixos correspondentes.

Resistência 470Ohm



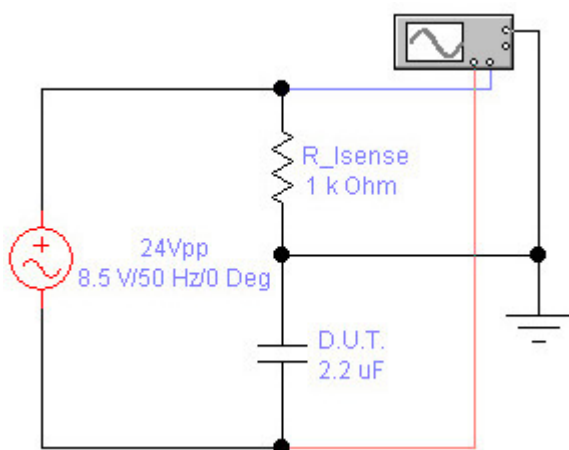
Nesta imagem, temos igualmente uma variação linear, mas a inclinação da recta é mais acentuada, o que traduz um aumento de quase duas unidades de corrente, por variação de cada uma de tensão. Isto deve-se ao facto de termos uma resistência sensora de corrente com valor de 1k, e a resistência em teste, e aos terminais da qual é medida a tensão, ter perto de metade desse valor, pois é de 470 Ohm.

Resistência de 1k8



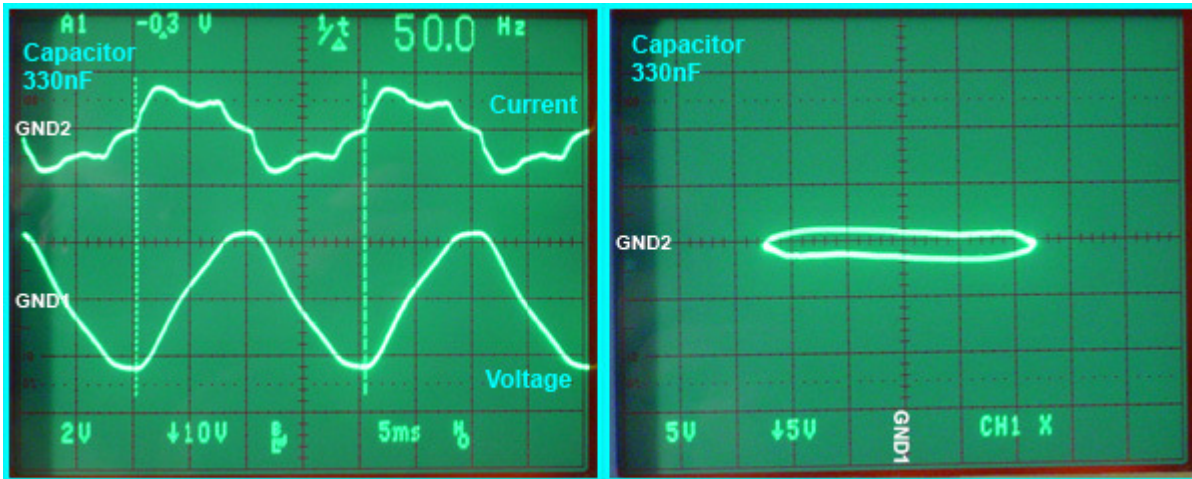
Mais uma vez se apresenta uma variação linear, mas com um inclinação da recta menos acentuada que em qualquer das situações anteriores, o que denuncia uma resistência mais elevada em teste, do que a que a sensora de corrente.

Condensador



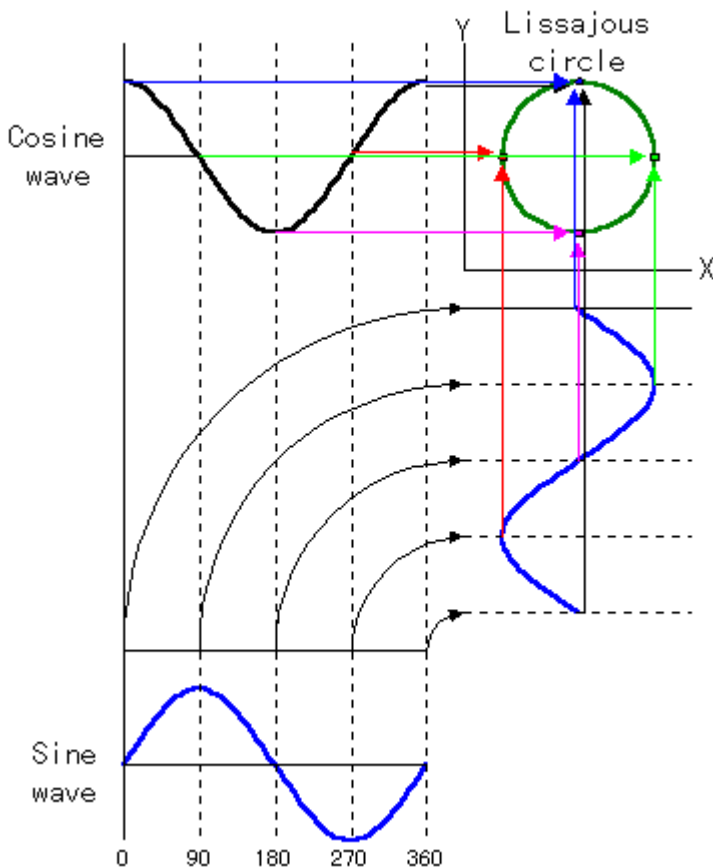
Os condensadores testados de acordo com esquema anterior, eram MTK, não polarizados, com valores de 330nF e 2,2uF.

Condensador 330nF



Na imagem do lado esquerdo, temos em cima a corrente e em baixo a tensão. A deformação no sinal da corrente em relação a uma curva mais próxima de uma sinusóide, não tem relevância para o que se pretende expor, pois ainda assim dá para perceber que a corrente se eleva com antecedência em relação à tensão, isto é, a corrente está adiantada em relação à tensão, e também será perceptível que o desfasamento será de aproximadamente 90° , o que será confirmado traçando a curva característica do condensador.

Para se poder interpretar em condições a curva característica IV do condensador, apresentada na imagem da direita acima, será talvez conveniente ter uma noção do modo como o osciloscópio trata os sinais no modo XY para traçar este tipo de gráfico, e posteriormente será conveniente falar um pouco sobre a representação de figuras de Lissajous.



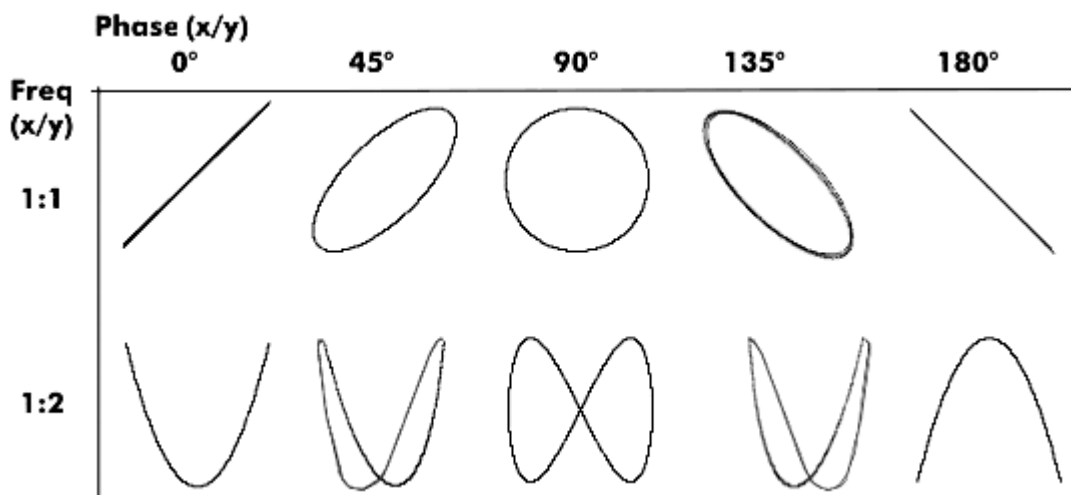
Fonte: http://www.piclist.com/images/www/hobby_elec/e_ckt20_2.htm

Na imagem anterior imaginemos que a curva Cosine (cosseno) representa a corrente, e a curva Sine (seno) representa a tensão. Olhando para a metade esquerda da imagem, temos uma representação no modo YT, que é a forma como tradicionalmente o osciloscópio apresenta os sinais, e tal como as curvas seno (sinusóide de cor azul) e o cosseno (sinusóide de cor preta) estão desfasadas de 90° , assim o estão a corrente e a tensão.

Para se poder traçar o gráfico IV pretendido, que resultará numa figura de Lissajous, é necessário deslocar uma das cruvas de uma posição horizontal, para a vertical, de forma a poder obter-se a intercepção de ambas que nos dará o gráfico pretendido. Na imagem a curva seno (sinusóide azul), é então deslocada para um posição vertical.

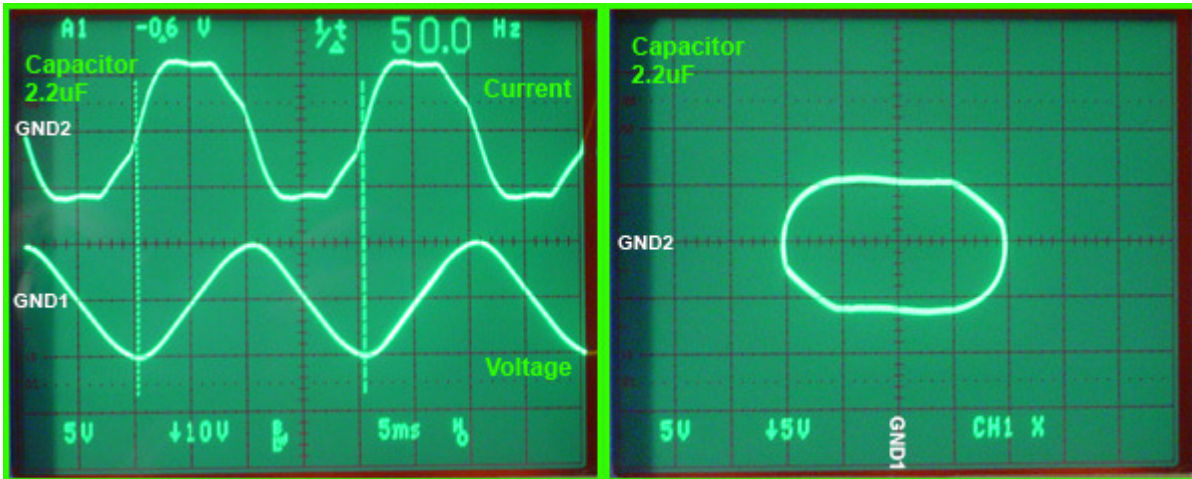
Agora traçando linhas horizontais para o cosseno e verticais para o seno, partindo de pontos nestas que ocorram no mesmo instante, marca-se o ponto de intercepção dessas rectas no gráfico XY. Traçando tantas rectas quantas as necessárias para se poderem marcar os pontos de intercepção, por união de todos os pontos obtidos, ter-se-á traçado a curva característica do componente, que no exemplo da imagem resultou numa circunferência.

De seguida mostram-se algumas das figuras de Lissajous, que representam o desfasamento entre 2 sinais com a mesma frequência e amplitude na 1ª linha, portanto com relação de frequência de 1:1, e na 2ª linha podem ver-se as imagens quando a relação entre frequências presentes nos canais X e Y é de 1:2, ou seja, uma é o dobro da outra. Outro tipo de imagens se apresentariam conforme o rácio entre a frequência dos sinais. Como em todos os testes efectuados no presente tutorial a frequência da corrente foi igual à da tensão (50Hz), só estamos efectivamente interessados nas imagens que são apresentadas na 1ª linha.



Uma figura como a circunferência apresentada para um desfasamento de 90° , só será perfeita, se as amplitudes dos 2 sinais forem iguais. Na imagem observada no osciloscópio vemos que a curva está achatada, fruto de um dos sinais, no caso a corrente, ser consideravelmente menor que o outro, ou seja a tensão. Mas não há na curva uma inclinação declarada para a direita ou para esquerda, que denunciariam um desfasamento superior ou inferior a 90° .

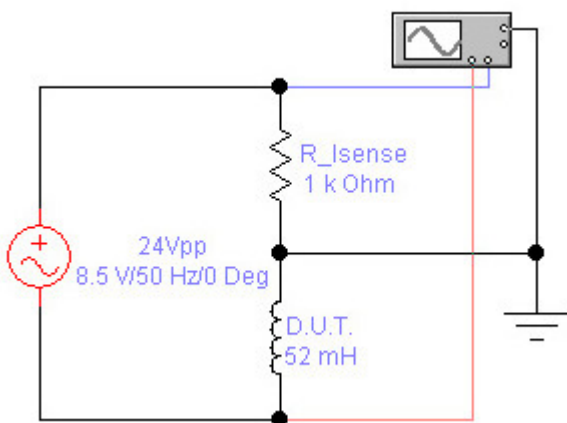
Condensador 2.2uF



Neste caso a corrente não apresenta uma deformação tão significativa como para o condensador de 330nF, e percebe-se melhor na imagem da esquerda o adiantamento de 90° da corrente em relação à tensão.

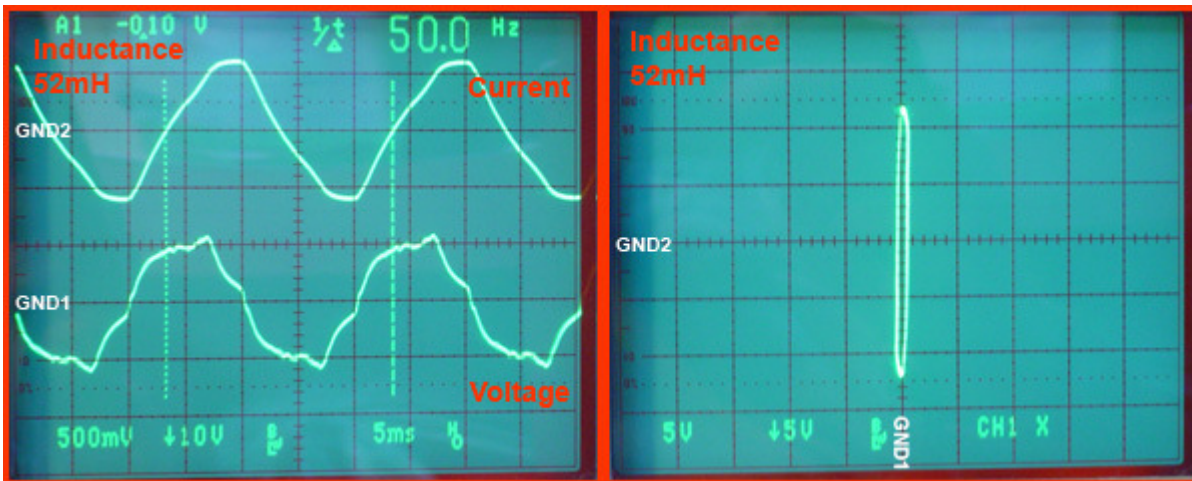
Contudo, como o nível da corrente é metade do da tensão, continuamos a não ter uma circunferência mais ou menos perfeita como curva característica para este condensador, mas mais uma vez não há uma inclinação que denuncie um desvio com significado, do desfaseamento de 90° entre corrente e tensão. Portanto, também aqui o achatamento da curva se deve à diferença entre amplitudes dos sinais.

Bobine -----



As bobines testadas apresentavam o valor de 52mH e 154mH, usando a montagem apresentada anteriormente.

Bobine 52mH

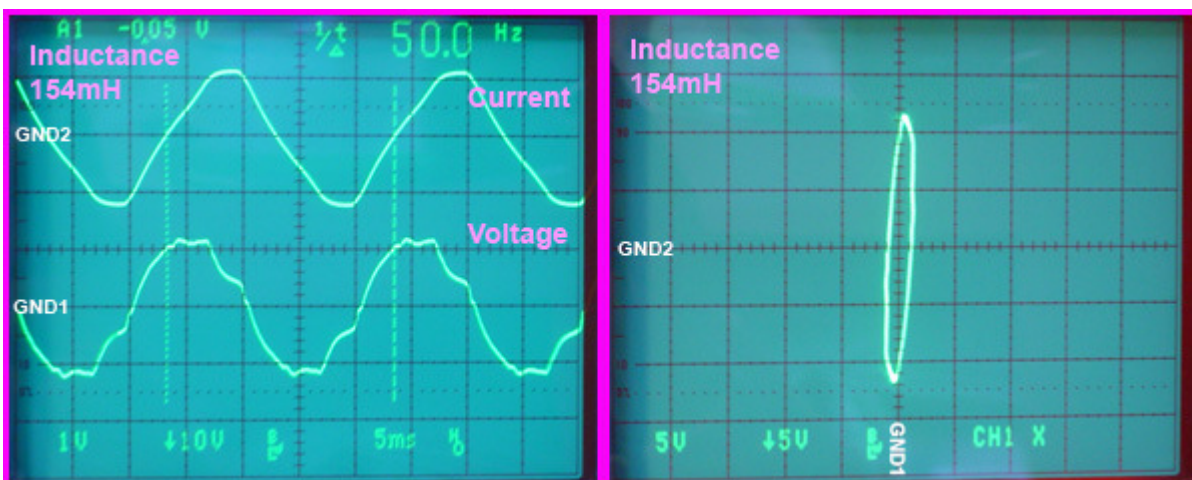


Tal como no caso dos condensadores, as bobines provocam um desfasamento entre corrente e tensão, mas ao contrário dos condensadores, é agora a tensão que se adianta em relação à corrente, e o desfasamento entre elas também será de cerca de 90° .

Embora o sinal visualizado para a tensão apresente perturbações em relação ao que se esperaria ser aproximadamente uma sinusóide, dá para perceber o desfasamento entre sinais e o adiantamento da tensão em relação à corrente.

Na informação sobre as escalas seleccionadas para volt/divisão, na imagem do lado esquerdo, vê-se que o canal 1 (tensão) apresenta 500mV/div e o canal 2 (corrente) apresenta 10v/div, e com estas escalas as amplitudes visualizadas são similares. Esta diferença nas amplitudes vai repercutir-se na apresentação do gráfico XY pois ele deverá ser visualizado preferencialmente com o mesmo factor de escala para ambos os canais, como se pode ver na imagem do lado direito, onde a escala seleccionada para ambos os canais é de 5v/div. Como temos no eixo dos YY's, no modo XY, a tensão, e no eixo dos XX's a corrente, é notória a diferença entre a largura e altura da elipse, uma vez que a amplitude da corrente é muito maior que a da tensão.

Bobine 154mH

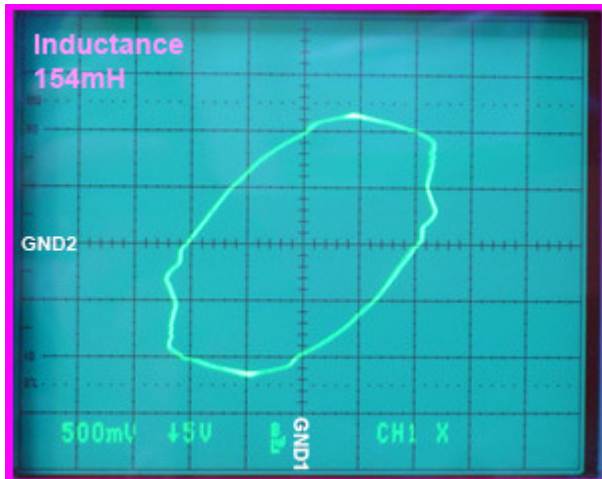


Agora com uma indutância do triplo do valor da anterior, vemos na imagem da esquerda que embora a amplitude da tensão seja similar à do caso anterior, ela é na verdade o dobro, pois estamos a usar uma escala em que cada quadrícula vertical tem um nível de 1v (1v/div), enquanto no caso anterior a escala usada era de 500mV/div. A amplitude da corrente é idêntica

à da bobine de 52mH. O desfasamento é similar, naturalmente com a tensão igualmente adiantada em relação à corrente.

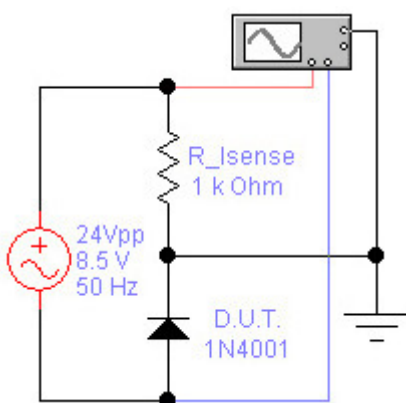
Na curva característica, representação no modo XY, imagem do lado direito, temos uma elipse mais larga que no caso anterior, graças à maior amplitude da tensão. É perceptível uma ligeira inclinação da elipse para a direita, e analisando o quadro com as figuras de Lissajous, isso indicará que o desfasamento entre os sinais observados, não será exactamente de 90°, mas algo menor.

Embora a alteração de apenas um factor de escala de um dos sinais, desvirtue a relação de 1:1 nas amplitudes dos sinais observados em modo XY, pode ser benéfico fazê-lo para realçar o desfasamento existente entre eles, como se mostra na figura seguinte.



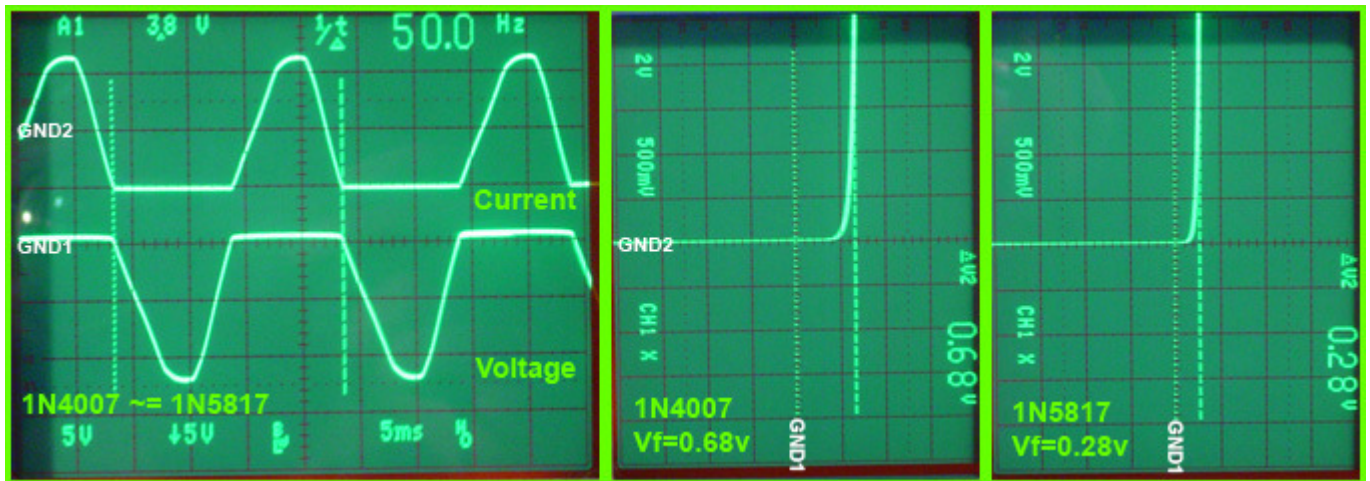
Aqui é mais evidente a inclinação da elipse para a direita, sinónimo de um desfasamento inferior a 90°. Como está adulterada a relação de 1:1 na escala, não se pode considerar válida a inclinação apresentada pela elipse para efectuar uma medição directa real do desfasamento entre os sinais.

Díodos -----



Os díodos testados são de 3 tipos diferentes. O 1N4007 é um díodo rectificador de silício com tensão de polarização da ordem dos 0.7v. O 1N5817 é um díodo Schottky, por conseguinte, com baixa tensão de polarização directa. Finalmente o último díodo analisado, o BZX55C5V1, é do tipo Zener com tensão de polarização inversa anunciada de 5.1v.

Díodos 1N4007 (rectificador) e 1N5817 (Schottky)



Porque as formas de onda dos sinais de corrente e tensão para os díodos rectificador (1N4007) e Schottky (1N5817) são muito semelhantes e as diferenças praticamente imperceptíveis, apresentam-se aqui apenas as curvas referentes a um deles.

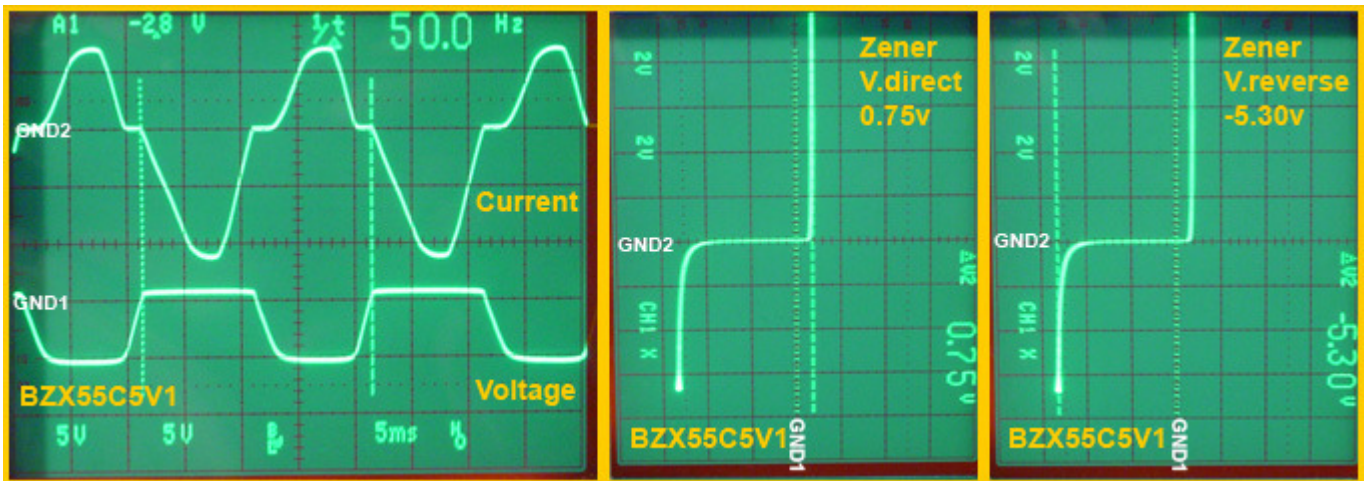
Vê-se então na imagem capturada do osciloscópio, mais à esquerda, que nos meios ciclos negativos da tensão, não há lugar à passagem de corrente, pois nessa altura o diódo encontra-se inversamente polarizado. Nos meios ciclos positivos, assim que é ultrapassada a tensão de polarização directa, a corrente flui livremente pelo diódo.

NOTA: Como o osciloscópio que usei tem readout, mas as medições de tensão só são possíveis de realizar ao longo do eixo vertical e não na horizontal, e o que se pretendia no presente caso era efectuar medições de tensão no eixo horizontal, pois é nele que se representa a tensão no zener; uma vez que o eixo vertical está destinado a representar a corrente; troquei os canais 1 e 2, o que resulta na visualização da curva IV "deitada". Assim já é possível usar os traços do readout para marcar as tensões a medir, mas temos depois que fazer o exercício mental de imaginar a curva IV direita. Para facilitar o serviço, apresento de seguida as imagens recolhidas com as medições de tensão de polarização directa e inversa, mas com as imagens rodadas de modo a ficarem posicionadas da forma tradicional, com o eixo dos XX's a representar a tensão e o dos YY's a corrente.

Na imagem do centro temos a curva característica IV do diódo rectificador (1N4007), e apresenta-se no ecrã do osciloscópio, a medição da tensão de polarização directa apresentada pelo diódo, de 0.68v.

Na imagem à direita temos a curva característica de um diódo Schottky (1N5817) e a medição para a polarização directa deste diódo foi de 0.28v, pelo que facilmente se conclui que este tipo de diódo entra em condução mais rapidamente que um vulgar diódo semiconductor de silício.

Díodo BZX55C5V1 (Zener 5.1V)



Na imagem capturada do osciloscópio, à esquerda, temos as curvas YT para a corrente e tensão. Como se verifica a tensão aos terminais do Zener oscila entre os 0.75v quando directamente polarizado, até aos -5.30v quando inversamente polarizado. A corrente flui livremente quando o Zener se encontra directamente polarizado, mas quando inversamente polarizado tal só acontece quando é quebrada a barreira dos -5.3v, daí a sinusóide “estreitada” na parte superior da forma de onda da corrente, pois até que se atinja esse valor de tensão, não há lugar à circulação de corrente.

As imagens do centro e da direita só diferem na posição dos cursores do readout, sendo que na imagem central estão a medir a tensão de polarização directa de 0.75v, e na imagem da direita medem a tensão de Zener do díodo inversamente polarizado com valor de -5.30v. Pela curva característica IV do díodo Zener, pode ver-se que quando directamente polarizado, comporta-se como um díodo de silício tradicional, entrando em condução após os 0.75v. Já inversamente polarizado, entram em condução quando é quebrada a barreira dos -5.3v, mantendo a tensão praticamente inalterada para qualquer valor de corrente que nele circule (claro que dentro dos limites que o díodo suporte).