

Índice

Introdução à Electrónica.....	4
1. Sistema de Medidas (SI).....	5
1.1. Resumo	5
1.2. Teste de diagnóstico.....	5
1.3. Recurso didático	5
1.4. Check point.....	10
1.5. Avaliação	10
1.6. Proposta trabalho	11
1.7. Desafio para Fórum	11
2. Instrumentos de medida.....	12
2.1. Resumo	12
2.2. Teste de diagnóstico.....	12
2.3. Recurso didático	13
2.4. Check Point	22
2.5. Avaliação	22
2.6. Proposta trabalho	22
2.7. Desafio para Fórum	22
3. Circuito Impresso e Solda	23
3.1. Resumo	23
3.2. Teste de diagnóstico.....	23
3.3. Recurso didático	23
3.4. Check Point	29
3.5. Avaliação	29
3.6. Proposta trabalho	29
3.7. Desafio para Fórum	29
4. Sentido da corrente.....	30
4.1. Resumo	30
4.2. Teste de diagnóstico.....	30
4.3. Recurso didático	30

4.4.	Check Point	31
4.5.	Avaliação	31
4.6.	Proposta trabalho	31
4.7.	Desafio para Fórum	31
5.	Condutores e Isoladores	32
5.1.	Resumo	32
5.2.	Teste diagnóstico.....	32
5.3.	Recurso didático	32
5.4.	Check Point	33
5.5.	Avaliação	33
5.6.	Proposta trabalho	33
5.7.	Desafio para Forum	33
6.	Componentes.....	34
6.1.	Resumo	34
6.2.	Teste de diagnóstico.....	34
6.3.	Recurso didático	34
6.4.	Check Point	53
6.5.	Avaliação	53
6.6.	Proposta trabalho	53
6.7.	Desafio para Fórum	53
7.	Semicondutores	54
7.1.	Resumo	54
7.2.	Teste de diagnóstico.....	54
7.3.	Recurso didático	54
7.4.	Check Point	74
7.5.	Avaliação	74
7.6.	Proposta trabalho	74
7.7.	Desafio para Fórum	74
8.	Corrente AC/DC	75
8.1.	Resumo	75
8.2.	Teste de diagnóstico.....	75
8.3.	Recurso didático	75
8.4.	Check Point	86
8.5.	Avaliação	86

8.6.	Proposta de trabalho	86
8.7.	Desafio para Fórum	86
9.	Análise de circuitos	87
9.1.	Resumo	87
9.2.	Teste de diagnóstico.....	87
9.3.	Recursos didáticos	87
9.3.1.	Thévnin.....	87
9.3.2.	Norton.....	90
8.1.1.	Teorema do gerador em paralelo.....	93
8.1.2.	Check-Point	98
8.1.3.	Teste de Avaliação	98
8.1.4.	Proposta de Trabalho	98
8.1.5.	Desafio para o Fórum	98
9.	Menemónicas:.....	100
10.	LISTAS	101
10.1.	Imagens	101
10.2.	Tabelas	106
10.3.	Equações	107

Introdução à Electrónica

No nosso dia a dia fazemos uso constante da electrónica de consumo. Ela está presente no automóvel, no micro-ondas, no telemóvel, no computador, ou seja, em quase todo o lado.

Com esta acção de formação pretende-se dotar o formando de conhecimentos genéricos do mundo da electrónica, realizando, assim, uma introdução aos componentes que dele fazem parte. Em simultâneo será feito uso das várias grandezas aplicadas aos componentes estudados. Focar-se-á, ainda, o modo como se chegou às formas físicas actuais e como isso acabou por influenciar os métodos de desenvolvimento e construção dos circuitos até ao presente.

Os temas focados deverão ser encarados como pilares na orientação de um estudo mais aprofundado, sendo quando aplicável ao tema, apresentado um exemplo prático como guia.

Será dada especial atenção aos componentes bobine e condensador, eles são de uma importância extrema. Causadores do maior número de problemas nos circuitos electrónicos, que se devem ao facto do seu uso poder resultar em sobreintensidades ou sobretensões das quais não se está à espera. Tal situação não sucede em todos os restantes componentes.

Ao longo do documento procedeu-se à ilustração fotográfica dos temas abordados, sempre que possível com uma referência de escala, para ajudar a dimensionar o objecto, usando-se, para esse efeito, um fundo de folha A4 pautado.

Recomenda-se sempre que se justifique a procura na “web” dos “datasheet” relativos aos componentes abordados. A leitura destes documentos permitirá o contacto com os termos usados pelos fabricantes para a classificação e respectiva representação esquemática.

Para as simulações de circuitos fez-se uso do programa LTSpice propriedade da “Linear Technology” {<http://www.linear.com/design-tools/software/#LTspice>}, havendo, no entanto, outros que se podem usar como o Pspice ou o WorkBench.

Haverá temas que serão aqui abordados, mas que devido à sua complexidade, implicarão acções de formação exclusivas.

1. Sistema de Medidas (SI)

1.1. Resumo

A abordagem deste tema tem como objectivo dar a conhecer a importância das grandezas usadas nos componentes de electrónica. Só conhecendo estas e sabendo convertê-las de unidades para fracções ou o inverso, será possível compreender e executar os exercícios propostos ao longo da formação.

1.2. Teste de diagnóstico

Na Tabela 1 abaixo, encontram-se diversos múltiplos e submúltiplos para os quais se pretende que seja estabelecida a relação do valor equivalente entre o número e letra.

1 => 8*10^-6	a => 4.7K	1 => f
2 => 5000	b => 8M	2 => e
3 => 5*10^-3	c => 4.7M	3 => j
4 => 8*10^-12	d => 0.008*10^-9	4 => d
5 => 4.7*10^-9	e => 5*10^3	5 => g
6 => 8*10^6	f => 0.000008	6 => b
7 => 5*10^4	g => 0.0000000047	7 => i
8 => 4.7*10^6	h => 0.0005	8 => c
9 => 4.7*10^3	i => 50k	9 => a
10 => 5*10^-4	j => 0.005	10 => h

Tabela 1: Diagnóstico valores SI

1.3. Recurso didático

No nosso dia a dia e, às vezes, sem nos darmos conta, usamos um sistema de medidas que contém as medidas padrão para as grandezas com que estamos a lidar. Por exemplo: quando abastecemos a viatura pedindo 20 litros de combustível, ou compramos 2 Kgs de açúcar, o sistema de medidas usado como referência é o “Sistema Internacional” abreviado normalmente como “SI” de onde fazem parte grandezas como: Kg, Litro, Ohms, Henry, Farad, Watts, etc.

Nos componentes usados em electrónica usam-se maioritariamente submúltiplos e alguns múltiplos do valor unitário para nos referirmos às suas características. Observe as tabelas que se seguem e que têm como primeiro valor o “1” e dizem respeito aos valores maiores e menores do que 1 respectivamente:

Nome	Símbolo	Potência	Valor
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga	G	10^9	1 000 000 000
mega	M	10^6	1 000 000
quilo	k	10^3	1 000
-	-	10^0	1

Tabela 2: Múltiplos da unidade

Recorda-se aos mais esquecidos de que em matemática qualquer numero que seja diferente de zero elevado a zero assume o valor “1”.

Nome	Símbolo	Potência	Valor
-	-	1^0	1
deci	d	10^{-1}	0,1
centi	c	10^{-2}	0,01
mili	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000 001
nano	n	10^{-9}	0,000 000 001
pico	p	10^{-12}	0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	0,000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	10^{-21}	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	10^{-24}	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Tabela 3: Submúltiplos da unidade

Na Tabela 3 foram também representadas as fracções do valor da unidade por extenso para dar uma ideia de quão miúda é a sua fracção mas tal representação por extenso não se usa no dia a dia.

Como referência pode-se salientar que um relógio de precisão atómica se situa já a partir de $1 \cdot 10^{-12}$, sendo que a tabela foi preenchida até ao valor de $1 \cdot 10^{-24}$.

No decorrer desta acção de formação, irão usar-se valores de forma regular até ao $1 \cdot 10^{-12}$, sendo por isso, muito importante a compreensão destes valores (mili, micro, nano, pico).

Agora que já possuímos uma ideia dos submúltiplos e da unidades que vamos usar há que realizar uma ronda por alguns componentes utilizados em electrónica de forma a visualizar a sua inscrição prática.

Vamos, para já, debruçar-nos sobre os condensadores, resistências, bobines e também fusíveis. Devemos referir que o estudo destes componentes será realizado no capítulo sob o tema “componentes”. Nesta fase, pretende-se somente demonstrar como o formando vai encontrar a inscrição destes valores no mundo real.



Figura 1: C de 0.22 Farad 10V



Figura 2: C de 0.22 Farad



Figura 3: C de 680μF

Na Figura 1 encontra-se um condensador com a capacidade de 0.22F, o que significa que ele possui somente 0.22%, ou 220 mili da unidade que é usada no SI para a capacidade que, neste caso, é o farad (F):

1 Farad é a capacidade de um condutor que estando ao potencial e 1 V, possui uma carga de 1 Coulomb:

$$1 \text{ Coulomb} = 1\text{A} * 1\text{Sec}$$

$$1 \text{ Coulomb} = 1\text{F} * 1\text{V}$$

Equações 1: Fórmula para obtenção Coulomb

Na Figura 2 encontra-se um condensador com a mesma capacidade, em termos de “Farad”, mas para uma tensão diferente, daí a sua dimensão mais reduzida.



Figura 4: C 4μF 400VDC

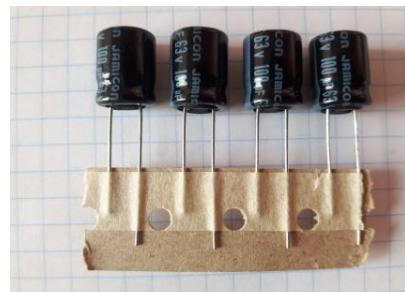


Figura 5: C 100μF 63V



Figura 6: 1500μF 420VDC

Nas figuras acima encontram-se exemplos de condensadores de 4μF 100μF e 1500μF

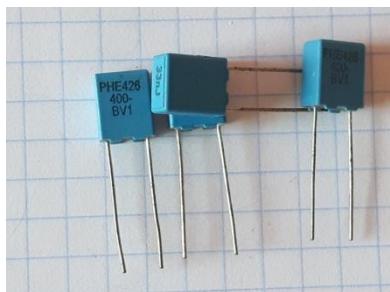


Figura 7: 33nF

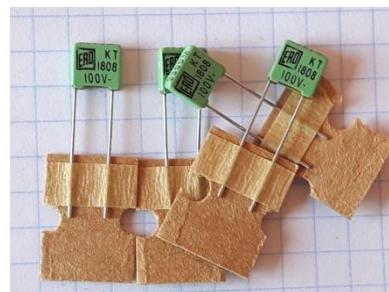


Figura 8: 3,3nF

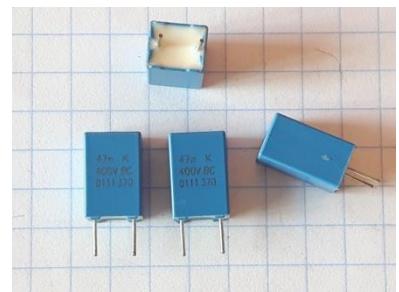


Figura 9: 47nF

Nas Figura 7, Figura 8 e Figura 9 estão condensadores com capacidade na casa dos nanofarad.

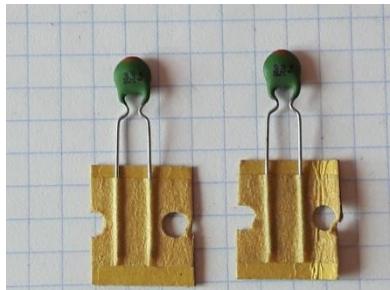


Figura 10: 33pF

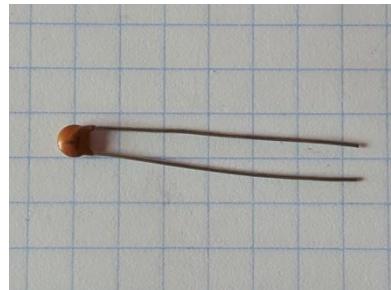


Figura 11: 1pF



Figura 12: 47pF

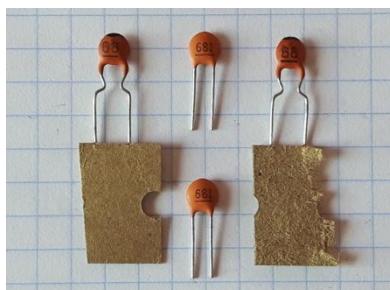


Figura 13: 68pF



Figura 14: 82pF

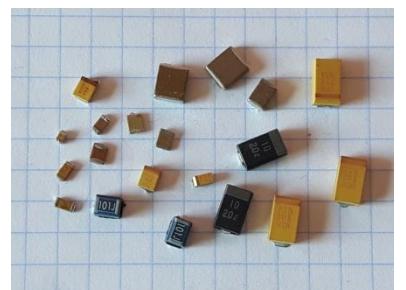


Figura 15: Vários C's tipo SMD

Na Figura 15 estão vários condensadores de montagem SMD (surface-mount device). Note-se que só alguns conseguem ter espaço para conter a inscrição da sua capacidade, sendo que os que não possuem espaço só se consegue determinar a sua capacidade usando equipamento de medida (ver equipamentos de medida).

Até agora observámos os métodos de inscrição dos submúltiplos para a unidade de "Farad" nos condensadores. Vamos agora observar os submúltiplos e múltiplos nas resistências:

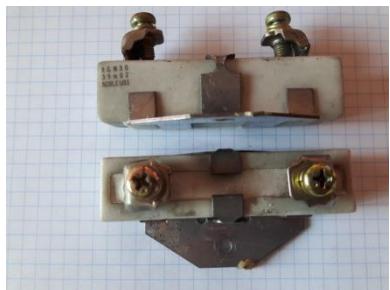


Figura 16: 39 mΩ 30 Watts

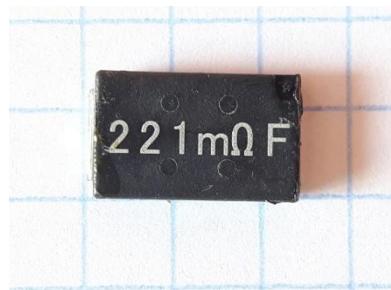


Figura 17: R SMD de 220mΩ

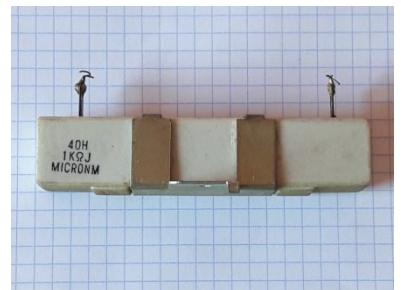


Figura 18: 1kΩ 40 Watts

A unidade "Ohm" que é representada pelo símbolo " Ω " e é usada para referir o valor das resistências, surge representada nas resistências tal como nas fotos da Figura 16, Figura 17 e Figura 18. Note-se o submúltiplo miliOhm e o múltiplo K que é a unidade Ohm vezes mil.

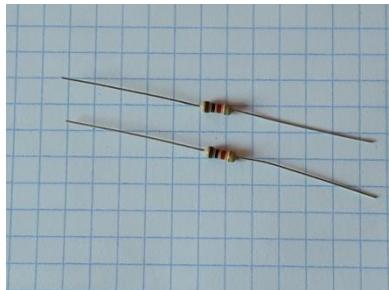


Figura 19: R 1KΩ

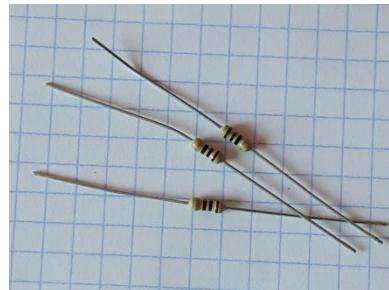


Figura 20: 10Ω



Figura 21: R 10Ω 50Watts

Importa salientar aqui que os exemplos de R's acima estão a ser observados pela sua função resistiva, tendo-se dado, no entanto, alguma importância à escolha dos exemplos por forma a evidenciar também a sua potência em Watts, pois também ela é uma unidade onde são usadas fracções da unidade. Temos, assim, resistências com Watts, miliWatts e até microWatts em algumas "SMD", sendo que as de KiloWatts, que também as há, já fogem do âmbito desta formação.

Observe-se com atenção as resistências da Figura 18 e Figura 19, bem como as da Figura 20 e Figura 21. Ambos os conjuntos têm o mesmo valor de resistivo mas a sua potência (Watts) é muito diferente. Esta grandeza será focada em "componentes" quando se abordar a "resistência".

Vamos agora observar algumas inscrições em bobinas e fusíveis, onde também é usado o termo "mili" e "micro" para mencionar fracções da unidade "Ampere" e "Henry".



Figura 22: 100uH



Figura 23: 220uH

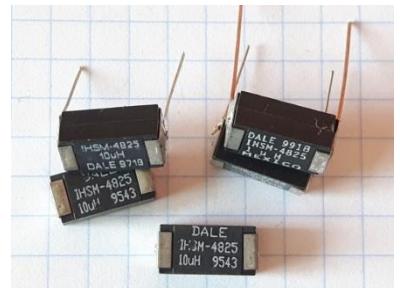


Figura 24: L de 10μH

Nas bobinas da Figura 22, Figura 23 e Figura 24, que têm como nome de valor unitário no SI, o "Henry", podemos observar a inscrição directa de 10μ Henry e 1μ Henry bem como 100 ou 220 também em μ H, onde o terceiro dígito é o factor de multiplicação de zeros a juntar aos primeiros dois.



Figura 25: Fusível 25Ampers



Figura 26: Fusível de 2 Amp & 500miliAmp em suporte SMD



Figura 27: Fusível 50Amp 400V



Figura 28: Vários Fusíveis 5x20, com diferentes tipos marcação



Figura 29: Fusíveis de aplicação directa em circuito impresso



Figura 30: Fusível 32 Amp.com referência à cápsula

Nos fusíveis é possível observar a inscrição de 500mA, 0,7A, 25A para indicar qual a sua grandeza em corrente que ele suporta. Usa-se também aqui o submúltiplo miliAmpere da unidade “Ampere” que faz parte do SI. Destaca-se o facto de haver cápsulas diferentes para os mesmos valores de corte.

1.4. Check point

1.5. Avaliação

Realize a correspondência dos valores presentes de 1 a 9 com os valores presentes de A a J:

Nº:	Valores:	Letra	Equivalência	Resposta
1	470uF	A	0.220uF	1 => F
2	220nF	B	470nF	2 => A
3	33pF	C	700mA	3 => I
4	1uF	D	2000mA	4 => J
5	15pF	E	$10 \cdot 10^{-6}$	5 => G
6	33nF	F	$470 \cdot 10^{-6}$	6 => H
7	0,7A	G	$15 \cdot 10^{-12}$	7 => C
8	2A	H	33000pF	8 => D
9	10uH	I	$33 \cdot 10^{-12}$	9 => E
10	0,47uF	J	0,000001F	10 => B

Tabela 4: Avaliação Grandezas do SI

1.6. Proposta trabalho

1.7. Desafio para Fórum

2. Instrumentos de medida

2.1. Resumo

Pretende-se com este tema que o formando tome contacto com alguns dos instrumentos que podem ser usados para a verificação dos componentes electrónicos ou mesmo do “circuito” onde eles se encontram inseridos. Focam-se, ainda, alguns instrumentos de laboratório que são usados como auxiliares de diagnóstico.

2.2. Teste de diagnóstico

Responda às questões:

Nº: Questão:

- 1 Qual as grandezas de presença obrigatória num multimetro de mão?
Ampere, Ohms, VDC e VAC,
- 2 O osciloscópio tem habitualmente nas suas pontas de prova um switch para que valores?
X1 e X10
- 3 Os multímetros têm para as escalas de Ampere e MiliAmpere uma tomada intermédia protegida por um fusível. Qual das grandezas passa por um fusível, a dos Amperes ou dos MiliAmpere?
Miliampères
- 4 Nos Multímetros de agulha, há habitualmente, dependendo da qualidade do multimetro, um espelho que acompanha a escala. Para que serve/servia esse espelho?
Evitar o erro de Paralaxe
- 5 Qual o minimo de tensão necessária nas pontas de um multímetro para realizar a medida de semicondutores?
0.7 Volts que é o valor nominal para os semicondutores entrarem em condução, sendo esse o valor esperado.
- 6 Uma fonte de alimentação de laboratório para além do regulador de tensão tem de ter também um ajuste para a ...?
Corrente, intensidade ou amperes. Há também fontes que regulam os Watts
- 7 Nos multímetros e de forma geral nos aparelhos de laboratório usam-se duas cores para definir os pólos, quais são?
Vermelho para o positivo e preto para o negativo.
- 8 Para que serve a tomada presente em alguns multímetros designada por Hfe?
Destina-se a efectuar a medida de ganho dos transistores.
- 9 Enuncie alguns aparelhos que considere de presença obrigatória num laboratório de electrónica?
Osciloscópio, multímetro, fonte de alimentação regulada, frequencímetro, gerador de funções. Podem ainda ser citados os sistemas para soldar.
- 10 Que aparelhos são usados nas medidas da resistência, do condensador e da bobine?

Ohmímetro para medir a resistência ohmica,
Capacímetro para medir capacidade e
indutímetro, ressonímetro ou ainda o medidor de campo para medir a bobine.

Tabela 5: Diagnóstico instrumentos de medida

2.3. Recurso didático

Agora que já conhecemos os múltiplos e submúltiplos das grandezas do sistema de medidas, assim como algumas das unidades (Ohm, Henry, Farad, Amper) usadas para referir a dimensão dos componentes electrónicos, vamos ver alguns dos aparelhos que nos podem ajudar à obtenção ou confirmação desses valores.

2.3.1. Multímetro analógico



Figura 31: Multímetro analógico



Figura 32: Escala Múltimetro analógico

Este instrumento (análogo) é essencial para que o electrotécnico consiga inteirar-se do estado dos componentes com que está a lidar. Apesar de serem já poucos os que se encontram à venda nos dias de hoje porque se dá preferência aos “múltimetros digitais”, há ainda quem resista ao seu abandono.

Seja digital ou analógico, possui as pontas de prova com cores vermelho e preto para definir os seus pólos.

Os múltimetros analógicos de qualidade apresentam uma pequena ranhura central acompanhando a curvatura ao longo da escala onde se encontra um espelho reflector, de modo a minimizar o erro por uma leitura realizada por olharmos de forma transversal à agulha. Procura-se, assim, um ângulo onde a agulha fique sobreposta a sua imagem que é reflectida no espelho para anular o erro, denominado de “erro de paralaxe”.

As escalas são limitadas ao raio de acção da agulha que possui um pequeno ajuste da posição do infinito (que é a posição em repouso da agulha).

Na altura em que surgiu, era um aparelho dispendioso, havendo oficinas que só possuíam um, impondo, por isso, restrições ao seu uso no sentido de o preservar.

É de notar no seu selector, ao centro da Figura 31, as grandezas de escala possíveis de medir com ele. Temos duas escalas para os “Ohms” de X10 e X1K e

nas escalas das tensões temos de 2,5V DC a 1000VDC (Volts direct current) no AC de 10 a 1000VAC (Volts Alternating current). Já para as correntes em DC suporta valores de 0,05mA a 250mA.

A qualidade destes multímetros assenta na sua impedância por Volt, sendo para este de 20 000 Ω para DC e 10 000 Ω para AC o que é manifestamente insuficiente. Para uso em electrónica actualmente, recomenda-se um valor da impedâncias que rode os 10M Ω para um multímetro de uso normal.

2.3.2. Multímetro Digital



Figura 33: Multímetro digital

O multímetro digital é indispensável para a execução da tarefas do electrotécnico, sendo a sua utilização muito mais fácil se comparado com o analógico, uma vez que possui normalmente escalas automáticas e muito mais variedade nas medidas que consegue realizar. É disso exemplo a medida de capacidade em condensadores, inductância das bobinas, temperatura, frequência, sendo também frequente alguns aparelhos possuirem uma tomada para possibilitar a medida do Hfe (ver transistores) nos transistores. As suas protecções contra a utilização indevida é de longe muito superior à dos analógicos, onde um erro na seleção de escala pode resultar em danos irreversíveis no aparelho.

Uma das grandes diferenças dos multímetros digitais em relação aos analógicos é de que os digitais têm as suas pontas de prova com a polaridade "correcta", ou seja, o fio vermelho é o "+" e o preto é o "-", sendo que nos analógicos é o inverso.

Para além disso os analógicos possuem uma resistência interna baixa, se compararmos com os digitais, resultando na necessidade de fornecer nas pontas de prova uma tensão de aproximadamente 1,5Volts.

Os digitais fornecem valores próximos de 0,7 Volts, ou seja, a tensão necessária para conseguir medir os “semicondutores” (ver semicondutores).

Fica, assim, a nota de que, actualmente, realizar medidas em determinados aparelhos electrónicos fazendo uso de multímetros analógicos, pode levar à deterioração do circuito onde se realiza a medida.

Os multímetros que possuem uma tomada de miliampères é usual esta ter inserido, no seu circuito, um fusível de proteção para o valor máximo suportado pela tomada. Ex: 300mA.

2.3.3. Osciloscópio digital CRT



Figura 34: Osciloscópio com CRT

O osciloscópio é indispensável para nos dar uma visão do que se passa nos circuitos electrónicos, sem o qual não se consegue ver o comportamento dos sinais que oscilem a uma frequência ainda que reduzida.

Sabendo que uma lâmpada incandescente acende e apaga 100 vezes por segundo, uma vez que a frequência da rede eléctrica é de 50Hz, podemos imaginar o efeito de oscilação na agulha de um multímetro analógico, pois esta não teria tempo de ir à

posição de repouso e voltar ao ponto de medida. Uma situação idêntica sucede com os multímetros digitais, pois eles podem medir a variação mas depois a nossa visão não conseguiria acompanhar a actualização do LCD (Liquid Cristal Display). Aqui importa ressalvar que há multímetros digitais com a função “scope” que traçam a observação do sinal analisado para que a possamos visualizar no LCD.

Era comum os osciloscópios possuirem uma calha em volta do ecrã para se poder colocar material fotográfico de forma a recolher imagens das medidas realizadas.

Há osciloscópios em comercialização com 2, 4, 8 e até 16 canais, mas os mais vulgares hoje em dia são os de 4 canais, os quais conseguem analisar frequências elevadas sem influenciarem o circuito onde são ligados (isto é muito importante quando se analisam sinais na casa dos GHz).

2.3.4. Osciloscópio digital



Figura 35: Osciloscópio digital de 4 pontas prova

Na Figura 35 acima é possível observar o interface que permite ler até 16 bits paralelos sendo capaz de descodificar caracteres ASCII ou os dados de uma RS232.

Os osciloscópios mais modernos já apresentam capacidade de exportar directamente “captures” do ecrã para uma “pen”, uma vez que possuem um interface USB. Realizam análises e apresentam valores numéricos directos segundo as

opções que o utilizador activa, tornando-os muito versáteis e fáceis de utilizar, havendo já “scopes” do tamanho de “telemóveis”.



Figura 36: Osciloscópio e ponta prova

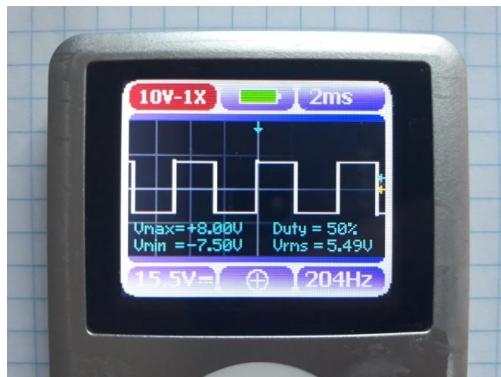


Figura 37: Visualização

No modelo de osciloscópio que aqui se apresenta, destaca-se realmente o seu tamanho que é do tamanho de um iPod, mesmo assim permite a observação de sinais até aos 2MHz e 500V. Sendo o seu custo inferior a meia centena de Euros deixa ao alcance de todos a observação de sinais que seriam impossíveis de observar sem a utilização de um osciloscópio.

Actualmente há software para simulação destinado a correr em PC's de forma a torná-los em autênticos osciloscópios, usando, para isso, interfaces especiais onde se ligam as pontas de prova, dependendo, assim, o desempenho do “scope” do PC utilizado para correr o software.

2.3.5. Gerador de funções



Figura 38: Gerador de Funções

O Gerador de funções é de extrema importância quando se pretende analisar amplificadores de audio, circuitos lógicos ou qualquer outro circuito que necessite do fornecimento de um sinal de referência. Ele gera sinais de onda, tipo “Dente de Serra”, “Sinosoidal”, “Quadrada”, ou ainda, “Triangular”. Estes sinais podem variar a sua amplitude, normalmente entre os -12V a +12V, podendo também variar a seu Off-set, que é o mesmo que dizer que se varia o seu ponto de referência.

Possuem normalmente dois sistemas

de acoplamento, um para níveis TTL e o outro para níveis analógicos que têm uma impedância de referência à volta dos $1\text{K}\Omega$.

Os aparelhos de precisão são dispendiosos, existindo actualmente uma oferta para todas as bolsas, havendo mesmo fabricantes de osciloscópios que já fornecem uma função de gerador de sinais integrada no “scope”.

Para o amador, a construção de um circuito que permita a substituição do gerador de sinais é sempre um desafio aliciante, não pela vertente económica pois, a título de exemplo, o circuito integrado ICL8038 da “Intersil”, comercializado ainda hoje em kit, tem um custo muito baixo e é capaz de fazer face a uma necessidade inicial, pois consegue gerar uma onda, quadrada, triangular e sinusoidal, desde 0.001Hz até aos 300kHz.

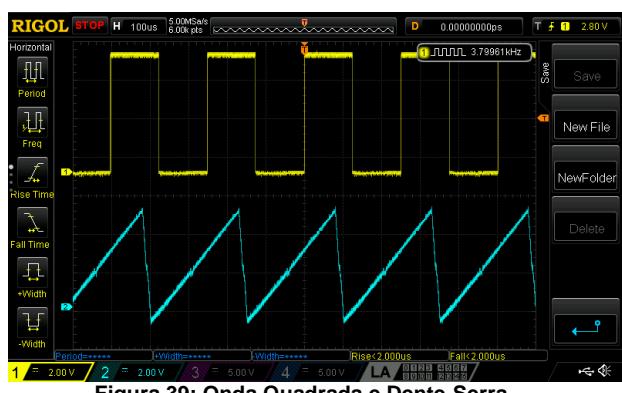


Figura 39: Onda Quadrada e Dente-Serra

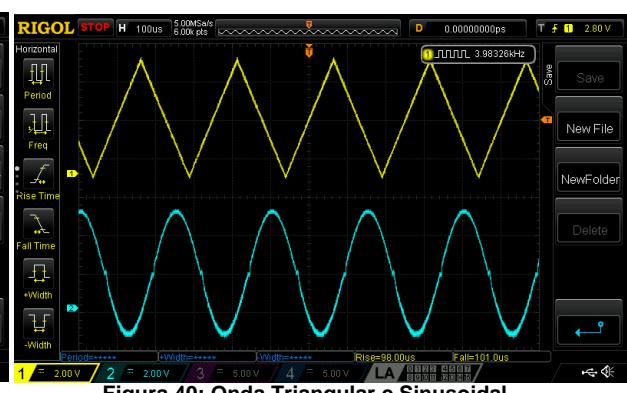


Figura 40: Onda Triangular e Sinusoidal

Destacam-se estes quatro tipo de ondas, considerando que são o padrão da maioria dos sinais usados com os circuitos electrónicos, sendo possível obter todos os outros a partir de um deles.

2.3.6. Frequencímetro



Figura 41: Frequencímetro

realização das tarefas do electrotécnico mais facilmente.

O Frequencímetro, conforme o seu nome indica, ajuda a determinar o frequência do sinal com que se está a lidar. Ele determina o número de vezes que o evento (sinal) se repete durante um segundo. Durante a sua utilização temos de respeitar o método de acoplamento ao sinal a analisar de forma a não influenciar o mesmo.

Pode-se considerar que a presença de um osciloscópio substitui na totalidade o frequencímetro mas a combinação de ambos ajuda à

2.3.7. Fonte de alimentação



Figura 42: Fonte de alimentação

A Fonte de alimentação é o aparelho que não pode faltar em qualquer laboratório de electrotecnia. Ela serve para assegurar o fornecimento da tensão necessária para a alimentação dos circuitos ou aparelhos em teste. Há “fontes” dos mais variados aspectos e qualidade, sendo, no entanto, um bom critério para a sua escolha que ela tenha uma leitura rápida do seu estado de funcionamento quer para a “tensão” quer para as “correntes”. A simetria é também muito importante, pois há por vezes necessidade de trabalhar com tensões negativas e positivas. É vulgar as fontes possuírem duas saídas de 0-32VDC e uma de 5VDC todas elas independentes, pois permite fazer face a grande parte das necessidades, associando, para isso, as saídas em paralelo, série ou como independentes. Hoje em dia há módulos a preços acessíveis que regulam a tensão de 0 a 50VDC suportando correntes que podem variar de 3Amp até aos 15Amp.

é o aparelho que não pode faltar em qualquer laboratório de electrotecnia. Ela serve para assegurar o fornecimento da tensão necessária para a alimentação dos circuitos ou aparelhos em teste. Há “fontes” dos mais variados aspectos e qualidade, sendo, no entanto, um bom critério para a sua escolha que ela tenha uma leitura rápida do seu estado de funcionamento quer para a “tensão” quer para as “correntes”. A simetria é também muito importante, pois há por vezes necessidade de trabalhar com tensões negativas e positivas. É vulgar as fontes possuírem duas saídas de 0-32VDC e uma de 5VDC todas elas independentes, pois permite fazer face a grande parte das necessidades, associando, para isso, as saídas em paralelo, série ou como independentes. Hoje em dia há módulos a preços acessíveis que regulam a tensão de 0 a 50VDC suportando correntes que podem variar de 3Amp até aos 15Amp.

Agregando um módulo destes com transformador, fica-se com uma fonte de alimentação a baixo custo e capaz de efectuar frente a um número elevado de necessidades para qualquer circuito.

2.4. Check Point

2.5. Avaliação

2.5.1. Multímetro

Nº:	Questão:	V	F
1	Os multímetros analógicos eram mais exactos nas medidas porque tinham uma impedância interna mais baixa que os multímetros digitais.	X	
2	É mais fácil trabalhar com o multímetro analógico porque não requer cuidados especiais com os aparelhos onde se realizam a medidas.	X	
3	O multímetro digital é um bom amigo do técnico porque lhe poupa o trabalho de seleccionar a escala, uma vez que tem escalas automáticas.	X	

Tabela 6: Avaliação multimetro

2.5.2. Osciloscópio

Nº:	Questão:	V	F
1	Os osciloscópios são muito úteis mas as suas dimensões actuais tornam-os pouco versáteis.	X	
2	O preço do osciloscópio depende da frequência que conseguem medir e do número de pontas de prova que possuem	X	
3	Os osciloscópios modernos têm a desvantagem de não possuirem calha em redor do seu ecrã, para possibilitar a recolha de imagens fotográficas.	X	

Tabela 7: Avaliação osciloscópio

2.6. Proposta trabalho

- ⇒ Procurar na web um circuito baseado no integrado ICL8038.
- ⇒ Procurar na web dados sobre multímetros da “AVOMETER”

2.7. Desafio para Fórum

3. Circuito Impresso e Solda

3.1. Resumo

Sendo quase sempre relegadas para segundo plano, as placas de circuito impresso revelam-se de extrema importância. Afinal, é lá que são implementados os componentes electrónicos, fixados por diversos métodos de soldadora.

3.2. Teste de diagnóstico

Nº: Questão:

- 1 Qual o ponto eutéctico da mistura para soldar?
Aproximadamente 183º
- 2 Qual a percentagem de chumbo e estanho usada para o “estanho” de soldar?
63/37
- 3 Qual o ponto de fusão para o chumbo e estanho no seu estado normal?
232º para o estanho e 320º para o chumbo.
- 4 Quantas camadas aproximadamente pode conter um circuito impresso multicamada sem encarecer significativamente a sua produção?
De forma geral os fornecedores de PCB apresentam soluções para multicamadas até às 14 camadas.
- 5 Qual o nome da placas que permitem a construção de protótipos rapidamente sem necessidade de recorrer ao processo de soldar os componentes?
Protoboard ou Breadboard
- 6 Qual o nome da fita protectora a usar como protecção no processo de solda dos componentes de montagem “smd”.
Kapton poliamida
- 7 Qual a temperatura que as fitas kapton suportam?
As Kapton podem suportar temperaturas entre os -269 to +400 °C, mas de forma geral elas são indicadas para os sopros entre os 200º e os 300º

Tabela 8: Diagnóstico circuito impresso e solda

3.3. Recurso didático

Por norma os componentes electrónicos encontram-se implementados em placas de circuito impresso usando, para a sua fixação na placa, o estanho.

Existem placas desde as mais simples, de uma só camada (uma só face), até às mais complexas, que chegam a atingir mais de 26 camadas.

Pode-se considerar regra comum que qualquer fabricante de PCB (Printed Circuit Board) tem no seu site a possibilidade de encomendar placas até 14 camadas com os mais diversos acabamentos: verde, azul, dourado, etc...

A interligação das camadas que constituem a placa é realizada por furos metalizados que podem servir simultaneamente para receber os pinos dos componentes. Este processo contribuiu em muito para a minimização dos circuitos electrónicos, devido ao facto de se poder cruzar pistas nos vários níveis.

Para se remover ou implementar componentes na placa de circuito impresso, temos de recorrer a aparelhos de soldar cuja função é a de levar o estanho ao seu ponto de fusão para que este se ligue aos componentes a soldar. Nos dias de hoje, o uso do ferro de soldar vai ficando limitado porque a maior parte dos componentes são já em SMD, o que implica, obrigatoriamente, o uso de pistolas de ar quente ou forno.

Mostram-se, de seguida, alguns aparelhos que se podem utilizar para proceder à substituição de componentes implementados em placas de circuito impresso.



Figura 43: Pinça para usar em componentes de dois pontos de solda.

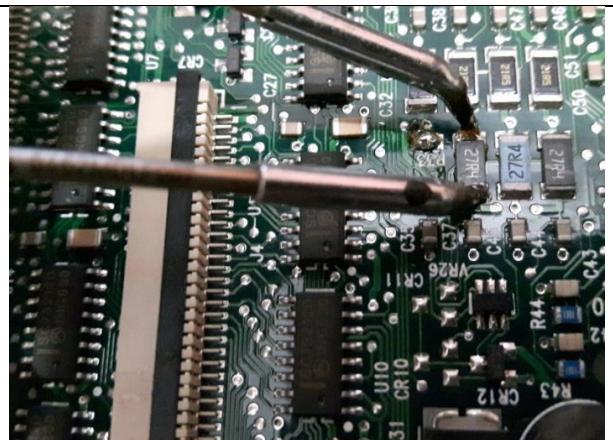


Figura 44: Método aplicação da pinça



Figura 45: Pistola com bomba de sucção

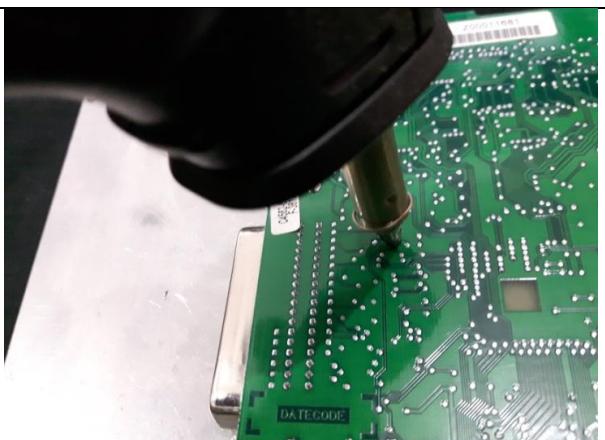


Figura 46: Uso pistola sucção.



Figura 47: Ferro com pontas permutáveis.



Figura 48: Uso ferro para solda ponto a ponto.

No grupo de fotos acima focaram-se ferros precisos em termos de temperatura e de pontas permutáveis, destinados a usar em circuitos electrónicos mais frágeis. Há, no entanto, situações em que o uso de ferros de precisão não é eficaz, existindo, para isso, os ferros tradicionais que não requerem tanto cuidado no seu manuseamento.



Figura 49: Pistola sucção S7000.



Figura 50: Ferro JBC 30 Watts



Figura 51: Ferro JBC 70 Watts



Figura 52: Ferro JBC 14 Watts

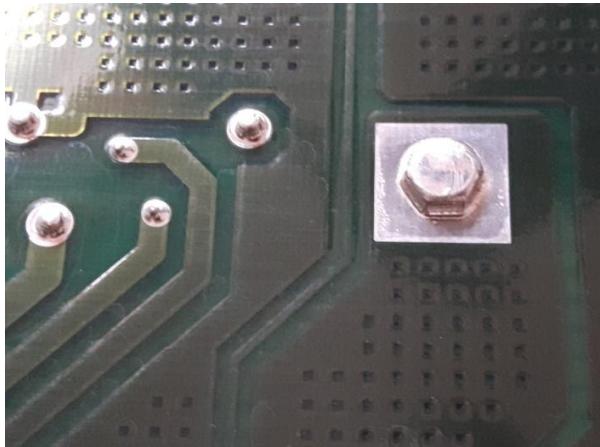


Figura 53: Exemplo de um ponto de solda que requer um ferro robusto.



Figura 54: PCB

Nos dois exemplos, acima, de CI (circuito impresso) com diferentes densidades de ocupação, é clara a necessidade de uso de ferros com potências adaptadas à placa

com que se está a trabalhar, de forma a não deteriorar a placa com o excesso de temperatura.

Na remoção do parafuso da Figura 53, que se encontra ligado a um dissipador no lado oposto, implica o uso de uma potência elevada para o sucesso da operação. Seria, no entanto, impensável o uso do mesmo ferro na placa da Figura 54 pois levaria à sua deterioração.



Figura 55: Pistola de ar quente (<450º)

temperaturas bastante elevadas.

Como já havia sido referido, actualmente, o uso do ferro de soldar está em desuso nas placas de circuito impresso, uma vez que estas estão repletas de componentes SMD. Assim, para o manuseamento dos seus componentes, torna-se obrigatório o uso de pistolas de ar quente. Este processo de soldar e dessoldar, obriga a que os outros componentes em redor sofram, também eles, temperaturas elevadas. Para o minimizar, usam-se fitas protectoras do tipo Kapton de Poliamida resistente a altas temperaturas. Ainda assim os progressos têm sido imensos havendo já plásticos usados em conectores de superfície que suportam

A solda usada no processo de colocação de componentes, é uma solda em pasta aplicada com uma seringa de forma a dosear a quantidade necessária para o componente a soldar. A pasta ao ser submetida à temperatura estabelecida deixa evaporar a suspensão e as pequenas partículas de estanho passam ao estado líquido ligando-se aos componentes que se pretendem estanhear.

O fio de estanho a usar com pontas de ferro de soldar é normalmente constituído por uma mistura de 63/37 (Estanho/Chumbo) e ainda um núcleo de resina para ajudar no fluxo térmico e aderência. Esta mistura cria um ponto eutéctico que ronda os 183º facilmente alcançável com um ferro de soldar tradicional.

Estanho	Valor atómico: 50	Grupo: 14	Símbolo : Sn	Fusão: 232º
Chumbo	Valor atómico: 82	Grupo: 14	Símbolo : Pb	Fusão: 320º

Tabela 9: Pontos fusão para o estanho e chumbo



Figura 56: Termómetro digital (pistola)

O processo de soldar e dessoldar não obedece a um padrão único, sendo necessário proceder à análise caso a caso, levando para isso em linha de conta a temperatura ambiente, a temperatura dos componentes a soldar, a dimensão das superfícies, etc... Para ajudar nesse processo alguns ferros têm a monitoria constante da temperatura na sua extremidade por meio de uma sonda bimetálica. Quando tal não sucede é recomendável que se use uma ferramenta de medição térmica para se conseguir determinar um padrão, estabelecendo a partir daí uma percentagem superior e inferior para uma utilização constante.

A criação de protótipos requer uma capacidade de criação rápida de placas de circuito impresso,. Dependendo do circuito pode-se fazer uso de corrosão por processo químico ou gravação por CNC, mas para situações de circuitos simples o uso de uma protoboard da Figura 57 por vezes é quanto basta.

Estas pequenas placas constituídas por pequenos furos que recebem directamente os pinos dos componentes dão uma liberdade de condições de teste aceitável tornando o seu uso muito fácil e prático.

Existem em várias formas e com diferentes números de contactos. Na que se expõe como exemplo, o seu número é de 830 contactos, possuindo de cada um dos lados do friso central, uma linha de 5 contactos ligados entre si, conforme se pode visualizar na Figura 58. Temos então 63 linhas com 10 contactos (5 de cada lado) e 2 grupos de colunas de contactos laterais destinados às alimentações com 10 grupos de 5 contactos por coluna, perfazendo um total de 200 pontos, o que dá os 830 contactos.

Estas placas são versáteis e úteis quando se lida com sinais, não se podendo exigir capacidade para suportar correntes elevadas. É igualmente recomendável que não se faça uso de componentes com pinos mais grossos do que a dimensão dos furos da placa, pois isso contribuiria para que os contactos ficassem lassos e levassem a mau desempenho da placa nas utilizações posteriores.

Caso seja necessário a inserção de componentes com os pinos mais grossos, sugere-se o estanhar, na ponta do componente, um fio mais fino, evitando assim o deteriorar da protoboard.

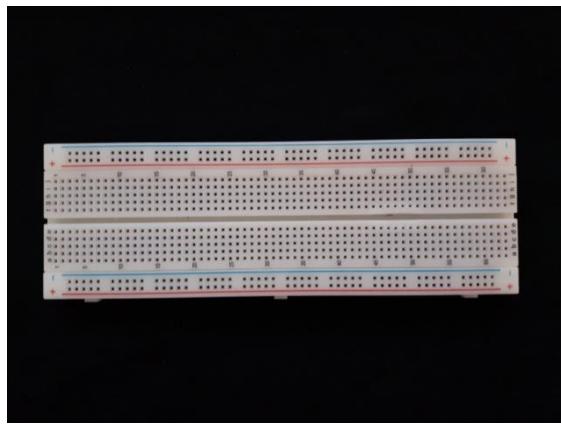


Figura 57: Protoboard de 830 contactos

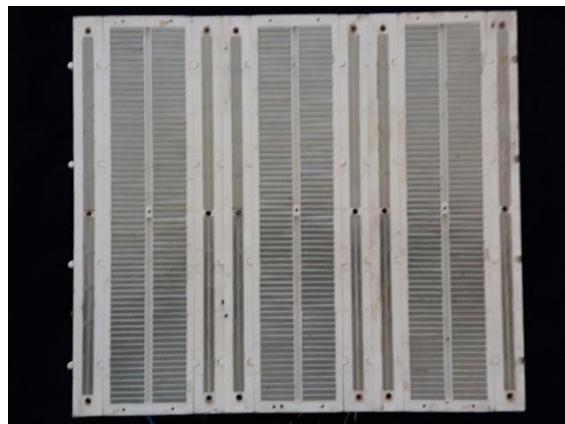


Figura 58: Vista inferior dos contactos de 3 placas protoboard lado a lado

A protoboard da Figura 57 possui as colunas em continuo, já na Figura 58, elas são interrompidas ao meio.

3.4. Check Point

3.5. Avaliação

3.6. Proposta trabalho

- ⇒ Fitas Kapton de Poliamida: Realizar procura na Web sobre a sua utilização e as dimensões comercializadas.

- ⇒ Fornos de solda para componentes SMD.

- ⇒ Consulta na WEB de fabricantes de placas de circuito impresso de forma a verificar as ofertas actuais, exp (PCBWay).

3.7. Desafio para Fórum

4. Sentido da corrente

4.1. Resumo

Sendo o sentido das correntes um tema que suscita muitas dúvidas, dá-se aqui alguma atenção por forma a que o formando conheça a razão da existência dos “sentidos”, Convencional e Real.

4.2. Teste de diagnóstico

4.3. Recurso didático

É frequente o uso do termo “Sentido convencional” e “Sentido real” da corrente. Importa compreender como se chegou a este diferendo de sentido real e convencional. Para isso, ajuda pensar que se deve à ideia de dois recipientes ligados na sua base por um tubo que permita o fluxo do líquido entre ambos, o que

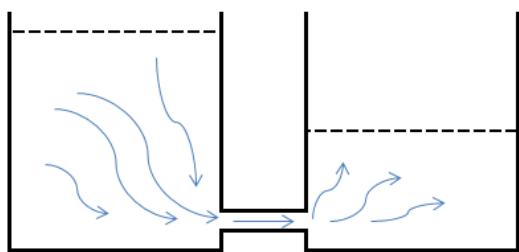


Figura 59: O "+" líquido cede ao "-"

sucederá, caso os níveis sejam diferentes. O equilíbrio do nível do líquido dá-se por acção da gravidade, levando a que o recipiente com mais (+) líquido ceda o seu conteúdo para o que tem menos (-) até se alcançar o equilíbrio em ambos os recipientes. Foi esta a ideia que conduziu ao “+” e “-” do Sr. Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (Italian:18 February 1745 – 5 March 1827) {https://en.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta} a quem devemos a invenção da “pilha eléctrica”.

Hoje em dia sabe-se que ao nível do átomo os acontecimentos não se passam dessa forma mas como na análise de circuitos eléctricos pelo método das malhas, o sentido da corrente é irrelevante, pode-se usar o sentido real ou convencional, convivendo-se, assim, com ambas as convenções.

Afinal o que sucede no sentido real é que os átomos, sendo constituídos por protões e neutrões e tendo nas órbitas em seu redor electrões, electrões esses que quando sujeitos a um potencial eléctrico têm tendência a soltar-se da sua órbita e seguirem todos na mesma direcção, permitindo assim o fluxo da corrente eléctrica.

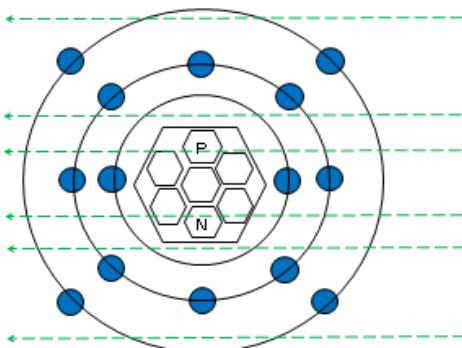


Figura 60: 3 camadas (K, L, M) do Átomo de Silício

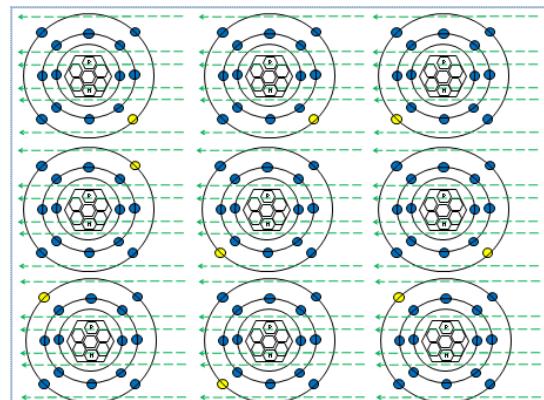


Figura 61: Átomos de silício com lacunas

Na Figura 60 é possível observar a constituição do átomo de silício, o seu núcleo é constituído por um aglomerado de protões e neutrões e possui várias órbitas em seu redor (o silício tem 3 órbitas, K, L, M) chamadas de camadas de valências, designadas normalmente pelas letras K, L, M, N, O,... onde se dá especial destaque à camada mais externa que possui, no caso do silício, 4 electrões em órbita. São esses electrões que se desprendem quando o átomo é sujeito a uma diferença de potencial e como eles, os electrões, possuem uma carga negativa fica demonstrado o sentido real da corrente.

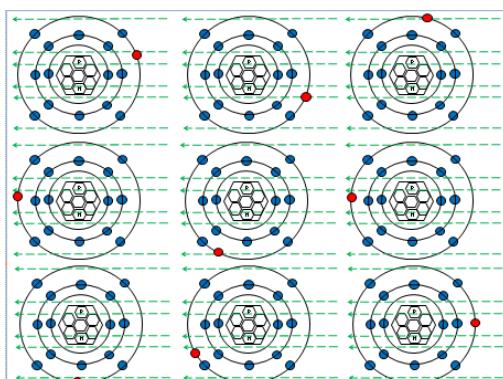


Figura 62: Silício com fósforo para mais um electrão (channel N)

Na construção de semicondutores usa-se um processo de “dopagem” (ver semicondutores) que consiste em remover ou adicionar um electrão, o que leva a que o átomo receba ou ceda um electrão para o átomo mais próximo, garantindo assim a simplificação do processo. Os materiais bons condutores possuem de 1 a 3 (o cobre possui 1) electrões na camada mais externa, também chamada camada de valência. Os que possuem 4 electrões na camada externa, são já materiais semicondutores Intrínsecos. Quanto maior a energia do electrão maior será o seu raio de distância ao núcleo.

4.4. Check Point

4.5. Avaliação

4.6. Proposta trabalho

4.7. Desafio para Fórum

5. Condutores e Isoladores

5.1. Resumo

Só a combinação de bons condutores e bons isoladores asseguram um circuito eléctrico que cumpra a função para a qual é construído. Torna-se, assim, necessário que se saibam agrupar estes materiais nas respectivas famílias.

5.2. Teste diagnóstico

5.3. Recurso didático

Podem-se classificar os materiais segundo o seu comportamento quando sujeitos a uma diferença de potencial eléctrico. Assim, podemos classificar como três grupos principais, “Condutores”, “Isoladores” e “Semicondutores”, sendo este último grupo merecedor de um capítulo só para si, pois são estes materiais que estão presentes nos semicondutores usados no mundo da electrónica.

A unidade do Sistema Internacional em que é medida a condutividade dos materiais é o “Siemens” por metro.

Perante uma imensidão de materiais em estado sólido, líquido e gasoso vamos apenas citar alguns exemplos de conhecimento geral.

Material	Resistividade R($\Omega \cdot m$)	Coeficiente Temp a 20 C°
Prata	$1,58 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Alumínio	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Ferro	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,0065
Carbono (grafite)	$(3-60) \cdot 10^{-5}$	-0,0005
Germânio	$(1-500) \cdot 10^{-3}$	-0,0500
Silício	0,1 - 60	-0,0700
Vidro	$10^9 - 10^{12}$	
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$	

Tabela 10: Resistividade algumas matérias

Na Tabela 10, encontram-se o Silício e o Germânio, dois dos materiais que são os principais componentes usados na construção dos semicondutores após a dopagem (consiste no adicionar ou remover de lacunas) e serão aprofundados nos “semicondutores” e “sentido da corrente”.

Deixamos de fora as matérias em estado líquido e gasoso porque tornaria a tabela extensa. No entanto, todos nós já constatámos ou ouvimos dizer que a água e a electricidade não se dão bem. Quem não deixou já que as pilhas da calculadora ou do brinquedo se “babasse” levando à corrosão dos contactos que ligam à pilha? Isso será por si só um garante do comportamento eléctrico de matérias que não são classificadas como condutores.

No grupo dos isoladores podemos pensar na borracha e no plástico que são normalmente as matérias usadas nas extensões eléctricas lá de casa para cumprirem a tarefa de isolamento eléctrico dos fios que constituem a extensão.

5.4. Check Point

5.5. Avaliação

5.6. Proposta trabalho

5.7. Desafio para Forum

6. Componentes

6.1. Resumo

As famílias dos componentes electrónicos é muito vasta e está em constante evolução. Neste capítulo, pretende-se dar a conhecer algumas famílias que são as de uso mais geral: resistência, condensador e bobine.

6.2. Teste de diagnóstico

Nº: Questão:

- 1 O condensador ideal tem a sua impedância próximo do infinito, quando se encontra totalmente carregado ou sem carga?
Totalmente carregado.
- 2 O condensador é comparável a um curto-circuito quando totalmente descarregado?
Sim, o condensador é comparável a um curto quando descarregado
- 3 O condensador não consome energia?
O condensador ideal não consome energia, armazena-a e devolve-a ao circuito onde está inserido.
- 4 A bobine não consome energia?
A bobine ideal não consome energia, armazena-a e devolve-a ao circuito onde está inserida.
- 5 O método de armazenar energia da bobine é na forma de um campo magnético.
Sim, a bobine quando atravessada por corrente, cria um campo magnético que pode voltar a criar um campo eléctrico.
- 6 A forma de o condensador armazenar energia na forma de um campo eléctrico?
Sim o campo eléctrico é armazenado nas placas que constituem o condensador.
- 7 A resistência ao contrário do condensador e da bobine, consome energia?
Sim, a resistência consome energia dissipando-a em forma de calor.
- 8 Pode-se considerar a bobine e o condensador como antítese um do outro?
Sim, a bobine e o condensador têm comportamentos eléctricos opostos, já que em uso, um provoca sobretensões e o outro sobreintensidades.
- 9 A unidade de medida para a bobine é?
A grandeza que determina o valor da bobine é o Henry.
- 10 A unidade de medida para o condensador é?
A grandeza que determina o valor do condensador é o Farad.

Tabela 11: Diagnóstico de componentes

6.3. Recurso didático

6.3.1. Resistência

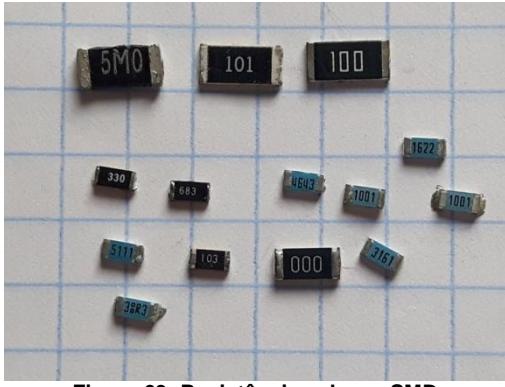


Figura 63: Resistências planas SMD

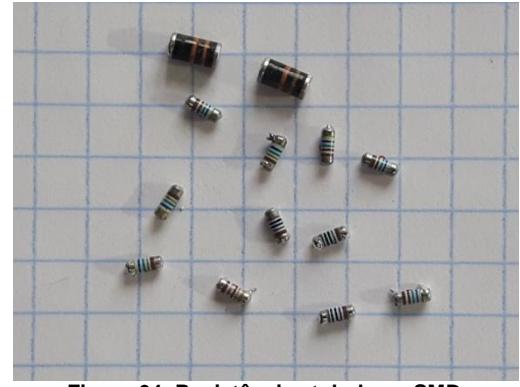


Figura 64: Resistências tubulares SMD

Na Figura 63 e Figura 64 é possível observar várias amostras de tipos de resistências “SMD”. Nas planas os valores directos ou múltiplos da sua impedância estão escritos fazendo uso dos números 0-9 onde pesa o valor do algarismo e a posição do mesmo. Já nas tubulares os seus valores podem-se obter interpretando o código de cores dos vários círculos em redor do tubo sendo também importante a posição do círculo em redor da R.

Existem resistências de um sem número de formatos: lisas, redondas, bobinadas, de pequenas dimensões, de grandes dimensões,... as aqui mostradas e as mostradas no capítulo do "SI" são uma pequena amostra das formas físicas possíveis de encontrar nos circuitos.

Cor	Valor	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Preto	0	0	0	10^0	
Castanho	1	1	1	10^1	1%
Encarnado	2	2	2	10^2	2%
Laranja	3	3	3	10^3	
Amarelo	4	4	4	10^4	
Verde	5	5	5	10^5	
Azul	6	6	6	10^6	
Violeta	7	7	7	10^7	
Cinza	8	8	8	10^8	
Branco	9	9	9	10^9	
Ouro	5%				5%
Prata	10%				10%

Tabela 12: Código de cores

Na Tabela 12 podemos encontrar o código de cores que nos permite conhecer o valor da R, sendo este o código para 4 cores, onde o 1º e o 2º dígito têm o valor real da cor usada. Já o 3º determina o múltiplo a aplicar ao valor relativo aos dois primeiros algarismos, sendo que a 4ª cor determina a precisão da R.

De notar que esta tabela é para o código de 4 cores, existindo tabelas para 5 e 6 cores, onde a principal diferença reside na cor de factor multiplicação que passa da 3^a casa para a 4^a casa, aparecendo, assim, mais um dígito para definição do valor

ohmico. Esta alteração torna possível ter uma resistência com 112×10^5 1% o que resulta em $11,2\text{M}\Omega$ especificando, assim, o valor até à 3^a casa.



Figura 65: Resistências variáveis e potenciômetros de vários formatos

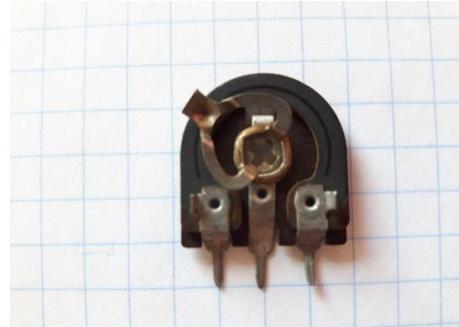


Figura 66: Aspecto da superfície e do cursor de uma resistência variável

A resistência eléctrica (normalmente designada pela letra “R”) é a medida atribuída à oposição do movimento das cargas, podendo-se dizer que ela representa a dificuldade que as mesmas se deparam para se movimentar num condutor eléctrico que lhe oferece resistência. Quanto maior a mobilidade das cargas, menor a resistência eléctrica do condutor.

A resistência é um componente eléctrico que respeita a lei de “Ohm”. Posteriormente veremos que existem outros componentes que não obedecem a esta lei.

Vamos, em primeiro lugar, abordar a lei de “Ohm” para ser mais fácil de entender os exercícios que se lhe seguirão.

Primeiro que tudo há que saber que esta lei deve o seu nome ao físico alemão Georg Simon Ohm (1789-1854) {wikipedia.org/wiki/Georg_Simon_Ohm} que foi o seu formulador e que consiste numa relação directa entre a diferença de potencial (Volts), resistência do circuito (Resistance) e a intensidade da corrente (Amper) que percorre o circuito.

$$V = R * I$$

$$I = V / R$$

$$R = V / I$$

Equações 2: Fórmula que relaciona o I, V e o R

Assim, podemos, desde que se conheçam duas das grandezas no circuito que se pretende analisar, obter matematicamente o terceiro valor aplicando a lei de Ohm (Figura 71: Formulário da Lei Ohm).

Vamos a alguns exemplos:

Observando o circuito eléctrico da figura e considerando uma fonte de tensão DC (ver fonte alimentação) com uma tensão aos seus terminais de saída de 10 Volts, podemos testar a aplicação das fórmulas acima descritas para chegarmos ao valor da corrente que circula no circuito. Assim: $I = V_1 / R_1$, onde o V_1 são os 10VDC e o R_1 é de 100 ohms

Obtemos 0.1 Amp, ou convertendo para miliamperes: 100mA.

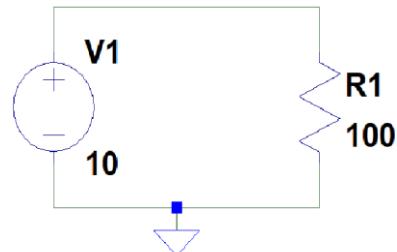


Figura 67: Circuito fonte DC 10V e Rload 100Ω

Observe a figura e determine, fazendo uso da lei de Ohm, qual a diferença de potencial que é aplicada aos terminais da resistência sabendo que a corrente I fornecida pela fonte ao circuito é de 0,5Amp?

$$0.5 \times 22 = 11 \text{ Volts}$$

Qual seria a tensão se no lugar de R_{22} fosse usada uma resistência de 68 ohms?

$$0.5 \times 68 = 34 \text{ Volts}$$

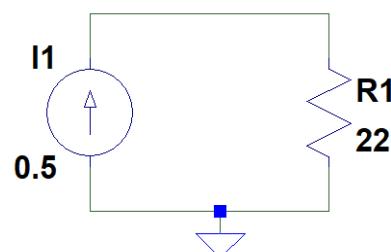


Figura 68: Fonte de corrente e Rload de 22Ω

Observe a figura e determine fazendo uso da lei de Ohm, qual terá de ser o valor da resistência R_1 para que verifique uma corrente de 0,04Amp com uma tensão de fonte de 48VDC?

$$48 / 0.04 = 1200 \text{ Ohms}$$

Qual seria o valor de R_1 para uma corrente de 857μAmp?

$$48 / 0.000857 = 56 \text{ K}\Omega$$

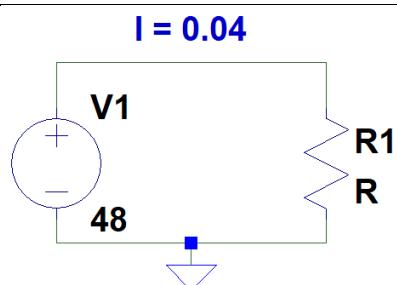


Figura 69: Fonte 48VDC e R?

Na figura ao lado, está um exemplo do uso de resistências em série e em paralelo, como se pode ver a R1 e a R2 encontram-se em série(uma a seguir à outra), já a R3 e R4 estão em paralelo(pino com pino). Há formulas que nos ajudam na determinação do circuito equivalente para estas situações quer se trate de R(resistência), C(condensador) ou L(bobine).

Série

Paralelo

$$(a) \quad R_1 + R_2 = R_{eq} \quad 1/(1/R_3)+(1/R_4)=R_{eq}$$

$$(b) \quad (R_3+R_4)/(R_3 \cdot R_4)=R_{eq}$$

Equações 3: Fórmulas Série e paralelo

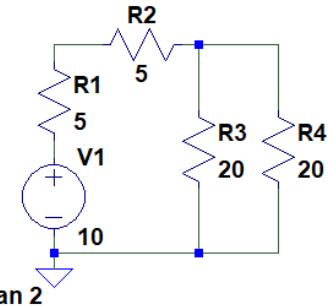


Figura 70: Resistência em série e paralelo.

Fazendo uso das fórmulas presentes em Equações 3 é possível determinar o valor equivalente que resulta destes modos de associação(paralelo e série). No caso das resistências em série é a aplicação directa da adição. Já nas resistências em paralelo, há a possibilidade de escolher uma das duas fórmulas sugeridas. Se se tratar de um paralelo só com duas R pode-se fazer uso de (b). No caso de se tratarem de mais do que duas resistências em paralelo já só funciona a (a).

Os condensadores em paralelo fazem uso da fórmula “série”, adicionam-se as capacidades, já quando em série fazem uso da fórmula para o “paralelo”.

As bobines fazem uso da fórmula do “paralelo” quando em paralelo e da fórmula em “série” quando em série. Basta lembrar que, se a bobine tem uma resistência associada então, segue as fórmulas aplicadas à associação das resistências.

Uma das grandezas associada às resistências é a sua potência (Watts) {James Watt (1736–1819)} { wikipedia.org/wiki/James_Watt}. Ela é importante pois se a resistência não possuir capacidade de dissipaçāo do calor que resulta ao ser atravessada por uma corrente eléctrica, maior do que aquela para a qual foi concebida, provocará a sua deterioração ou mesmo destruição total.

Perante isto, pode-se afirmar que a resistência dissipá (converte) intensidade eléctrica em calor.

Existem, portanto, fórmulas que relacionam esta grandeza com a lei de Ohm e são expressas pelas fórmulas que se seguem onde o P (potência) representa o W (watt) que é a letra adoptada para a potência no SI em honra do seu formulador:

$$R = P / I^2$$

$$P = V^2 / R$$

$$P = I^2 * R$$

Equações 4: Fórmula para relacionar Watt(P), V e I.

Para os circuitos da Figura 68, Figura 69 e Figura 70, onde foi usada a lei de Ohm na obtenção dos valores em falta, aplique as fórmulas acima para determinar a potência necessária para a R presente no circuito para a R calculada.

Figura 68	Cálculo de potência R(a): $(0.5^2)*22=5.5W$ ou $(11^2)/22=5.5W$	Cálculo de potência R(b): $(0.5^2)*68=17W$ ou $(34^2)/68=17W$
Figura 69	Cálculo de potência R(a): $(0.04^2)*1200=1.92W$ ou $(48^2)/1200=1.92W$	Cálculo de potência R(b): $((857^10^-6)^2)*56K=0.041W$ ou $(48^2)/56K=0.041W$
Figura 70	Cálculo de potência R(a): $(10^2)/20=5W$ ou $(0.5^2)*20=5W$	Cálculo de potência R(b): -

Tabela 13: Análise circuitos.

Há várias representações gráficas que tentam retratar de forma simples as principais fórmulas usadas no cálculo de tensões, correntes, potências e resistências. Deixa-se aqui uma representação das mais simples.

I =Intensidades ou Correntes (Amper)
V =Tensões ou “ddp” (Volts)
W =Potência,dissipação de energia (Watts)
R =Resistência (Ohm)

Ainda que não haja nenhuma convenção que obrigue o uso de W ou P, I ou A, de forma geral tende-se a uniformizar a representação destas grandezas.

$R*I^2$	V^2/R	$R*I$	P/I
$V*I$	P	V	$\sqrt{P*R}$
$\sqrt{P/R}$	I	R	V/I
P/V	V/R	P/I^2	V^2/P

Figura 71: Formulário da Lei Ohm

6.3.1.1. Videos didáticos - Resistências

Tema:	Link:	Time:
R em Série	https://youtu.be/xnbsNfDNFhc	8:20
R em Paralelo	https://youtu.be/LXKMlv-jsAU	6:30
Divisor tensão	https://youtu.be/uuMEqH7gDuM	6:18
Divisor corrente	https://youtu.be/eHlfS8Uazaw	4:37
Potência (Watts)	https://youtu.be/EdiWDEljMqE	11:19

6.3.2. Condensador

Normalmente designado pela letra “C”, trata-se de uma família de componentes que tem um comportamento diferente quando sujeito a tensão contínua ou tensão alternada, sendo, por isso, o seu conhecimento um pouco mais trabalhoso do que a resistência, já que esta se comporta de forma semelhante quando sujeita aos dois diferentes tipos de tensão (VDC, VAC).

Existem condensadores construídos com diferentes métodos e diferentes tipos de materiais, pelo que os podemos classificar em grupos diferentes.

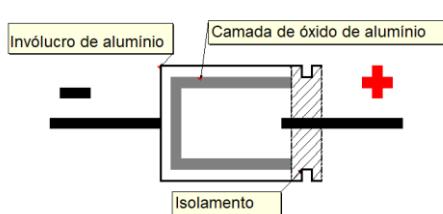


Figura 72: Componentes de um C electrolítico.

“explosão”. Devido a esse facto, os condensadores de cápsulas de alumínio, têm 2 rasgos (em forma de um X) na superfície do lado oposto aos pinos, para que se este for indevidamente polarizado, a ruptura se possa dar nesse ponto que foi propositadamente fragilizado para o efeito. Os electrolíticos de capacidades superiores possuem um furo vedado com borracha ou um selante na mesma face dos seus terminais. A aplicação dos electrolíticos destina-se a filtros de fontes de alimentação, áudio, conversores, estabilizadores, tudo o que requeira o armazenamento ou fornecimento de energia num instante de tempo curto.

Electrolítico: São condensadores que possuem polaridade, não podendo, por isso, a voltagem ser invertida nos seus terminais, ou seja o positivo (+) tem de estar como positivo do condensador e o mesmo para o negativo (-). Não respeitar esta regra leva à deterioração do condensador e, dependendo da sua capacidade e da corrente aplicada, pode levar à sua

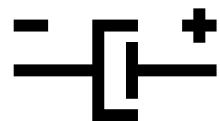


Figura 73: Símbolo de C electrolítico

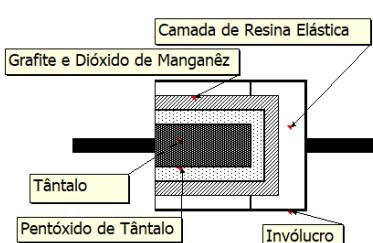


Figura 74: Camadas de um C de tantalô

Tantálio: São condensadores, que conforme o seu nome indica, fazem uso de tantalum na sua constituição, permitindo valores capacitivos próximos dos electrolíticos mas de dimensões mais reduzidas, o que é uma vantagem significativa quando se pensa na minimização. Inicialmente eram dispendiosos, não só pelas matérias primas usadas mas também pelos processos de fabrico. Actualmente já apresentam custos competitivos.

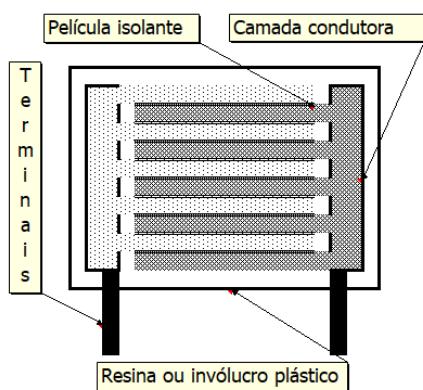


Figura 75: C de Poliéster (Película ou filme)

Cerâmico: Devem o seu nome ao facto de serem inicialmente construídos sobre um disco isolador cerâmico ou de porcelana onde se aplicava uma camada condutora em cada face do disco. Posteriormente, foram envoltos em resina ou tinta isolante de forma a evitar os arcos que se criavam nos extremos do disco cerâmico que era o ponto menos isolado, uma vez que a cerâmica ou porcelana são excelentes isoladores. Devido às suas características este tipo de condensador é indispensável para filtros passa-banda e processos que envolvam sintonia de sinais de frequências elevadas.

Poliester: Também por vezes designados de “filme”, consistem em duas extensas películas condutoras, intercaladas com outra película isolante. Cada terminal do C liga com uma dessas películas condutoras. O seu invólucro pode ser em resina ou plástico. Têm um custo que é proporcional à sua capacidade (Farad) e da tensão que são capazes de suportar.

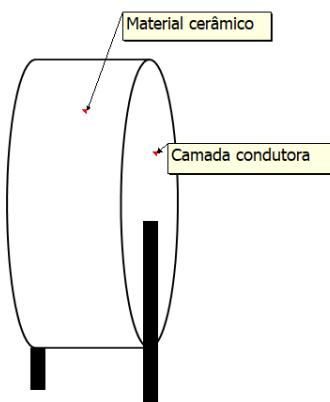


Figura 76: C cerâmico

O condensador é normalmente representado nos esquemas de circuitos eléctricos por duas barras paralelas, onde cada barra simboliza uma superfície condutora separada da superfície oposta por um dieléctrico que pode ser ar, poliéster, cerâmico, filme, ou outro. Quando estas duas superfícies são sujeitas a um potencial eléctrico de VDC as cargas que lá são depositadas têm a tendência para se juntarem ficando, assim, uma das placas com cargas negativas e a outra com cargas positivas.

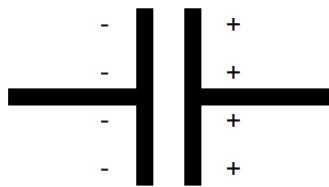


Figura 77: Campo eléctrico nas placas C

O condensador “ideal” após ficar com os seus terminais sujeitos a uma diferença de potencial (ddp) que lhe provoque uma carga (um campo eléctrico), seria capaz de a devolver na totalidade ao circuito onde está inserido. No entanto, isso não sucede porque o condensador tem sempre alguma perda durante os processos de carga e descarga. Pode-se pensar no condensador como sendo uma bateria de carga e descarga rápida que obedece a um processo de carga determinado pela sua capacidade em função da “R” que lhe fornece a carga. Esta constante entre ($R * C$) é denominada pela letra grega “Tau”. Vejamos a sua aplicação:

$$Q = C * V$$

$$T = C * R$$

$$W = (1/2) * C * V^2$$

Equações 5: Fórmula que relaciona a carga em C

Nas duas figuras que se seguem podemos observar que ao fim do 1º “tau” a tensão aos terminais de C_1 já atingiu 63% do valor total, sendo que nos restantes 4 “taus”, ele quase chega aos 100% uma vez que a totalidade da carga tende para o infinito.

Tudo o que foi dito para o processo de carga sucede de igual modo para o processo de descarga, atingindo, portanto, 63% de descarga ao fim do primeiro “tau”, descarregando na totalidade quando tende para o infinito.

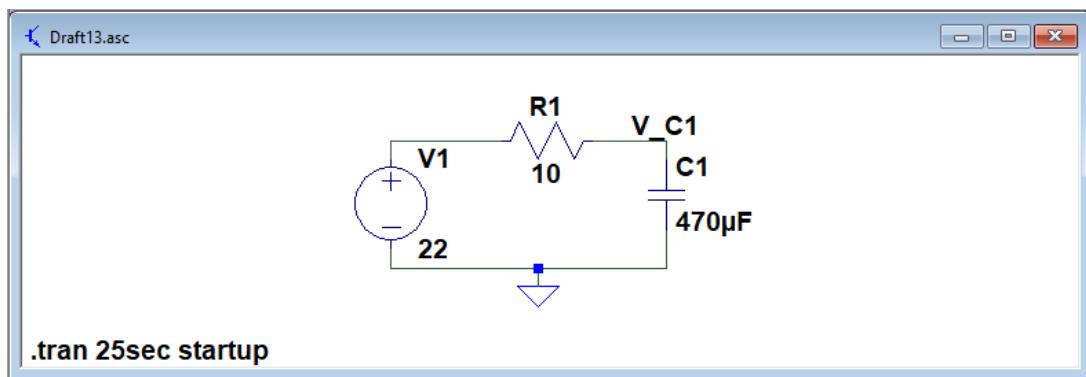


Figura 78: Fonte 22VDC para carga de C

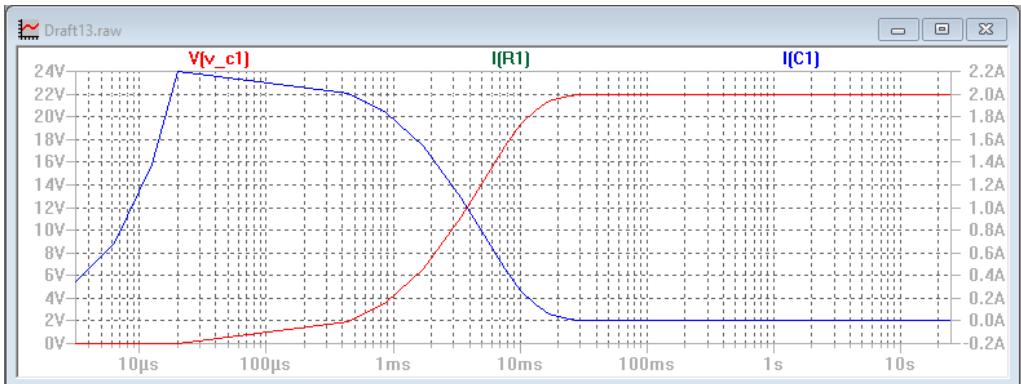


Figura 79: Plot da carga de C

Para entender o gráfico do processo de carga ou descarga do condensador é necessário fazer uso de alguma matemática. Por forma a conseguir compreender como se chega aos valores obtidos, fica uma ligeira exemplificação da sua origem:

Número de Nepper designado normalmente pela letra “e” tendo um valor aproximado de: 2.71828...	$(1/e) = 0.367879$ $(1-(1/e)) = 0.632121$	Lembrando a fórmula de carga de C, resulta de $R * C$ que designamos normalmente por “Tau”, significando 1/5 do processo de carga ou descarga
Para a obtenção de Volts em C (Vc) e em R (Vr) pode-se fazer uso das seguintes fórmulas: a) $Vc(t)=V*(1-e^{-(t/(RC))})$ b) $Vr(t)=V*(e^{-(t/(RC))})$ Equações 6: Fórmula para Vc e Vr	Como temos uma constante igual a $10 * 470 * 10^{-6} = 0.0047\text{Sec}$, substituindo em “t” e sabendo que o V é 22VDC	Pode-se constatar que no gráfico aos 4,7mSec o valor de Vc é igual a 13.9067. Já o Vr será de 8.09335. Realizando a sua soma, temos 22VDC

As utilizações do condensador são inúmeras, pois ele está presente em tudo o que são circuitos electrónicos, ainda que, por vezes, com uma função simplista como é disso exemplo, o supressor de ruído numa bobine de uma motorizada. Caso contrário elas, as motorizadas, impediam-nos de ouvir rádio no automóvel quando estivessem próximos.

Estão presentes na fontes de alimentação para ajudar a transformar a corrente alterna em corrente contínua, nos sintonizadores para em colaboração com as bobinas, ajudarem nas “Frequências intermédias” a sintonizar a estação de rádio, etc...

Os condensadores recebem a Intensidade (corrente) de 90° em avanço à tensão eléctrica, o que significa que antes de surgir alguma tensão aos seus terminais terá de surgir corrente em primeiro lugar. Ajuda a entender este facto se pensarmos no condensador totalmente descarregado como o equivalente a um “curto-círcito”.

Importa reter que um condensador sujeito a uma tensão contínua (findos os primeiros 5 tau's) é visto pelo circuito onde está inserido como se se tratasse de um componente em aberto!

Quando sujeito a corrente alternada ele mantém-se activo conduzindo à cadência da tensão que lhe chega isolando dessa forma a componente contínua que polariza o circuito mas permitindo a passagem da componente alternada!

O estudo destes dois comportamentos será abordado novamente no estudo sobre as fontes de tensão alternada e contínua.



Figura 80: Condensador variável sintonia (Radio portátil)

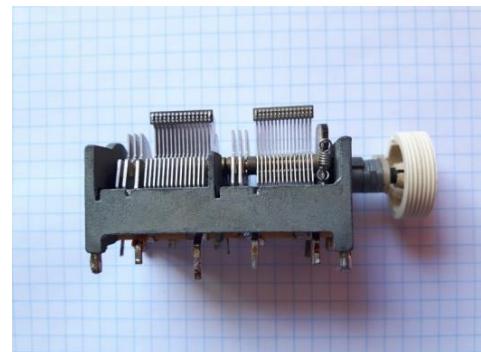


Figura 81: Condensador variável sintonia

O condensador quando sujeito a uma corrente alternada apresenta uma oposição à passagem da corrente denominada de reactância capacitiva. Deixa assim de fazer sentido falar em resistência para indicar essa oposição, passando a usar-se o termo impedância, que comporta o valor real e imaginário que resulta do vector da frequência.

Quanto mais elevada for a frequência ou a capacidade de C, menor será a oposição à travessia da corrente apresentada por C.

Para a determinação e manipulação da reactância capacitiva faz-se uso das seguintes fórmulas:

$$XC = 1 / (2 \pi f C) \quad C = 1 / (2 \pi f XC) \quad f = 1 / (2 \pi XC C)$$

Equações 7: Fórmula para cálculo de Hz, XC e C

6.3.2.1. Vídeos didáticos - Condensador

Tema:	Link:	Time:
C 1 – Introdução	https://youtu.be/U4fjYiT6dMY	6:37
C 2 – Placas Circulares	https://youtu.be/4eGVuTZS5kM	2:03
C 3 – Aparência e formas	https://youtu.be/3jauiSSlqyg	2:28
C 4 – Electrolíticos	https://youtu.be/TtOKGkLRwuY	6:36
O Condensador	https://youtu.be/KLy2AkWPFnU	29:40

6.3.3. Bobine

As bobines consistem num condutor eléctrico enrolado, podendo ou não possuir núcleo de material ferroso de forma a intensificar a permeabilidade do seu núcleo ao campo magnético que é gerado pela bobine quando esta é atravessada por uma corrente eléctrica.

À semelhança do condensador se a bobine fosse ideal ela seria capaz de devolver ao circuito onde está inserida a totalidade da corrente eléctrica que este lhe entregou para criar o campo magnético, mas como os condutores não são perfeitos há sempre perdas pelo efeito joule gerado pela resistência do próprio condutor de que é constituída a bobine, o que resulta algumas perdas de energia.

Ao contrário dos condensadores, as bobines, não são tão influenciadas pelos custos do seu processo de fabrico ou das matérias empregues. Por exemplo, uma bobine construída com núcleo de ferrite e condutor de alumínio, terá como principal diferença de uma bobine que use fio de cobre mas com o mesmo valor em Henry, as suas dimensões, já que o cobre tem uma permeabilidade superior ao alumínio.

O condutor que constitui a bobine é normalmente isolado com um revestimento de verniz de forma a permitir o enrolamento do fio em camadas sucessivas garantindo um bom isolamento entre estas. Há diversos vernizes de diferentes características para o isolamento de condutores usados em bobines, dando, por vezes, preferência à robustez mecânica e outras à resistência térmica.

As bobines estão presentes nos circuitos eléctricos com diversas funções, supressores de ruído, filtros, armazenamento de corrente na forma de campo magnético,etc...

Contrariamente ao Condensador que se aproxima do curto circuito quando a frequência a que é sujeito se encaminha para o infinito, a bobine aproxima-se do circuito em aberto quando está sujeita a uma frequência que tende para o infinito.

Pode-se afirmar que a bobine recebe a tensão eléctrica em avanço em relação à intensidade (corrente) eléctrica desfasadas de 90° .

Usa-se normalmente a frase: “ELI the ICE man” para ajudar a ver quem surge primeiro aos terminais do componente no ciclo de carga. Para descarga é o inverso. O “E” equivale ao V e, assim, podemos fixar que na bobine “L” o V está antes do I pois surge à esquerda do L. Já no “C” sucede o inverso. Em ambos os casos o

ângulo de desfasamento é de 90° positivos ou negativos consoante olhamos para a corrente ou para a tensão em primeiro lugar.



Figura 82: Bobine filtro de potência



Figura 83: Bobines Potência

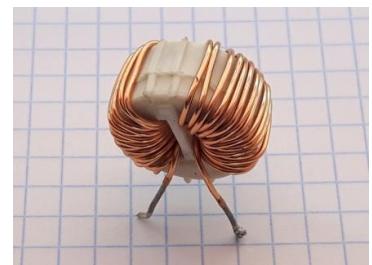


Figura 84: Bobine filtro

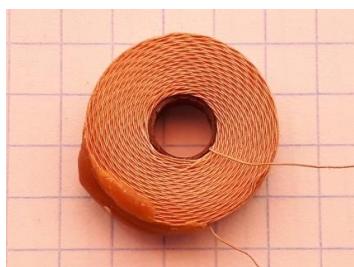


Figura 85: Bobine Sintonia

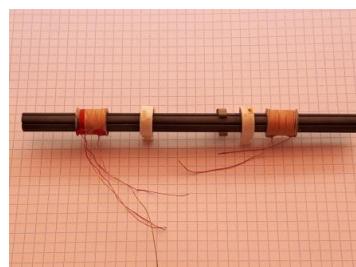


Figura 86: Bobine Sintonia



Figura 87: Bobine Choke

Nas figuras acima podem-se observar alguns exemplos de bobinas de potência e sinal. Inclusive uma de “ninho de abelha” (HONEY COMB WINDING) que foi um processo de bobinagem muito usado em bobinas destinadas a circuitos de sintonia de rádio.

O comportamento da bobine quando sujeita a uma tensão DC constante é próximo de um curto-círcuito, quando muito pode-se aplicar a lei de Ohm sobre a sua resistência que resulta do comprimento do fio que a constitui.

A bobine quando sujeita a uma corrente alternada apresenta uma oposição à passagem da corrente denominada de reactância indutiva. Deixa assim de fazer sentido falar em resistência para indicar essa oposição, passando a usar-se o termo impedância, que comporta o valor real e imaginário que resulta do vector da frequência.

Quanto mais elevada for a frequência ou a inductância de L, maior será a oposição à travessia da corrente apresentada por L.

Para a determinação e manipulação da reactância indutiva faz-se uso das seguintes fórmulas:

$$XL = 2 * \pi * F * L$$

$$L = XL / (2 * \pi * F)$$

$$F = XL / (2 * \pi * L)$$

Equações 8: Fórmulas usadas para a indutância

As bobinas estão para os condensadores como sendo a sua antítese uma vez que um condensador sujeito a frequências elevadas tende para um curto-círcuito, sendo que a bobine tende para um circuito aberto.

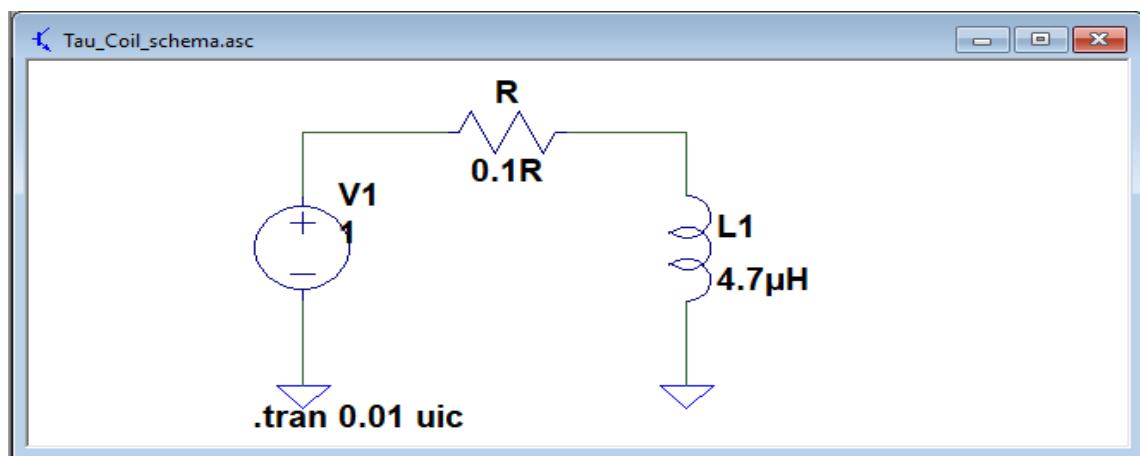


Figura 88: Circuito para observar carga de L

À semelhança do realizado com o condensador, também aqui se apresenta um pequeno esquema para tornar possível a observação do processo de carga de uma bobine (L). Usou-se uma fonte de 1 Volt, uma resistência de 0.1Ω e uma bobine de 4.7uH.

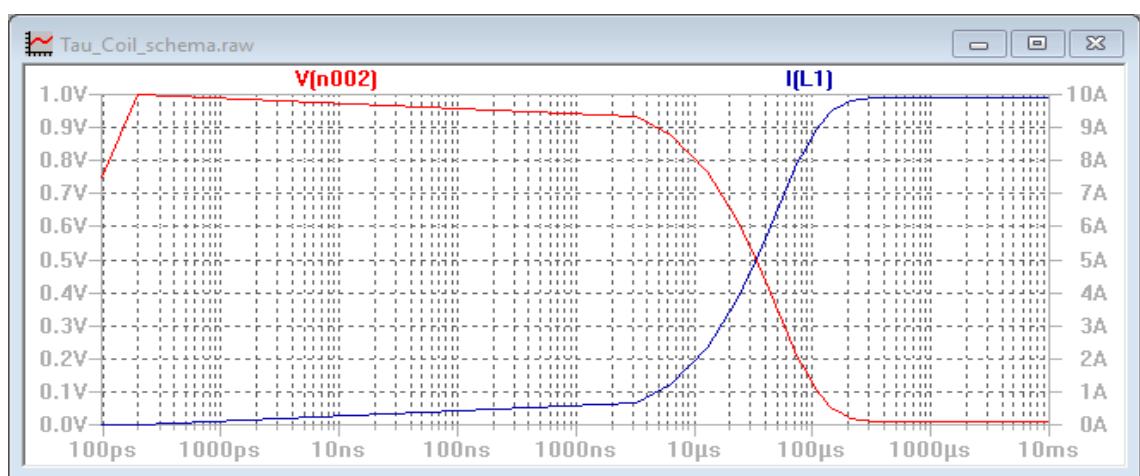


Figura 89: Observação da corrente na bobine

Pode-se constatar que, aproximadamente aos 47uSec, a corrente a circular pela bobine é de aproximadamente 6,3 Amperes.

Realizando uma abordagem ligeira da matemática que justifica o gráfico acima, temos:

Número de Nepper designado normalmente pela letra “e” e com um valor de ~ 2.71828	$(1/e) = 0.367879$ $(1-(1/e)) = 0.632121$	Lembrando a fórmula de carga de L, resulta de L / R que designamos normalmente por “Tau”, significando 1/5 do processo de carga ou descarga
Para a obtenção de Amp em L (iL) e em R (iR) pode-se fazer uso das seguintes formulas: a) $iL(t)=i*(1-e^{(-t/(L/R))})$ b) $iR(t)=i(e^{(-t/(L/R))})$ Equações 9: Fórmula para iL e iR	Como temos uma constante igual a $(4.7 \cdot 10^{-6}) / 0.1 = 47\text{uSec}$, substituíndo em t e sabendo que V é 1VDC	Pode-se constatar que no gráfico aos 47uSec o valor de V_c é igual a 6.3 Amp, já o iR será de 10Amp – iL

6.3.3.1. Vídeos didáticos – Bobine

Tema:	Link:	Time:
B 1 – Campo magnético	https://youtu.be/OW2-Rocbn1M	6:24
B 2 – Trabalho	https://youtu.be/6gIQWuDWCgw	7:53
B 3 – Transformador	https://youtu.be/2a7OTJTGU1U	5:47
B 4 – Sobretensão	https://youtu.be/PBdaQORP4S0	12:35
B 5 – Aparência e forma	https://youtu.be/2PlxT1GNo8s	12:49
A Bobine	https://youtu.be/DSGi1nYSnaU	17:54

6.3.4. Transformador

Na sua constituição mais simples, o transformador possui um primário e um secundário e como o próprio nome induz, as sua função é transformar algo. Neste caso é transformar a tensão da rede eléctrica num valor superior ou inferior através do processo de indução magnética.

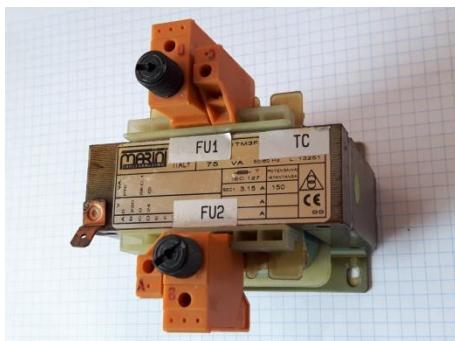


Figura 90: Transformador 24V 150VA



Figura 91: Transformador 12V 250VA

Os transformadores estão a ser substituídos por fontes de alimentação comutadas, na electrónica de consumo, por estas serem mais económicas e inclusive já fornecerem uma tensão regulada.

Um exemplo onde o transformador ainda vai mantendo a sua presença é nos micro-ondas onde está incumbido de transformar os 230 VAC da rede em 1200~1800VAC. Olhando para este valor, pode-se dizer que a sua relação de transformação será próxima de 1 X 8. Já quando se pretende reduzir a tensão de rede para, por exemplo, 9VAC se está próximo de uma relação de 1/25, pois ao dividir 230VAC por 25, obtemos o valor de 9,2VAC.

Há transformadores trifásicos, monofásicos, com um número variado de enrolamentos no secundário e há, até, transformadores com a relação de transformação de 1 para 1 com a finalidade de isolamento da rede eléctrica. A relação de transformação depende somente do número de espiras do primário e do secundário, sendo que as correntes dependem da espessura do cobre usado nos seus enrolamentos.

Os transformadores, vamos aqui considerar transformadores convencionais, possuem um núcleo de ferro macio laminado de forma a tornar o núcleo mais permeável ao campo magnético que é criado pela bobine ao ser atravessada pela corrente eléctrica. Há transformadores com um núcleo circular maciço, chamados transformadores “toroudais” que possuem mais imunidade ao ruído e maior rendimento. Quando eles surgiram eram mais dispendiosos porque o seu método de bobinagem era mais complexo do que os com o núcleo de lâminas com formato “E” e “I”. Hoje existem máquinas que produzem toroudais com eficácia e baixo custo

socorrendo-se de um método que consiste em enrolar primeiro o cobre numa calha circular, depois de colocada no meio do núcleo, passando-o depois dessa calha para o núcleo permitindo, assim, automatizar o processo da bobinagem numa forma eficaz.

Importa salientar que os transformadores só funcionam se no seu primário for aplicada uma tensão alterna ou pulsada, só havendo transferência de tensão entre bobinas se o campo magnético estiver a oscilar no primário criando um campo magnético que é induzido no secundário, sendo a frequência da tensão de saída no secundário igual à frequência aplicada no primário.

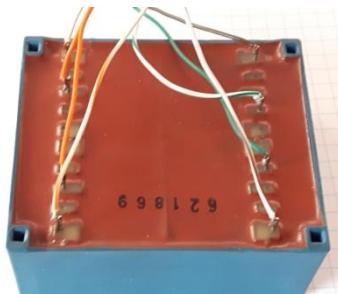


Figura 92: Base TR 15-0-15



Figura 93: Topo TR 15-0-15



Figura 94: Base TR 2 x 18



Figura 95: Topo TR 2 x 18

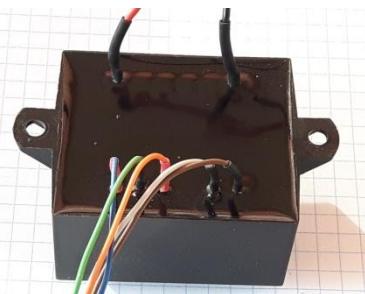


Figura 96: Base TR 9-0-9 e 18

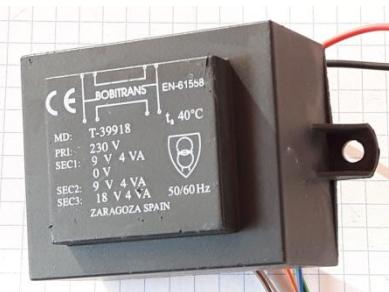


Figura 97: Topo TR 9-0-9 e 18

Alguns exemplos da informação presente no transformador sobre tensões de primário e secundário e das suas correntes estão representados nas Figuras acima.

Fica de fora a abordagem de transformadores destinados aos sistemas sonoros e ainda os transformadores de impedância (TI) que são, por exemplo, usados para recolhas de medidas de intensidade pelo método não invasivo.

Ainda que os transformadores trifásicos não sejam um tema aqui abordado fica a nota sobre as correntes e tensão quando ligados em estrela ou em triângulo, uma vez que esta informação se aplica a qualquer valor VA para ligações de transformadores ou motores de tensões elevadas ou baixas.

Ligação Triângulo

$$UL = UF$$

Ligação Estrela

$$UL = UF \times \sqrt{3}$$

$$IL = IF \times \sqrt{3}$$

$$IL = IF$$

Pic triang

Pic estrela

IL= intensidade Linha, IF intensidade Fase, UL= Tensão Linha, UF= Tensão Fase

Na Figura 98 está um exemplo de um circuito electrónico que veio substituir o transformador para as lampâadas de halogénio e na Figura 99 encontra-se um transformador onde é possível visualizar o seu ferro em forma de “E” e “I”.



Figura 98: Fonte 12VAC para lampâda

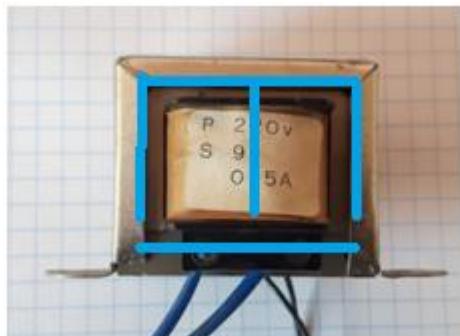


Figura 99: Transformador P=220VAC S=9VAC

6.4. Check Point

6.5. Avaliação

6.6. Proposta trabalho

6.7. Desafio para Fórum

7. Semicondutores

7.1. Resumo

O grupo de semicondutores usado em electrónica é o que consegue maior visibilidade e que toda a gente ouve falar. Existem imensos componentes que pertencem a esta família, destacando-se, neste capítulo, os mais importantes.

7.2. Teste de diagnóstico

7.3. Recurso didático

A família dos semicondutores é extensa e pode-se dizer que o seu crescimento é proporcional à sua miniaturização. Desde a invenção do transistor que se começaram a designar como semicondutores todos os componentes que faziam uso das mesmas matérias primas usadas na construção do transistor. Note-se que antes do transistor já haviam parentes próximos que se podiam considerar semicondutores no estado sólido, considerando as “válvulas” como sendo do estado gasoso. Falamos dos diodos (rectificadores) de “selénio” que consistiam de pequenos anéis revestidos de selénio intercalados com placas de alumínio para a dissipação de calor emanado pelos anéis quando sujeitos a um potencial eléctrico.

A “explosão” dos semicondutores aconteceu quando passou a ser possível controlar o processo de “dopagem” aplicado aos materiais usados na construção dos transistores e diodos que são maioritariamente o “germânio” e o “silício”. No seu estado natural estas matérias não são bons condutores de corrente eléctrica, mas o processo de dopagem, que consiste em alterar a sua estrutura atómica aproxima-as de um condutor eléctrico com a vantagem de se poder controlar a corrente e o sentido que flui através daquela matéria. A dopagem consiste em misturar, de forma controlada, algumas impurezas, por exemplo, da família do “arsénio” ou do “índio”. Se se usar o arsénio, a junção será do tipo “N”, libertando electrões quando sujeita a determinadas condições. Já se se fizer uso do índio, a junção será do tipo “P” e libertará “buracos”.

O conceito de “buraco” (lacuna) pode ser um pouco mais complicado de entender, mas ajuda se se pensar que ele possui uma carga contrária ao electrão mas sem massa, estando, por isso, sempre desejoso de ser ocupado por novo electrão que acabará por entregar ao buraco mais próximo e assim repetindo-se este processo a corrente eléctrica acabará por fluir na superfície da junção (seja ela N ou P), desde que devidamente polarizada.

Reconhecendo que o entendimento deste processo é de extrema importância, mas difícil de demonstrar porque acontece à dimensão do átomo, sugere-se a realização de uma pequena experiência fácil de executar com o apoio de um multímetro.

Usando dois copos de vidro, vamos deitar-lhe água até meio. Depois, com um multímetro na escala dos $K\Omega$ ou $M\Omega$, vamos medir a resistência da água colocando as pontas de prova do aparelho em contacto com a água. Deve-se usar, aproximadamente, a mesma extensão da ponta de prova em todas as medidas, por exemplo, um centímetro da parte metálica submerso para cada ponta.

Mediante o teor alcalino da água, da quantidade depositada no copo e ainda da distância entre as pontas de prova submersas, obteremos um valor a rondar os $200K\Omega$. Agora vamos deitar, num dos copos, duas colheres de sal de cozinha, agitar, e medimos a resistência novamente deste copo onde se adicionou o sal. Iremos verificar que a impedância se reduziu para próximo de 10 vezes menos.

O que acabámos de fazer foi, numa grandeza diferente, é claro, dopar a água de forma a alterar o seu comportamento perante um diferencial eléctrico, que neste caso é o potencial fornecido pelo multímetro (recordo aqui que os multímetros disponibilizam 0,7V a 1,2V nas sua pontas de prova).

É possível agora imaginar um processo em que se pretende que o nosso semicondutor de construção caseira (água e sal) permita o fluxo da corrente eléctrica de forma controlada adicionando ou removendo o sal do seu meio. É um processo semelhante ao aplicado às junções PN ou NP onde se adicionam ou removem electrões, que simbolizam o sal na nossa experiência.

Alerto para a necessidade de proceder à lavagem das pontas de prova na passagem do copo com sal para o copo sem sal pois caso se realizem várias medidas, estaremos a transportar algum sal para o copo com água pura, nas pontas de prova.

7.3.1. Diodo

O diodo é o componente normalmente referenciado como sendo o exemplo de um dos condutores que não obedece à lei de Ohm, porque ele conduz num sentido e não conduz no outro. Na realidade ele conduz bem num sentido, e muito mal no outro.

Os seus terminais são denominados de Anode e Cathode. Quando lhe é aplicado um potencial positivo no ânodo superior a 0,7V (convenção) em relação ao cátodo entra em modo de condução. É o componente usado normalmente para efectuar a rectificação da corrente alterna para contínua. Mas a sua família é extensa e inclui os zener, schottky, túnel e outros mais.

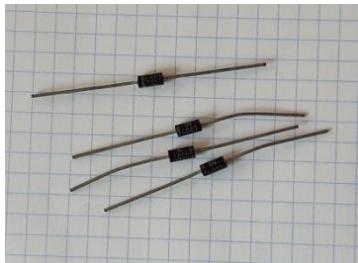


Figura 100: Diodo 1N4007

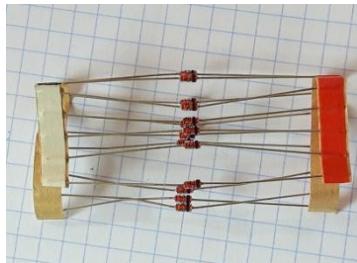


Figura 101: Diodo BAV21

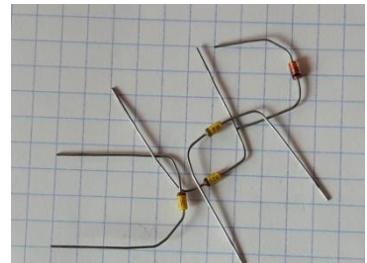


Figura 102: Diodos zener

Os diodos LED (Light Emitting Diode) têm progredido imenso nos últimos anos até ao ponto de se terem vulgarizado nos sistemas de iluminação, deixando para trás, a função da pequena luz piloto da electrónica de consumo que lhe era destinada no início.

Hoje já cobrem todo o espectro luminoso e o seu consumo é muito reduzido quando comparado com os consumos que tinham quando surgiram.

Os diodos IR (infrared light-emitting diode), quer com a função de emissor ou receptor, optimizaram de tal forma o seu rendimento, que hoje meia dúzia de led IR conseguem efectuar a iluminação para uma camera nocturna de infra-vermelhos de forma eficaz.

A título de curiosidade, e lembrando que os infra-vermelhos estão antes da capacidade da visão humana, uma forma simples de os conseguir observar é fazendo uso de uma camera de um telemóvel para observar a emissão dos infra-vermelhos do telecomando da televisão.

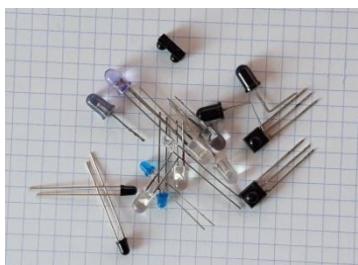


Figura 103: Diodos Infra Red



Figura 104: Diodos LED

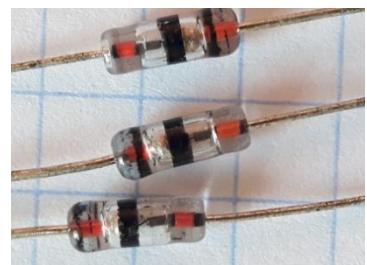


Figura 105: OA91

Na Figura 103 estão os diodos IR onde se pode observar diodos com um tom escuro que são os de recepção. Destacam-se, ainda, os de recepção com 3 pinos que já tem um tratamento de sinal interno para uma recepção mais sensível.

Nos diodos LED da Figura 104 podem-se observar diodos com 3 pinos uma vez que são diodos bicolor, existindo, também, diodos bicolor só com 2 pinos.

Um diodo LED, dependendo o seu espectro luminoso, pode ser alimentado a partir de 1,2Volts, havendo LED que já apresentam brilho aos 0,7Volts.

Na Figura 105 está um diodo OA91 que é de germânio e difere dos de silício principalmente porque a tensão que o faz passar à condução é pouco acima de 0,2Volts, sendo, por isso, esta família de diodos muito usada para tratar os sinais fracos.

Vamos deparar-nos, em “datasheet” ou mesmo nos símbolos de transistores Mosfet igt ou outros, com um diodo no sentido inverso do sentido de corrente do componente. Esse diodo designa-se de “free-running” e serve para proteger o componente quando este efectua o “ataque” às bobinas, sejam elas de motores, transformadores, relés ou qualquer outro componente que contenha bobinas. Este tema requer um estudo mais dedicado, sendo, aqui nesta acção, só focado o avanço ou atraso da corrente em L's e C's.

7.3.2. Transistor

O nome do transistor resulta de uma aglomeração das palavras “transfer” e “resistor”, nasceu de uma investigação realizada nos Laboratórios da Bell Telephone com o intuito de substituir as válvulas termoiónicas usadas nos telefones e telégrafos da companhia à época.

A sua adopção pelo mercado de consumo só se deu de forma massiva através das companhias japonesas, sendo disso exemplo, o “transistor” (rádio pequeno e funcionando a pilhas) que era construído à base de transistores, tornando-o portátil e fácil de usar se comparado com um rádio a válvulas que obrigava a uma tomada eléctrica nas suas proximidades. Deve-se aqui dizer que já havia rádios a válvulas de 1,5 V para o filamento e 90VDC para tensão de grelha, existindo uma pilha já com as duas tensões, tendo surgido, no nosso país, alguns oriundos de África.

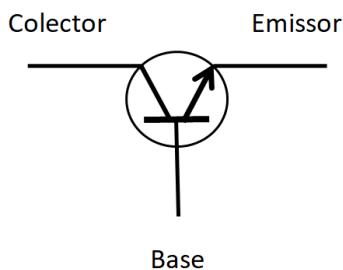


Figura 106: Símbolo do transistor NPN

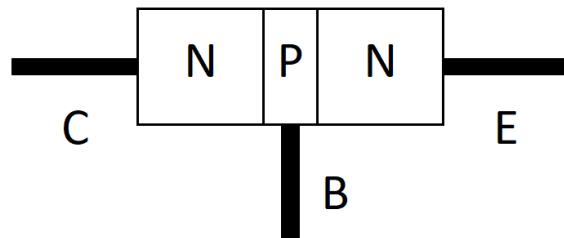


Figura 107: NPN camadas

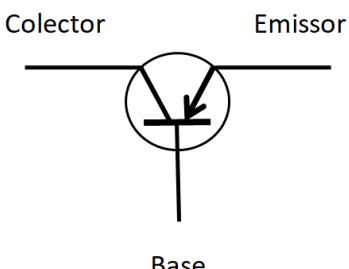


Figura 108: Símbolo do transistor PNP

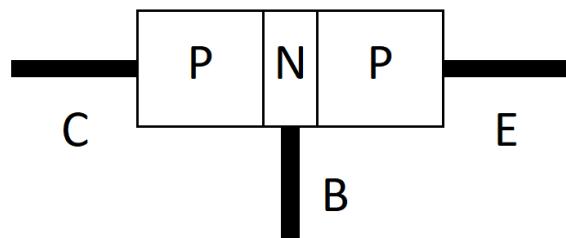


Figura 109: PNP camadas

Nas figuras acima estão representados os símbolos e respectivo bloco do diagrama das camadas que constituem o transistor. Podemos constatar que ele é constituído por duas junções que ligam entre si as 3 camadas, podendo, assim, designar o seu tipo por junção referindo somente PN ou NP, daí o termo de BJT (Bipolar Junction Transistor).

A camada que fica no meio, designada por “base” faz alusão à superfície onde são depositadas as outras matérias de que é construído. Quando sujeita a uma diferença

de potencial nominal de 0,7 Volts entre a base e emissor permite o fluxo da corrente eléctrica entre os terminais chamados de “colector” e “emissor”, sendo o sentido definido pela seta que representa o emissor e que diz se é uma junção PN ou NP. Fica o alerta para o sentido da seta que é alusivo ao sentido convencional e não ao real como é o caso dos MOSFET.

Podemos, assim, deduzir que haverá duas formas de obter o mesmo circuito usando, para isso, transistores de espécie de junção diferente se se usar também o método inverso de polarização.

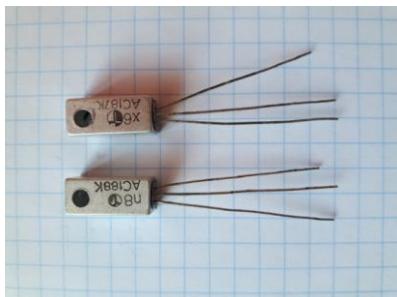


Figura 110: Par transistor complementar

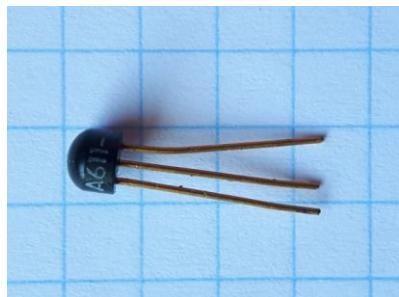


Figura 111: TR A611



Figura 112: Complementares (capsula TO3)

Nas figuras acima encontram-se modelos de encapsulamento que estão em desuso. O progresso do encapsulamento deve muito ao uso dos novos motores DC brushless. Eles contribuiram para a generalização da aplicação de ventiladores evitando assim dissipadores de grande dimensões. Houve que readaptar o encapsulamento também devido à implementação em SMD. Vejam-se os exemplos de cápsulas que se seguem.

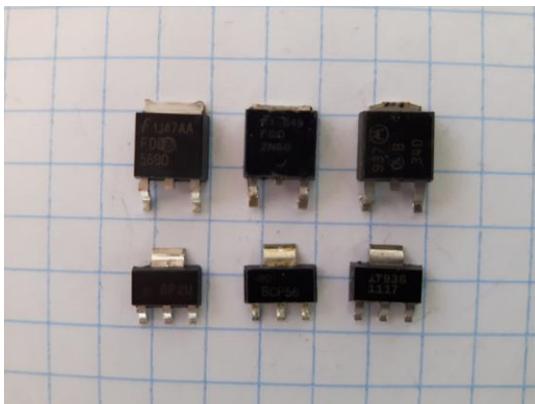


Figura 113: Encapsulamento transistor SMD

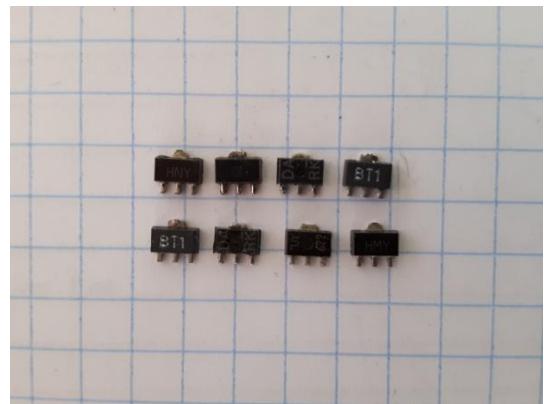


Figura 114: Encapsulamento transistor SMD

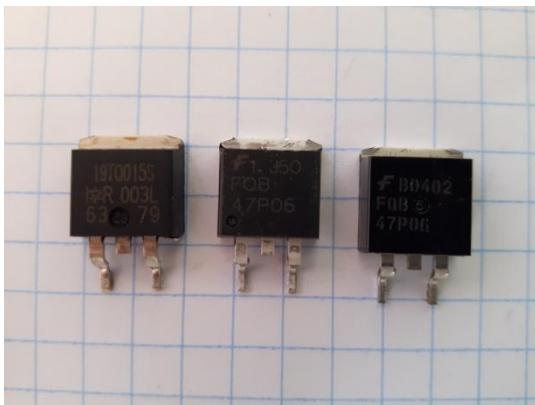


Figura 115: Encapsulamento transistor SMD

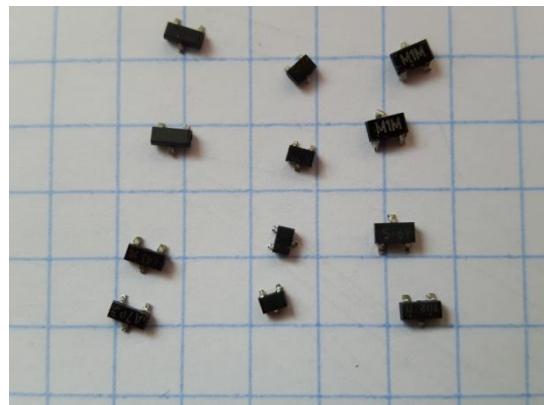


Figura 116: Encapsulamento transistor SMD

Normalmente a um conjunto de dois transistores de junções diferentes, mas com características iguais, chamam-se transistores complementares, ou par complementar. Estes conjuntos são usados em circuitos denominados de “push-pull” e ilustram bem a ideia da complementaridade.

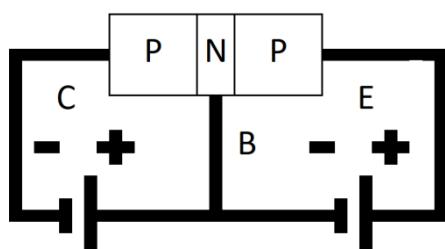


Figura 117: Polarização para o PNP

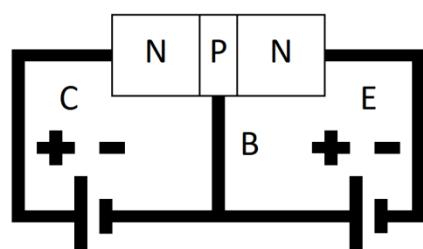


Figura 118: Polarização para o NPN

Nas figuras acima está uma representação da polarização de ambos os tipos de junção sem resistências de carga ou polarização.

No NPN a corrente de colector é a soma da corrente de base somada com a corrente do emissor.

No PNP a corrente de emissor é a soma total da corrente que escoa através da base e da corrente que chega ao colector.

Podemos, desta forma, deduzir que a corrente de base é em sentidos opostos nos dois modelos de junção.

Em ambas as situações as correntes que fluem do emissor para o colector dependem da corrente de base em função do ganho do transistor (H_{FE}),

Os nomes usados para designar as tensões aplicadas às junções, são:

V_{CE} – Tensão colector emissor

V_{BE} – Tensão base emissor

V_{CB} – Tensão colector emissor

O seu ganho é designado por H_{FE} e a corrente de colector é I_C . O transistor possui normalmente um “datasheet” que contém toda a informação relevante do componente e é seguida por outros fabricantes que obtêm a autorização para construção de um transistor “equivalente” junto do seu fabricante original, sendo por essa razão, frequente ver transistores com a mesma designação mas de fabricantes diferentes.

Há métodos para determinar o ganho (H_{FE}) do transistor, de forma a saber o seu comportamento no circuito. Importa, no entanto, salientar que, apesar da tecnologia envolvida no fabrico dos transistores, não é possível garantir que dois transistores saiam exactamente iguais da linha de produção. Por essa razão, os fabricantes dão sempre um intervalo do ganho com alguma margem de segurança.

Veja-se um exemplo do que se pode encontrar numa folha de características de um transistor mencionando o intervalo do ganho:

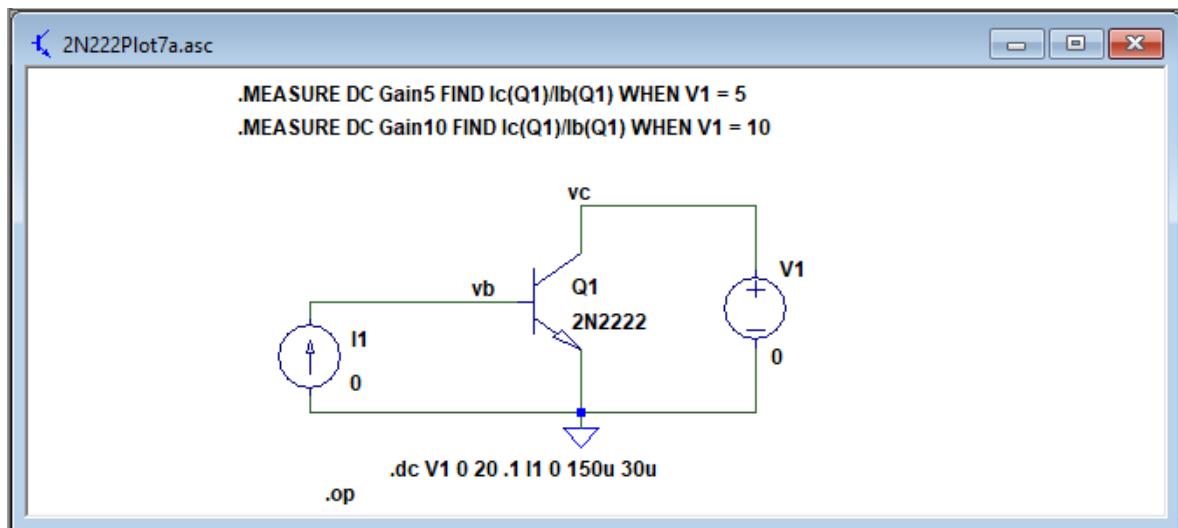
[$H_{FE} \rightarrow \text{Min}=120, \text{Max}=220$].

Isto deve-se ao facto de não ser possível garantir uma exactidão durante o processo de dopagem.

Vamos observar um exemplo de uma “curva de característica” de um transistor modelo 2N2222 do fabricante STM {<http://html.alldatasheet.com/html-pdf/21675/STMICROELECTRONICS/2N2222/3245/2/2N2222.html>} usando, para isso, uma polarização de base em saltos de 30uAmp e que irá reflectir-se na corrente de colector recorrendo a um circuito onde se considera o transistor como transistor ideal, por conseguinte, sem resistências de limite para as correntes.

Tipo junção:	Malha de entrada	Malha de saída
NPN	$R_E = (V_{EE} - V_{BE}) / (i_E)$	$R_C = (V_{CC} - V_{CB}) / (i_C)$
PNP	$R_E = (V_{EE} - V_{EB}) / (i_E)$	$R_C = (V_{CC} - V_{BC}) / (i_C)$

Tabela 14:Nomes das tensões associado às junções



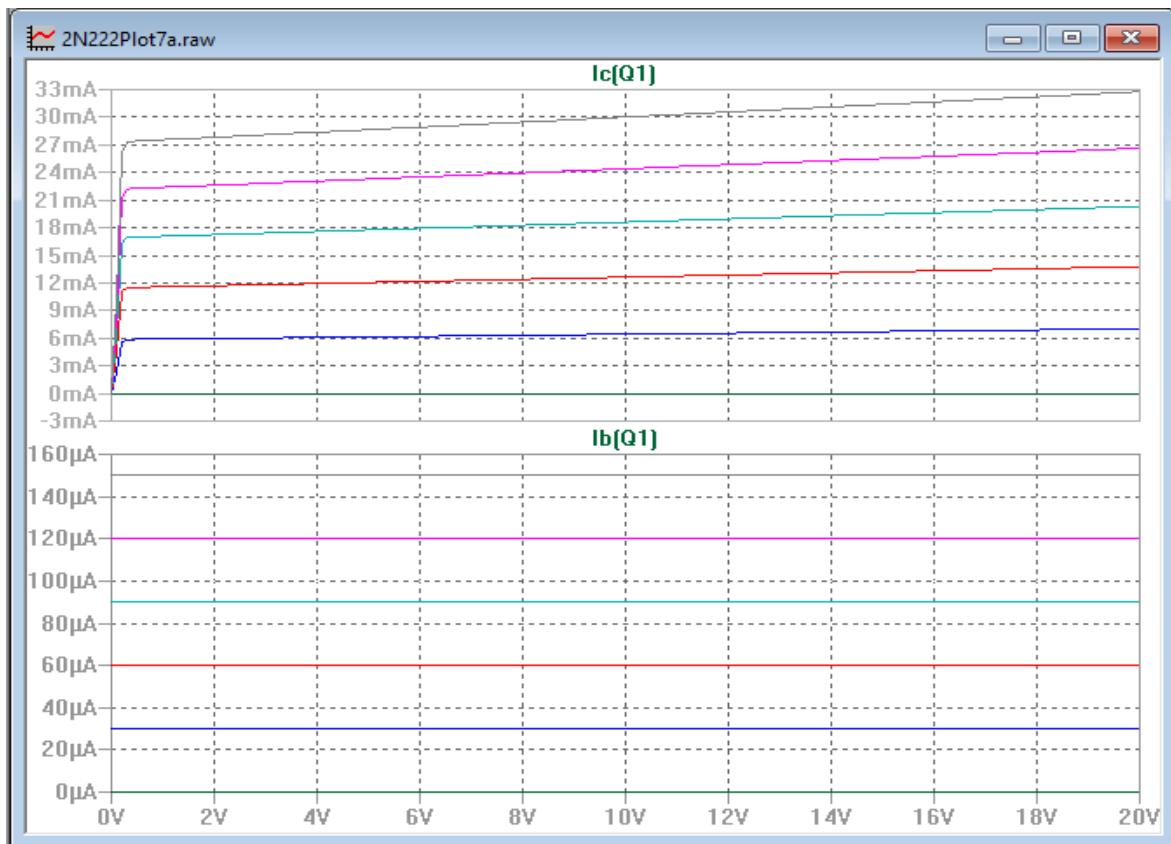


Figura 120: Curva característica do TR 2N2222

Na Figura 120 é visível a variação da corrente de coletor (mA) em função da corrente de base (μ A). No “datasheet” do fabricante para este modelo de transistor é indicado um ganho (H_{fe}) Min=100 e um Max=300.

Se considerarmos, por exemplo, o valor de 60 μ Amp, vamos obter: $(+/-11mAmp)/(60*10^{-6})=183mA$ que está dentro da janela indicada pelo fabricante.

Pode-se, desta forma, confirmar que a corrente de Coletor resulta do produto da corrente de Base pelo H_{fe} do transistor.

Esta regra aplica-se também quando se realiza uma montagem de transistores tipo “Darlington”, onde o resultado final do ganho resulta do produto dos H_{fe} 's dos transistores envolvidos. Assim, se, por exemplo, um transistor possui um ganho de 50 e outro de 100, ficamos com um ganho total de 5000.

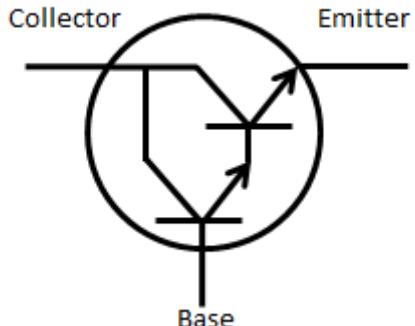


Figura 121: Transistor Darlington NPN

O transistor Darlington consiste num encapsulamento de 2 transistores dentro do mesmo invólucro com o objectivo de conseguir uma tensão e corrente de base menores e uma corrente de colector maior.

Há modelos de Darlington que possuem associadas, internamente, duas resistências e um diodo para realizar a polarização da base do transistor final, como era o caso do BU808D, surgindo assim, por vezes, um símbolo diferente nos “DataSheet” desta família de transistores. Pode-se, no entanto,

encarar o transistor Darlington como se de um transistor BJT se tratasse, sendo os seus pinos exteriores os mesmos, emissor, base e colector, residindo a sua principal diferença no seu ganho (H_{fe}) que é mais elevado, uma vez que resulta do produto do H_{fe} dos dois transistores usados.

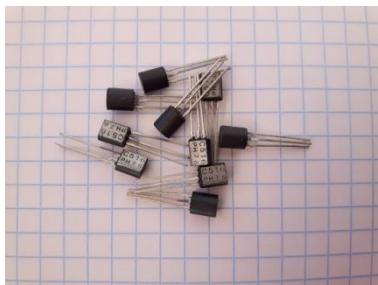


Figura 122: BJT Darlington modelo BC516 (cápsula TO92)

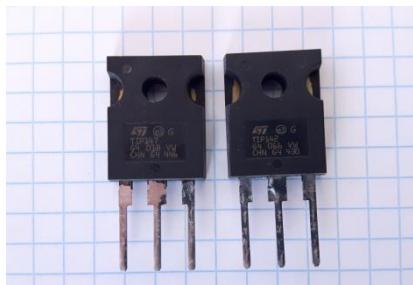


Figura 123: Par complementar Darlington (cápsula TO247)



Figura 124: Modelo 2N3846 usado em rádio frequência.

Destaca-se na Figura 122 um modelo de transistor *darlington* com um H_{fe} de 30000. Lembrando que a capacidade de corrente de colector será a corrente de base vezes o H_{fe} do transistor e tendo como limite de corrente colector 1Amp, resulta em 1/30000.

Pode-se concluir que aplicando um sinal de 33 μ Amp na sua base ele ainda seria capaz de realizar a sua amplificação em condições ideais.

Na Figura 123 pode-se observar um par complementar de transistores TIP142 e TIP147 muito usado em andares finais de amplificadores de áudio.

Perante uma vasta quantidade de variantes de cápsulas que são usadas pelos fabricantes de componentes como: transistores, triacs, LED, MOSFET, FET, diodos, IGBT, thyristores e outros, torna indispensável o uso do respectivo “datasheet”, de forma a conseguir identificar os seus terminais.

Felizmente, hoje em dia, há ferramentas que nos ajudam a identificar com precisão, o “pin-out” do componente. Veja-se, como exemplo, um pequeno aparelho que realiza a identificação de forma eficaz do “pin-out” e simultaneamente nos informa de algumas das características do componente que submetemos à sua análise.

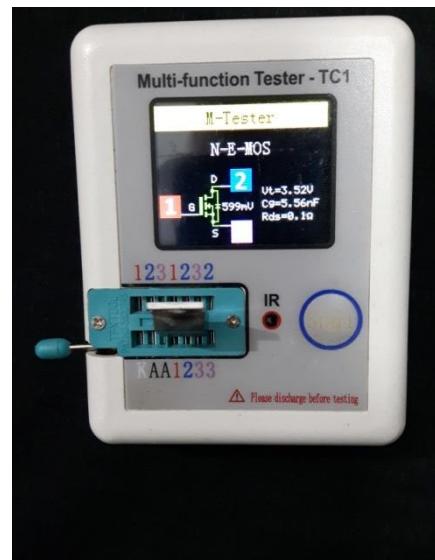


Figura 125: “Multi Tester” de semicondutores

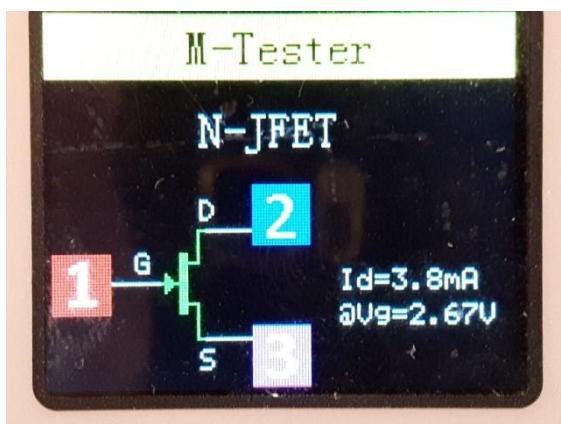


Figura 126: Teste de um FET

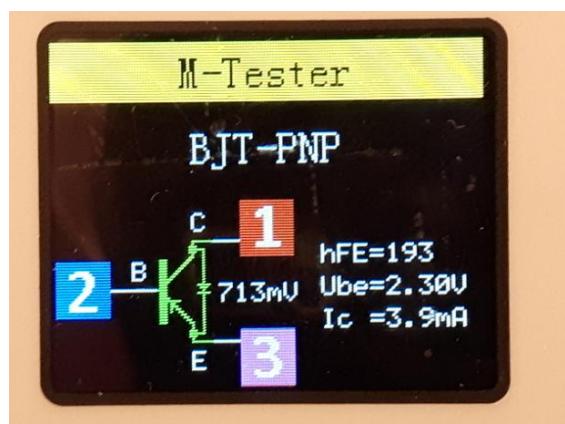


Figura 127: Teste de um BJT

Realizámos, assim, uma introdução ao componente transistor que é a base de todos os circuitos integrados, onde se incluem a título de exemplo: microprocessadores, híbridos, memórias, FPGA (Field Programmable Gate Arrays), etc....

Um circuito integrado possui, hoje em dia, dependendo da sua escala de integração, milhões de transistores e outros componentes como condensadores, resistências, etc..

7.3.3. Thyristor

O thyristor ou SCR (Silicon Controlled Rectifier) é um componente com um comportamento curioso tendo o símbolo camparável ao do símbolo do “diodo” mas foi-lhe adicionado um terceiro condutor ao “cathode” que tem o nome de gate.

Quando polarizado correctamente, seja quando tem potencial positivo no seu ânodo e é colocado um potencial à sua gate, ele passa ao estado de condução. O curioso é que ele só desliga após a interrupção do circuito.

Fazendo uma analogia, podemos pensar num relé onde os seus contactos alimentam o próprio relé. Após um instante de tensão à bobine para operar, ele ir-se-á manter operado uma vez que está alimentado através dos seus próprios contactos.

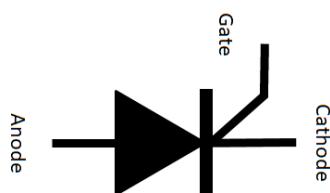


Figura 128: Thyristor símbolo



Figura 129: Diodos e thyristores

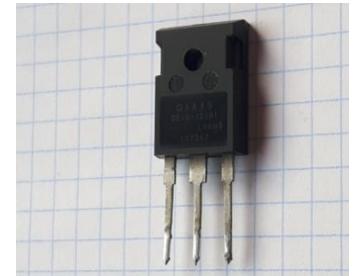


Figura 130: Thyristor CS45
(TO247)

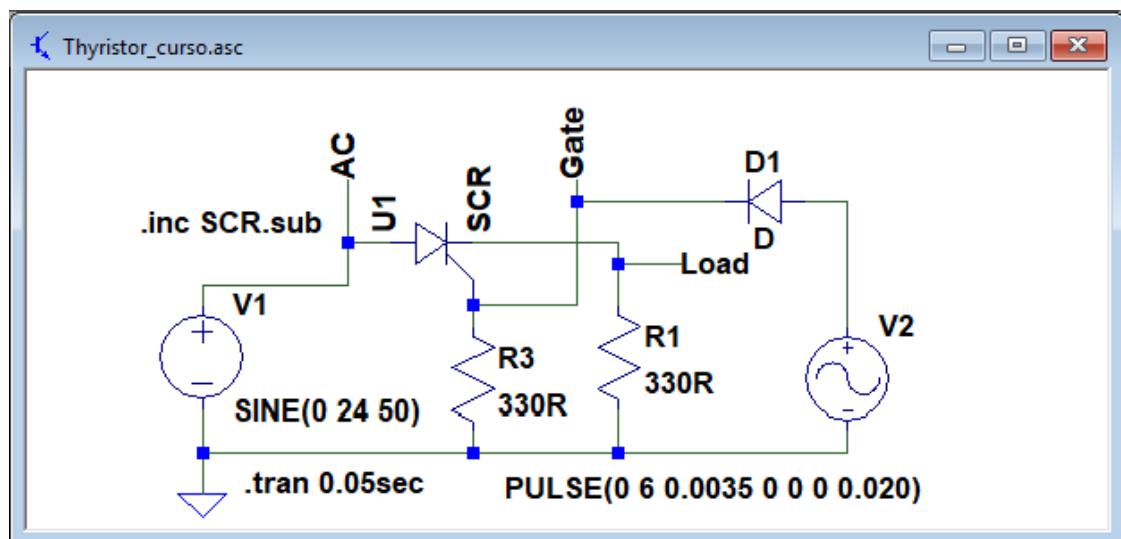


Figura 131: Circuito com SCR

Na Figura 131 temos um thyristor num circuito de teste criado para ver o seu efeito perante um potencial aplicado à gate. Ao gerador de sinal (V2) adicionou-se um atraso de 3,5miliSeconds de forma a que o disparo surja na gate já próximo de $\frac{1}{4}$ de ciclo de 50Hz. Usou-se um “pulse” de 6VDC para compensar a queda de tensão na passagem do diodo (0.7Volts nominais nos semicondutores).

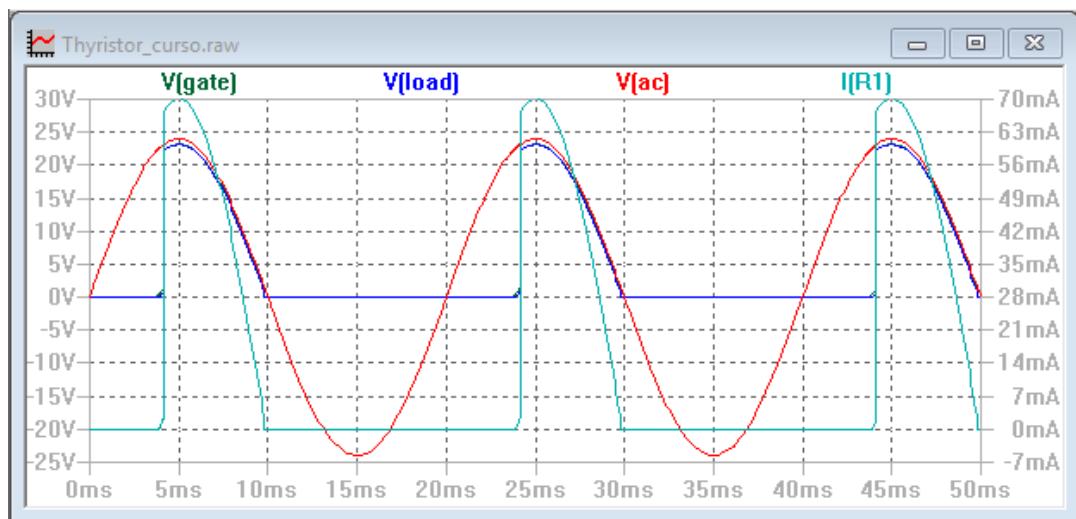


Figura 132: Tensões de SCR e Vload

Na Figura 132 encontram-se as tensões e corrente observadas na gate, na R de carga, à saída do gerador AC e, por fim, a intensidade que percorre a R de carga.

Podemos constatar que o Vload é simultâneo com o Vgate, assim como com a corrente. O delay programado no gerador é de 3.5miliSeconds mas surge à gate aos 4,26. Nessa altura o thyristor passa ao estado de condução, só parando quando a tensão AC passa por 0 Volts que acontece a título de exemplo aos 10mSec e 30mSec. Nesse momento é como se se abrisse o circuito uma vez que o thyristor fica polarizado inversamente e Vload passa a zero pois para que o SCR volte a conduzir necessita de novo disparo à gate.

No esquema eléctrico acima o disparo à gate foi em função de um gerador de sinal que tinha um atraso de 3.5mSec. No esquema que se segue, definiu-se o disparo em função de uma tensão fazendo uso de um zener de 20V. É de notar o diodo em série com o zener ele tem importância para evitar a condução do zener durante o ciclo negativo.

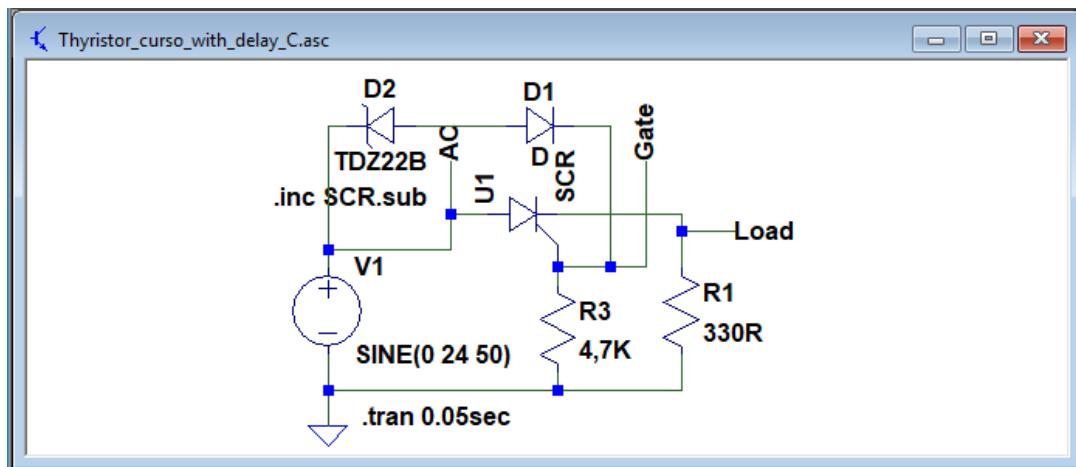


Figura 133: Diodo zener a controlar o SCR

O zener usado foi um de 22V, o que deixa o disparo à gate próximo da tensão de alimentação do circuito que é de 24V. Usando um zener com uma tensão de referência mais baixa o disparo iria acontecer mais cedo, quando a curva ascendente alcançasse o valor do V de zener (22Volts), como é visível no gráfico da Figura 134.

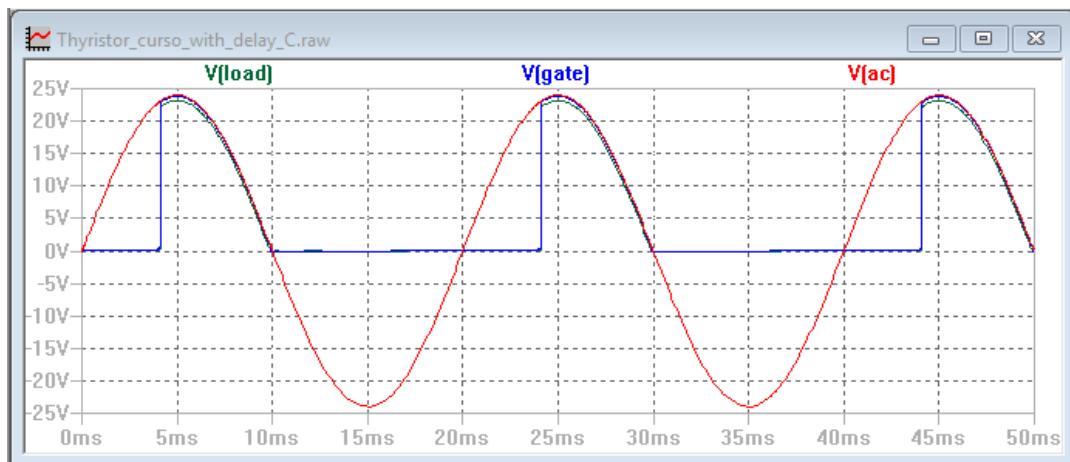


Figura 134: Plot control SCR com Vzener 22V

Dependendo das características do SCR e da potência a controlar, a intensidade a aplicar à gate pode assumir um valor superior podendo-se recorrer ao uso de um transistor para lhe fornecer a corrente necessária ou para tornar possível o controle de disparo à gate na curva descendente. Pode-se, agora, pensar na aplicação de um circuito igual mas, no lado do ciclo negativo, o que permitiria o controle de V nos dois semiciclos. O conceito de controle de rotação de motores AC por meio de SCR baseia-se neste princípio.

7.3.4. IGBT

Os IGBT (insulated-gate bipolar transistor) são o culminar de décadas de busca de um interruptor perfeito capaz de ser controlado de modo eficaz por uma tensão lógica residual aplicada à gate. Há IGBT em que as suas gates respondem aos 5 volts directos da saída de um microprocessador ou microcontrolador. Hoje em dia estes semicondutores são usados nos carros eléctricos, nas placas indutoras das cozinhas, rectificadores, onduladores, conversores, variadores de velocidade (VFD) etc.

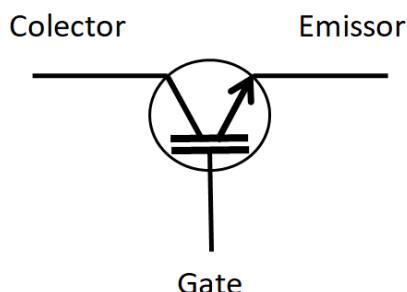


Figura 135: Símbolo do IGBT

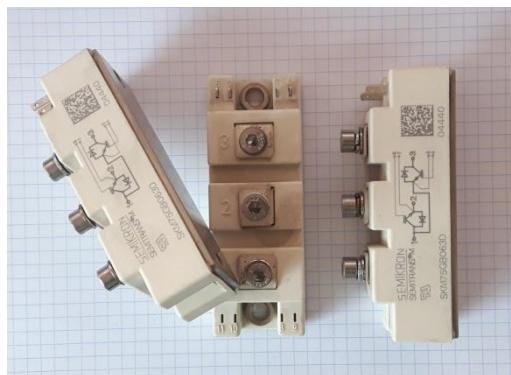


Figura 136: IGBT em encapsulamento Brick

Os IGBT tem como principal característica, o conjugar da capacidade de comutação de corrente de um transistor BJT com o de controle da gate dos MOSFET.

A condição de condução é alcançada quando se coloca um potencial positivo à gate em relação ao emissor entre 3 a 18Volts.

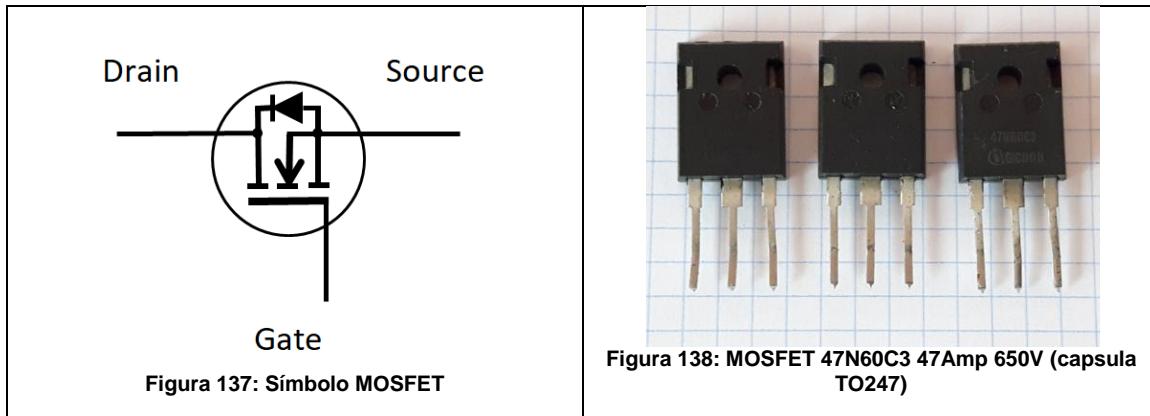
Nos transistores (BJT), para haver corrente de emissor, há a necessidade de haver, também, uma corrente de base. Nos IGBT essa necessidade não existe, daí o símbolo do IGBT ter um condensador a isolar a base, teoricamente depois de se aplicar um potencial eléctrico de forma a que o condensador de base fique carregado com um campo eléctrico, lembrando aqui que o condensador ideal iria conservar a sua carga. O IGBT manter-se-ia em estado de condução, até se forçar a descarga do C à massa para que o IGBT ficasse isolado entre Colector e o Emissor.

7.3.5. MOSFET

Os MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) funcionam com tensão de gate em vez de corrente como sucede nos BJT. Diferem dos IGBT porque não há condensador para os manter ligados quando se remove a tensão de gate.

À semelhança dos BJT e dos IGBT existem ambos os canais (N e P) e a sua família é muito extensa, havendo MOSFET de tensões e correntes baixas em invólucros muito pequenos até invólucros tipo "Brick" para correntes e tensões elevadas. O seu familiar mais próximo é o transistor FET (field efect transistor) que é semelhante mas tem a característica de o campo eléctrico da gate isolar o dreno e o source quando

se torna negativo, nos MOSFET isola com ausência de potencial, conduz com potencial eléctrico aplicado à gate.



Chama-se aqui a atenção para o facto de os MOSFET possuirem um símbolo que coincide com o fluxo real da corrente denominado de “Sentido Real”. Os transistores BJT têm um símbolo que ainda obedece ao sentido adoptado inicialmente e chamado de “Sentido Convencional”.

Observando o símbolo do transistor (NPN) pode-se verificar que a seta que representa o emissor recebe o positivo do colector e entrega a um negativo. No MOSFET a seta do “source” recebe do negativo e entrega ao “drain” que tem de ser mais positivo. Este é um tema que requer alguma atenção pois é de extrema importância para saber de que lado do componente deve ficar a carga, sendo que esta matéria já foi abordada anteriormente no ponto “Sentido da corrente”



Figura 139: IRF250 e BUZ36

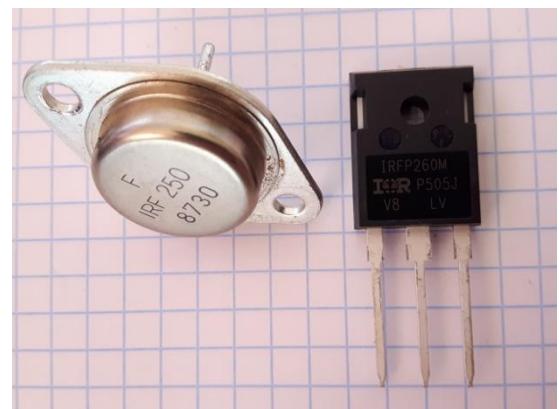


Figura 140: TO3 em desuso e TO247 usada actualmente

A família dos MOSFET ganhou espaço rapidamente no seu uso devido ao seu rendimento em aplicações de fontes de alimentação e conversores, estendendo-se de seguida aos amplificadores de áudio. Hoje estão presentes em tudo o que contenha circuitos electrónicos que requeiram comutações rápidas e correntes elevadas.

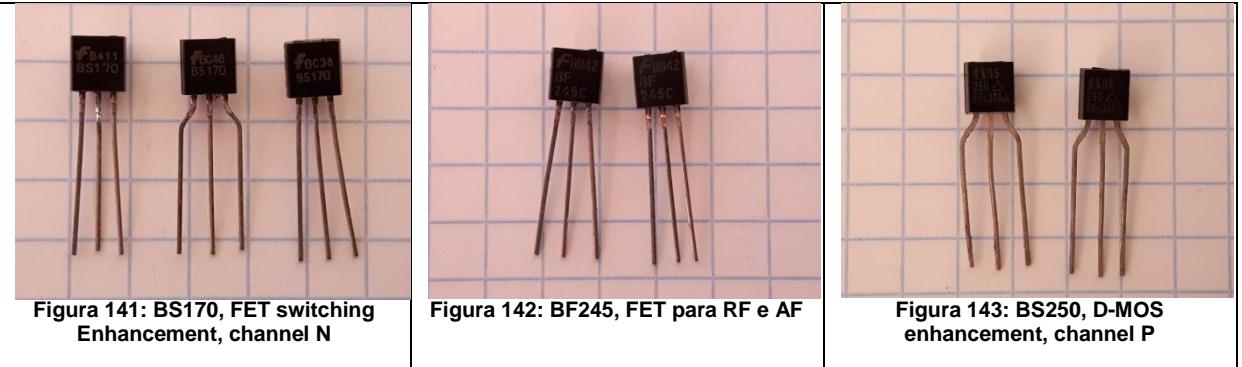


Figura 141: BS170, FET switching
Enhancement, channel N

Figura 142: BF245, FET para RF e AF

Figura 143: BS250, D-MOS
enhancement, channel P

Exemplos de transistores de efeito de campo (FET) para sinais áudio e ondas de rádio, como é o exemplo da Figura 142.

7.3.6. Circuitos integrados

Na tabela seguinte é visível a tentativa de criação de famílias que retratassem o nível de integração do componente. Esse agrupamento é em função da capacidade de fabrico da época e muitas vezes designado por “Electronic design automation (EDA)”:

Sigla	Significado	Ano	Nº Transistores	Nº Gates
SSI	<i>small-scale integration</i>	1964	1 até 10	1 até 12
MSI	<i>medium-scale integration</i>	1968	10 até 500	13 até 99
LSI	<i>large-scale integration</i>	1971	500 até 20,000	100 até 9,999
VLSI	<i>very large-scale integration</i>	1980	20,000 até 1,000,000	10,000 até 99,999
ULSI	<i>ultra-large-scale integration</i>	1984	1,000,000 em diante	100,000 em diante

Tabela 15: Escala inicial da EDA

Pode-se pensar num nível de integração de um “pentium” na casa dos 4,5 milhões de transistores extrapolando-o para um i9 que contem 16 cores, ou seja, perto de 16 vezes o valor usado no “pentium”. O nível de integração já não se mede, portanto, em “portas” ou em “transistores” tendo o seu fabrico deixado de estar sob controle do ser humano comum, pois só pode ser realizado por máquinas muito complexas, de custos astronómicos e criadas especificamente para o efeito.



Figura 144: Processador iMPP da Intel

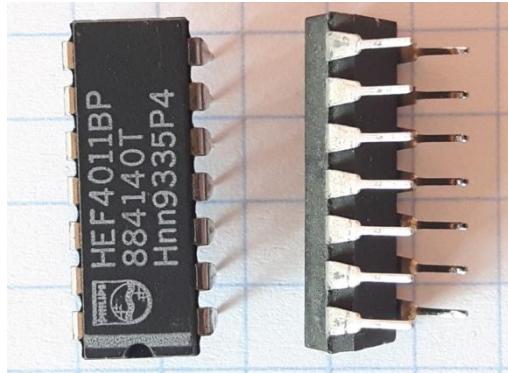


Figura 145: CD4011



Figura 146: Exemplos de invólucros de Circuitos integrados



Figura 147: Luva e braçadeira antiestática

Os circuitos integrados podem ser criados para um fim específico ou genérico. Nas figuras acima temos o exemplo de um microprocessador criado pelo fabricante Intel destinado a ser usado nos sistemas de comunicações móveis e ao lado um integrado da família 4000 (tecnologia CMOS) que contém dentro dele 4 portas lógicas (NAND) de 2 entradas cada.

É visível, também, um conjunto de luvas e braçadeira antiestática para o manuseamento de integrados ou placas, de forma a evitar os danos provocados por descargas electroestáticas.

Há inúmeros circuitos integrados, mas podem-se “quase” que agrupar em duas famílias, a analógica e a digital. Assim, ficamos com o grupo dos analógicos para os circuitos integrados destinados a áudio, vídeo, alimentação, etc... Podemos, deste modo, inserir a título de exemplo neste grupo o uA741 e o NE555. Eles são os IC's mais marcantes no percurso do circuitos integrados e são ainda hoje os primeiros a serem ensinados nas escolas. Ao segundo grupo adicionamos tudo o que seja micro-processadores, memórias, DAC, ADC, e a família dos 4000 que nasceu para tomar conta do lugar ocupado pela família 7400 que usa lógica TTL (transistor transistor logic) que, por sua vez, havia tomado o lugar da série 1400 da lógica DTL (diode transistor logic).

As grandes diferenças destas famílias são ao nível da sua alimentação, em que a 7400 usa 5VDC já a família 4000 usa 4,5~18VDC, possuindo, ambas as famílias, as mais diversas implementações, adders, decoders, encoders, OR, XOR, NAND, AND, serial shift registers, buffers, counters, etc... permitindo, assim, com a associação de vários IC's, construir um circuito electrónico complexo, como se de um "lego" se tratasse.

Os fabricantes de circuitos integrados vão travando uma batalha em duas frentes pelo facto de o fabrico de IC's implicar uma necessidade constante em desenvolvimento de tecnologia de ponta e o sucesso comercial junto do consumidor.

Importa aqui recordar, o sucesso da ZILOG com o fabrico de integrados para os Zx e TRS80. Actualmente revive-se um pouco essa história com o fabricante ATMEGA (adquirida pela Microchip em 2016) dos Arduinos tão vulgarmente usados à data de hoje. Esses factos devem contribuir para se interiorizar a ideia de que a mudança provocada pela invenção do transistor, que foi, afinal, apenas mais uma entre muitas que vieram mudar o mundo da electrónica, e vai sendo vivida através de novos inventos todos os dias.

7.4. Check Point

7.5. Avaliação

7.6. Proposta trabalho

- ⇒ Pesquisa sobre montagem em modo Push-Pull.
- ⇒ Pesquisa sobre uA741.
- ⇒ Pesquisa sobre NE555.

7.7. Desafio para Fórum

8. Corrente AC/DC

8.1. Resumo

Neste capítulo vamos criar um pequeno regulador de tensão, fazendo uso dos temas focados anteriormente. Para o efeito, vamos usar diodos, transistores, resistências, condensadores e integrados na sua versão mais simples, como é o caso dos reguladores de tensão. Simultaneamente estudar-se-á a DC (Direct current) e a AC (Alternating current).

8.2. Teste de diagnóstico

8.3. Recurso didático

Os circuitos electrónicos, para que possam cumprir as tarefas para as quais foram criados, necessitam de um sistema de alimentação que lhes forneça energia.

Não é possível produzir algo sem recurso a uma transformação de matéria. Por essa razão, se se pretende que um contador conte “coisas”, ele precisa de energia para contar e para acender o “display” que nos irá informar o estado da contagem. Pode-se usar, para o efeito, uma bateria, uma pilha, um conversor, um gerador, etc... o que teremos de respeitar é o fornecimento do tipo de alimentação para o qual foi projectado. Assim, se, por exemplo, o nosso circuito requer 9VDC não se lhe pode entregar um valor muito diferente, sob o risco de o deteriorar. Pode-se, desta forma, alimentar o nosso circuito com uma pilha, ou então, criar a nossa própria fonte de alimentação com a devida rectificação, filtragem e estabilização, descrevendo-se a seguir como o realizar.

A ideia será usar um transformador que se possa ligar à tomada da rede eléctrica para converter a tensão da tomada (230VAC) numa tensão um pouco acima do nosso valor DC necessário. Vamos adoptar, por exemplo, um valor de 12VAC para o secundário, seguido do circuito rectificador para converter os 12VAC em 12VDC usando uma rectificação de meia onda.

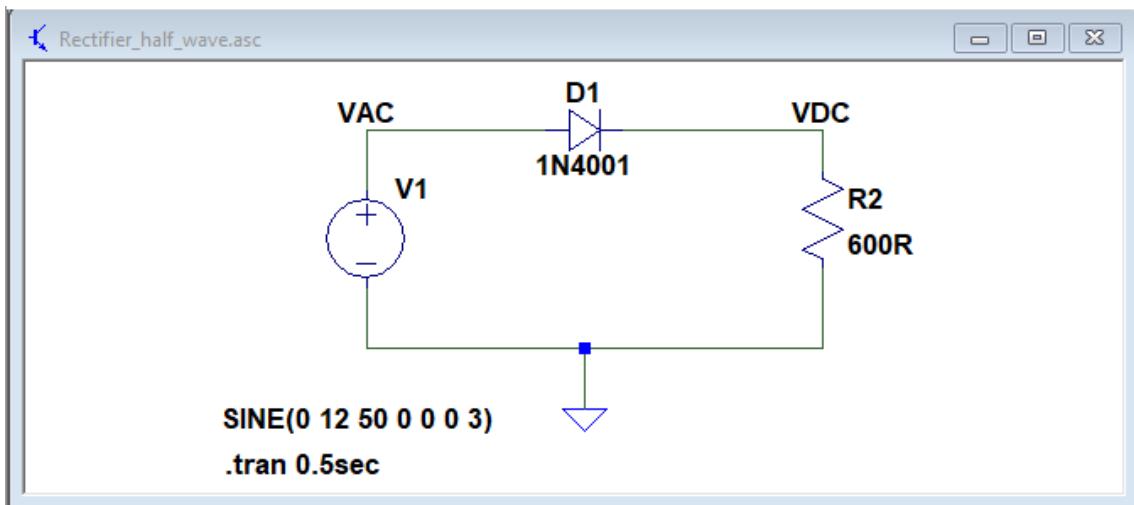


Figura 148: Rectificação de meia onda

Na Figura 148 podemos observar um esquema eléctrico simples onde se mostra um circuito com um diodo 1N4001 que realiza uma rectificação de meia onda entregue a uma resistência para simular uma carga. O facto de não se ter inserido no circuito um condensador para realizar a filtragem permite-nos observar no gráfico da Figura 149 os valores que a tensão assume ao ser sujeita à acção do diodo. Podemos ver que o “traço” azul, que representa a tensão após a travessia do diodo, só possui valores acima de 0Volts, só se aproveitando, portanto, o semicírculo positivo, daí o nome de rectificação de meia onda.

O traço a vermelho que diz respeito à tensão AC à saída do gerador, que no nosso esquema eléctrico substitui o transformador de 230VAC no primário e 12VAC no secundário, mostra a sinusóide desde o valor (-)12VAC até aos (+)12VAC, que é a tensão pico a pico (V_{pp}).

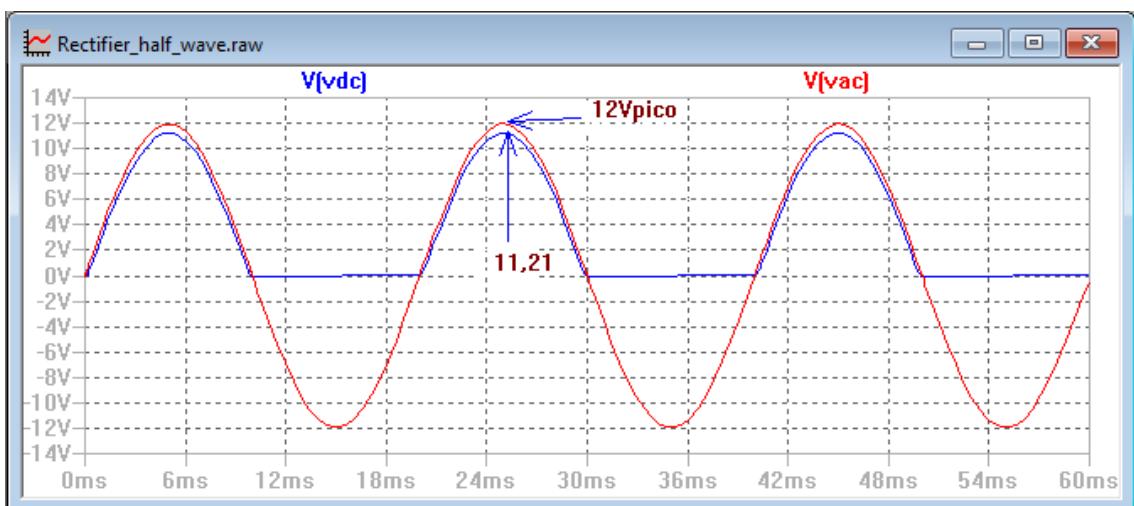


Figura 149: Plot das tensões na rectificação de meia onda

Está, ainda, na Figura 149 destacada a queda de tensão nominal que resulta da travessia do diodo que tem atribuído um valor teórico de 0.7V, que é o valor a partir do qual os semicondutores entram em condução. Não é de mais relembrar que se trata de um valor que temos de ter sempre em conta ao lidar com os semicondutores.

Observando atentamente o resultado desta rectificação de meia onda fica evidente a necessidade de que o transformador a usar deve ter uma tensão AC no seu secundário superior à que se pretende em DC, situação idêntica para uma rectificação de onda completa onde passamos a ter 2 diodos no circuito em cada ciclo, provocando, assim, uma queda dos 0,7V nominais duas vezes.

9VAC significa que vamos ter uma tensão de pico a pico (VPP): $(9\text{VAC} \cdot \sqrt{2}) \cdot 2 = 25.455\text{VAC}$	Aplicando o mesmo à tensão da nossa rede eléctrica, obteremos uma tensão de pico (só o valor de meio ciclo): $230\text{VAC} \cdot \sqrt{2} = 325.269$ Ainda teríamos de multiplicar este valor por 2 para obter a tensão de VPP.
Adicionar a tolerância de por exp:10% $25.455 \cdot 10\% = 2.5455 \text{ VAC}$ 28.0005VAC	

Os dois exemplos que vimos pretendem ajudar a entender os valores em Volts da tensão AC, podendo-se considerar que o valor nominal do nosso projecto é de 9VAC, que multiplicado por raiz de dois, nos dá o valor máximo para o ciclo positivo e para o ciclo negativo, sendo o valor de pico a pico a soma desses dois valores como se vê na Figura 150.

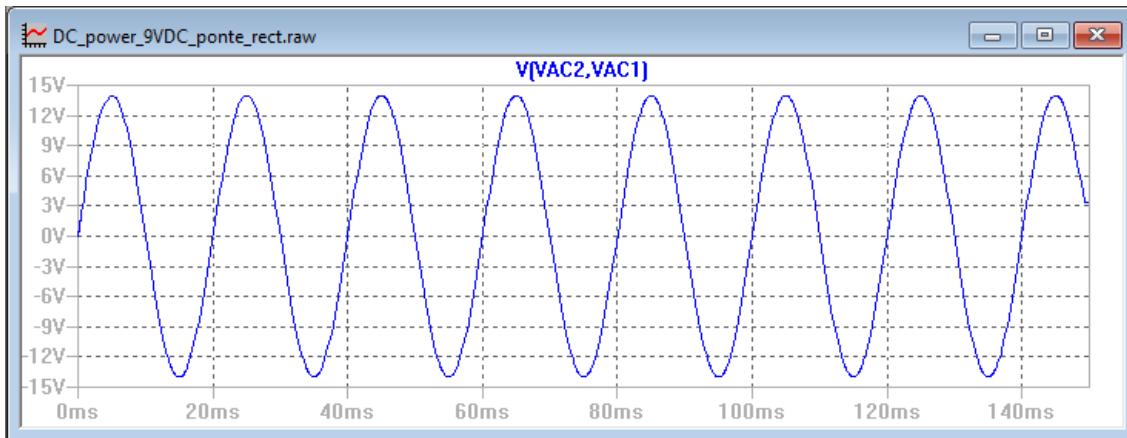


Figura 150: Valor tensão AC pico a pico(Vpp)

A tensão de pico é de extrema importância, pois é ela que nos dá o valor mínimo de tensão que os nossos componentes devem suportar. Assim, se se considerasse um filtro por condensadores à saída do transformador, esse condensador teria de suportar um tensão acima do valor calculado para V de pico, lembrando, ainda, que

temos de considerar uma margem de segurança em função da tolerância que o fabricante atribui ao componente. Uma vez que não há C's de 28V, teremos de arredondar para os 30V ou 35V, que são os valores comercializados logo acima.

Esta regra, aplica-se a todos os componentes do circuito, mas para os semicondutores (no nosso caso os diodos e os transistores) a margem de segurança tem de ser maior. Para uma primeira abordagem usa-se o dobro, lembrando que quando se lida com L e C a margem deve ser estudada caso a caso devido às sobretensões e sobreintensidades geradas por estes componentes quando aplicados em determinados circuitos.

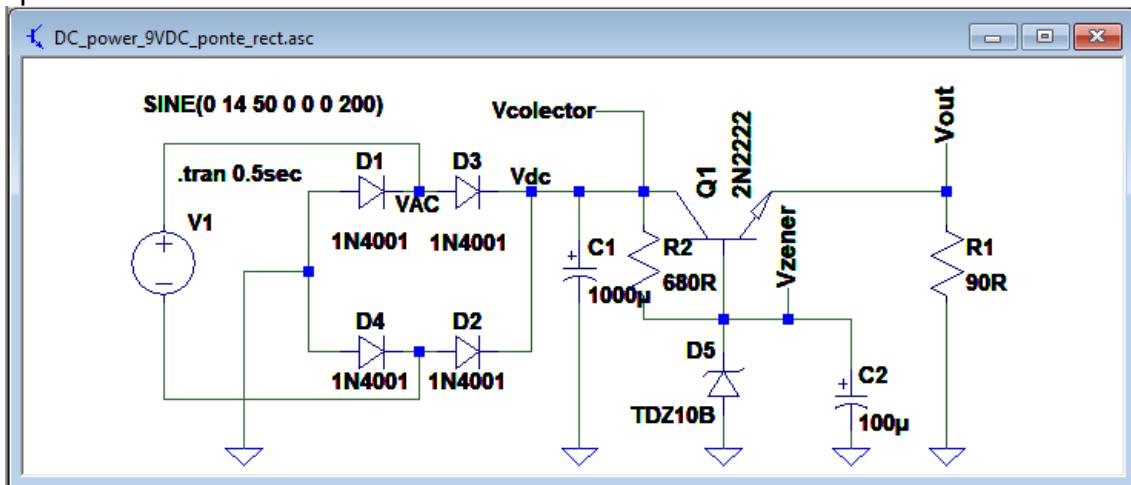


Figura 151: Fonte de tensão regulada e não estabilizada

Na Figura 151 encontra-se o nosso esquema eléctrico para uma fonte de alimentação de 9VDC, não estabilizada, com rectificação de onda completa, onde a tensão à saída do nosso secundário é de ~14 Vp.

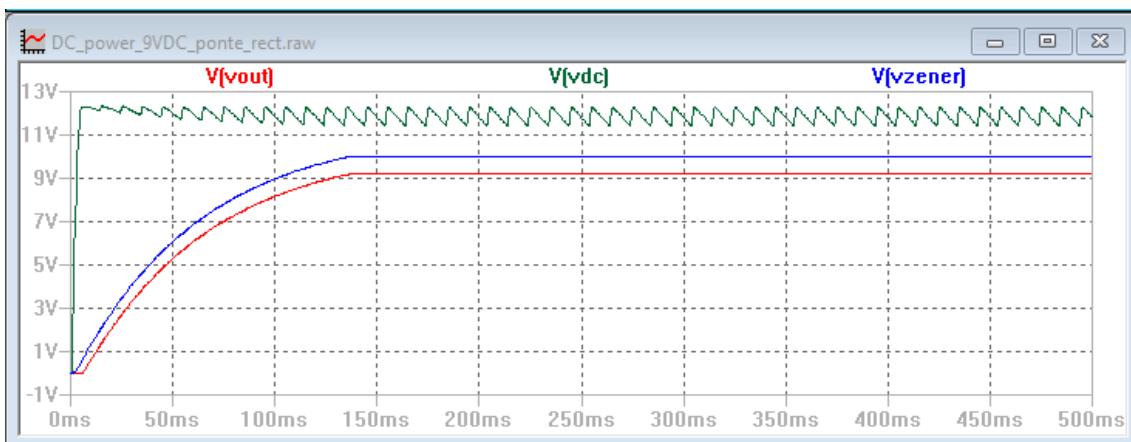


Figura 152: Plot de VDC, Vzener e Vout

Na Figura 152 estão as tensões medidas em 3 pontos do nosso circuito, sendo eles, a tensão entregue à nossa R (load), a tensão no zener e a tensão à saída da ponte rectificadora (constituída por 4 diodos 1N4001).

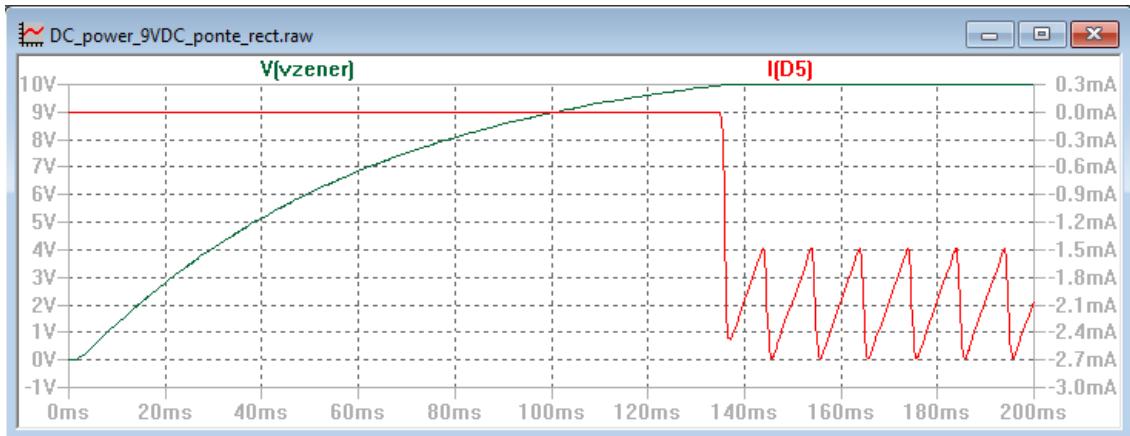


Figura 153: Corrente de zener ao atingir os 10V aos seus terminais

Podemos observar na figura Figura 153, o comportamento do diodo zener (D5). Este diodo tem um comportamento quando polarizado inversamente, entenda-se o “+” com o cátodo e o “-” no ânodo, que em função da sua tensão de referência o leva para o estado de condução. Regulando assim a tensão para o seu valor nominal (V de zener), nos seus terminais

No nosso exemplo trata-se de um zener de 10V e é visível que ele começa a conduzir quando nos seus terminais surge uma tensão superior ao seu valor de referência (10V). O que o zener faz é conduzir o excedente da tensão que lhe é fornecida através de R de $680\ \Omega$, tornando-se condutor para a massa GND (abreviatura de Ground) de forma a manter aos seus terminais o potencial do V de zener e forçando a R a dissipar o excedente de tensão convertendo-a em calor.

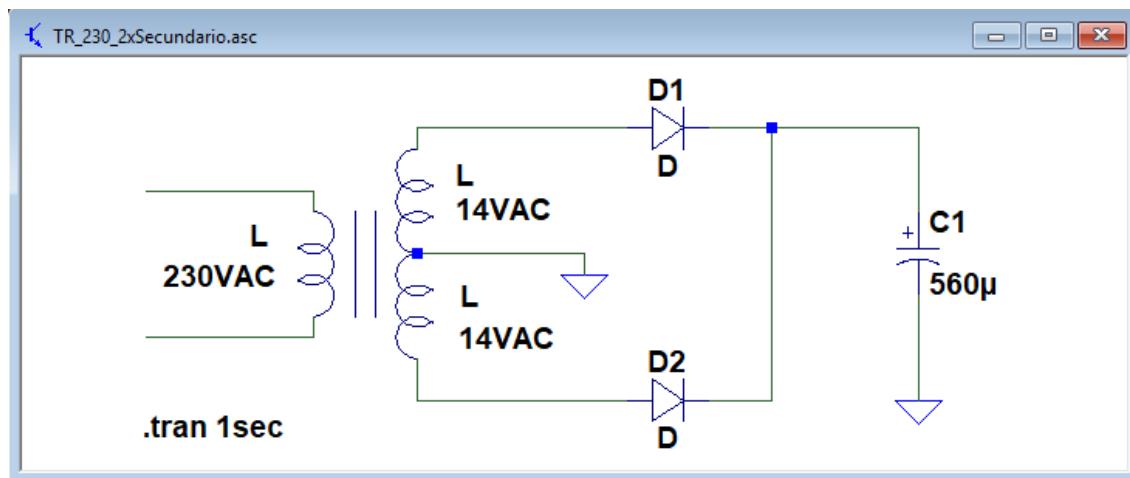


Figura 154: Rectificação de onda completa com TR de tomada intermédia.

Na figura Figura 154 pode-se observar um outro tipo de rectificação de onda completa que também foi muito utilizado na época em que os transformadores eram menos dispendiosos do que os componentes electrónicos. Hoje em dia, fica bastante mais económico a construção de fontes de alimentação “comutadas”. Estas

usam pequenos transformadores, que utilizam menos cobre no enrolamento e menos ferro no seu núcleo, uma vez que são baseados em enrolamentos de secção elevada e sujeitos a tensões, também elas elevadas a uma frequência acima dos 400Hz. Os drivers de potência para o ataque desses transformadores são normalmente constituídos por uma ponte "H" de MOSFET ou IGBT, um push-pull, ou mesmo um só driver de potência.

Um bom exemplo das fontes comutadas são as fontes dos PC (tower), assim como as dos PC portáteis que lhe são semelhantes mas estão numa caixa externa ao PC fornecendo uma só tensão (tipicamente ~19VDC, ~6A) que, posteriormente, é convertida para as restantes tensões (5VDC, 3,3VDC, 12VDC) já no interior do PC.

Como já se referiu, actualmente os transformadores são dispendiosos e vão rareando os circuitos que dele fazem uso, pelo que fica a sugestão para os amantes da electrónica que recorram às power source dos PC portáteis para utilizar a sua saída para a construção de uma fonte caseira uma vez que já está rectificada, sendo mais segura porque nunca se entra em contacto com as tensões elevadas da rede. Basta, para isso, adquirir uma tomada idêntica às que estão no PC onde encaixa a ficha que vem da fonte.

Há kits de reguladores que admitem a entrada de 6VDC a 50VDC e permitem ajustar a tensão e a corrente, obter leituras imediatas de consumo em Volts, Amperes e Watts, podendo-se sempre recorrer à família 78XX ou ao LM317, LM350K ou ainda o LM338K que são componentes que, adicionando um potenciómetro e 2 resistências, permitem criar fontes já para tensões até 32VDC e vários amperes.



Figura 155: Regulador LM350K cápsula TO3



Figura 156: LM317K cápsula TO3

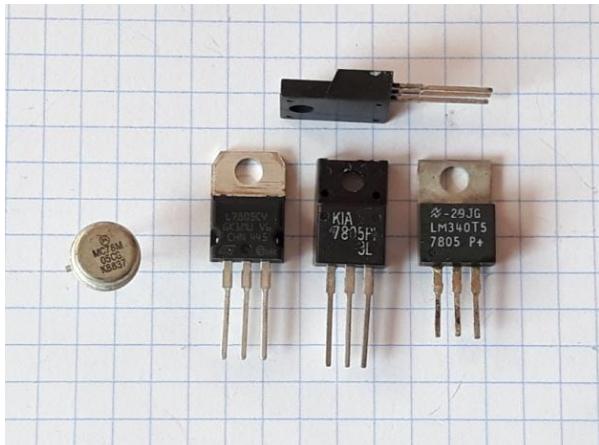


Figura 157: Reguladores família 78xx

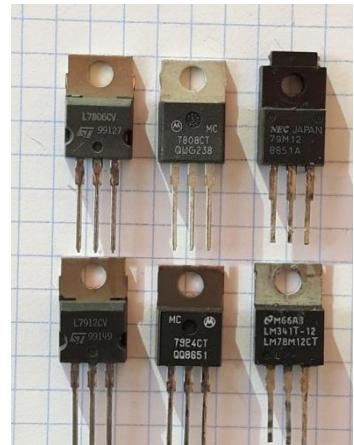


Figura 158: Reguladores 78xx e 79xx

As fontes de alimentação de laboratório para tensões DC possuem normalmente um limitador de corrente que nós podemos ajustar se calcularmos o consumo da resistência de carga. Pode-se assim limitar a potência entregue ao circuito, que é o mesmo que dizer que limitamos a corrente “I” (amperes).

O valor da corrente contínua ao atravessar uma carga, dissipa uma determinada potência calculada por uma fórmula já abordada. A corrente alterna do mesmo valor nominal dissipa a mesma potência ao atravessar a mesma carga porque quando falamos em corrente alterna referimo-nos por norma ao seu valor eficaz (rms: Root Mean Square).

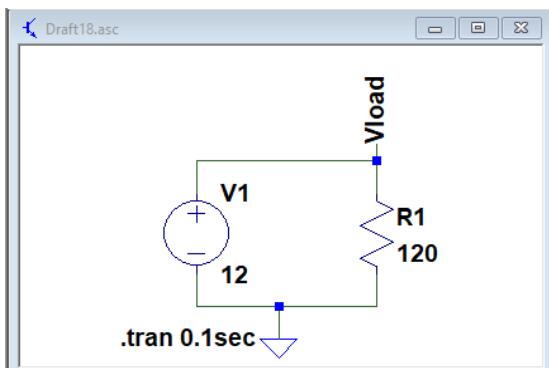


Figura 159: 12VDC com Rload 120Ω

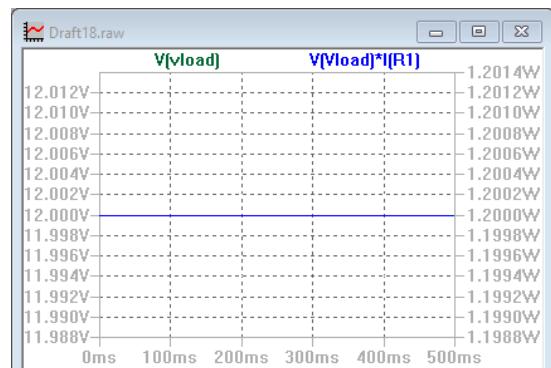


Figura 160: Plot potência dissipada

Na figura Figura 159 temos representado o esquema eléctrico para uma malha com uma fonte de tensão DC aplicada a uma R. No gráfico à direita pode-se observar o valor da potência dissipada em R, que é de 1,2W, seja: $(12^2/120=1.2)$ Watts.

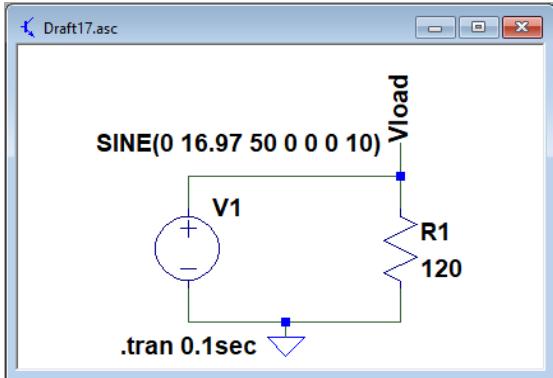


Figura 161: 12VAC rms com Rload de 120Ω

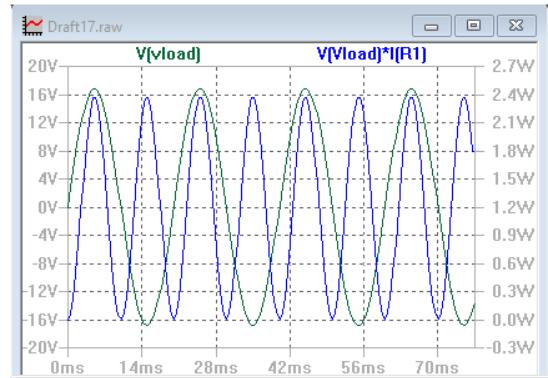


Figura 162: Plot Vpp e watts em R1

Na figura Figura 161 está representado o esquema eléctrico mas agora para uma malha com uma fonte de tensão AC aplicada a uma R. Verifica-se o acompanhamento da sinusoide de VAC (RMS) junto com a curva da potência (ver o quadro da Lei Ohm ($(V^2)/R$)).

As fontes de tensão não ficariam completas sem a abordagem das correntes trifásicas que, normalmente, não eram associadas à electrónica em geral. No entanto, porque a evolução vulgarizou os variadores de velocidade de motores industriais (VFD: variable frequency drive), as UPS (Uninterrupted power source) e os conversores de DC/AC é inevitável pensar na electrónica necessária para o seu comando pela seguinte ordem: electrónica de controle e electrónica de potência associada à corrente eléctrica trifásica.

Actualmente, os motores dos HardDisk dos PCs e de alguns fabricantes de máquinas de lavar roupa já usam motores “trifásicos”, de dimensões reduzidas e com tensões mais baixas, daí a necessidade de compreender o seu princípio.

Conforme o próprio nome indica, o trifásico significa que estamos na presença de 3 “phases” desfasadas entre si de 120°. Podemos, assim, pensar que nos circuitos trifásicos há um valor constante de uma fase e meia a chegar à carga, conforme demonstra o gráfico da Figura 164, se forem consideradas cargas em equilíbrio, (as cargas em desequilíbrio já saem do âmbito desta formação). É importante ter presente que o conceito trifásico se pode aplicar a tensões elevadas e baixas.

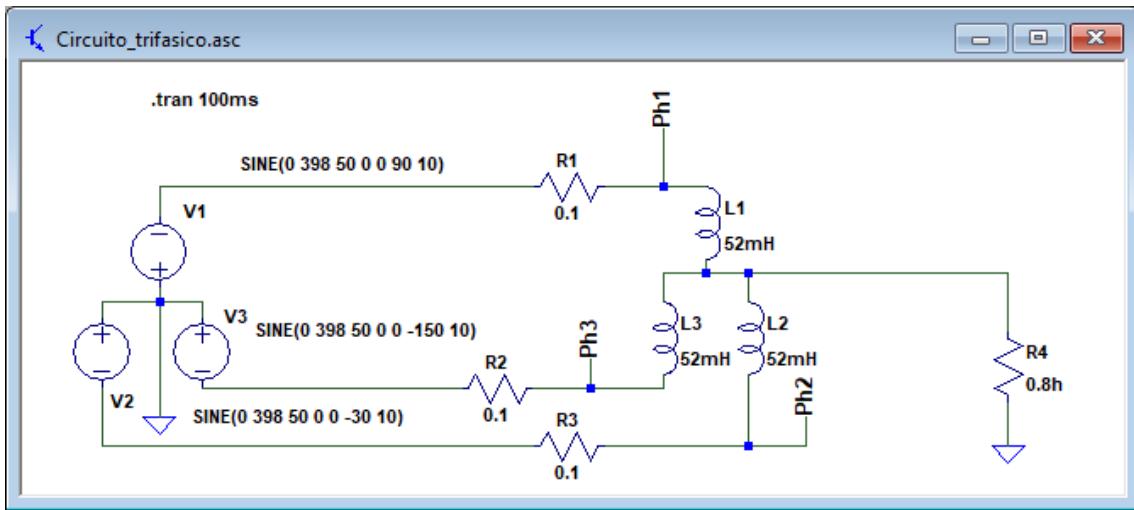


Figura 163: Circuito trifásico com cargas em equilíbrio

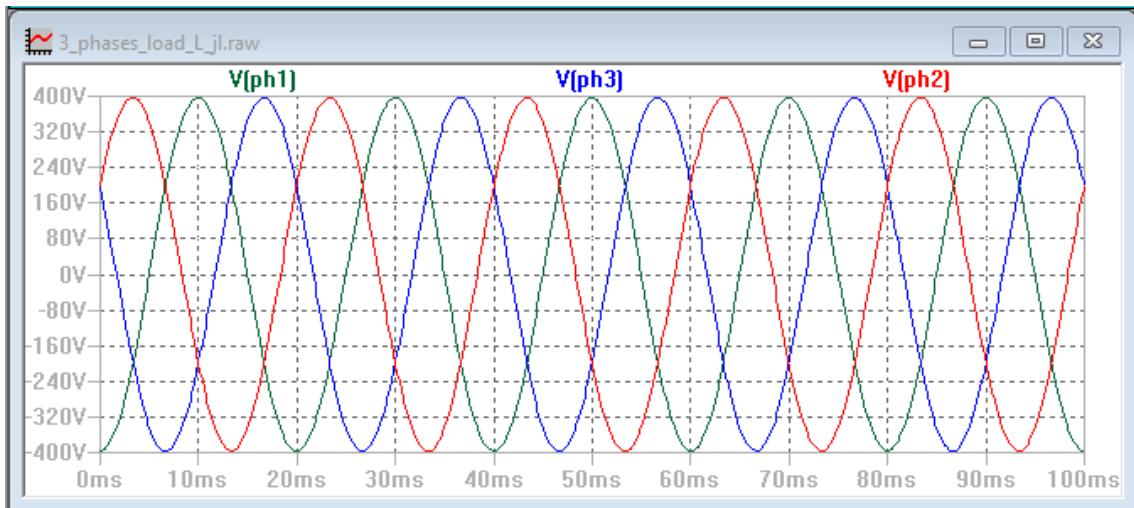


Figura 164: Plot de tensão de cada fase para 50Hz

Observando o gráfico das tensões trifásicas, podemos constatar que, por exemplo, aos 40mSec temos a amplitude máxima para o V de Ph1, já Ph2 e Ph3 se encontram pela sua metade. A amplitude máxima de Ph1, bem como Ph2 e Ph3 devem-se ao valor da tensão de fase de rede vezes a raiz de 3.

Valores da tensão de fase e tensão de linha: $230\text{VAC} * \sqrt{3} = 398\text{VAC}$

Assim, seja o motor para um Hard-Disk ou para uma máquina de lavar roupa, os seus enrolamentos podem ser usados em estrela ou triângulo adaptados para a tensão com que irá ser alimentado, conseguindo, desse modo, um rendimento superior, uma rotação mais estável e ainda uma longevidade superior.

Os motores normalmente usados nas máquinas de lavar roupa eram motores do tipo “Universal” fazendo, por isso, uso de escovas que os tornavam ruidosos e com uma

vida finita em função do desgaste das escovas. A electrónica tornou viável o uso de motores DC, sem escovas (Brushless), com múltiplos enrolamentos e sem limite de vida.

Alguns dos fabricantes de máquinas de lavar roupa adoptaram pelo uso de motores trifásicos, outros pelo uso de motores tipo “capstan”. O importante desta afirmação é o facto de afinal os motores trifásicos terem substituído os motores universais em curto espaço de tempo, vendo também eles agora os capstan tomar o seu lugar. Isto só acontece devido à aplicação da electrónica. Afinal os capstan eram os motores usados nos videogravadores, nos walkman, nos leitores de cassetes etc.

Ainda em relação as fontes de tensão AC ou DC podemos afirmar que um conversor AC/DC ou DC/AC, é actualmente um equipamento vulgar, sendo as quebras de energia durante o processo de conversão abaixo da ordem dos 5% estando em constante melhoria.

Como já havia sido referido, a electrónica encontra-se actualmente, muito ligada com os circuitos de potência. Essa necessidade de proximidade tem vindo a crescer devido ao facto de se usarem cada vez mais sistemas que empregam “switchs” geridos electronicamente. A electrónica encontrou assim um novo fôlego que tem sustentado a investigação e desenvolvimento, oriundo da industria automóvel e do aproveitamento das novas energias.

Os automóveis eléctricos e os centros de produção de energia (por exp: Eólicas) têm contribuído de forma significativa para estes avanços. No automóvel observamos uma tendência para a utilização de bancos de baterias com uma tensão DC acima dos 72V. O Miata usa 144V 90Amp a “50MpH * 1.6 =88km”, já o Tesla modelo S3, usa um banco de baterias de 400VDC com 85KWh para serem entregues a uma ponte H trifásica que faz mover o seu motor eléctrico.

Nos geradores eólicos a produção é feita em alternadores que geram AC, que é depois rectificada de forma a poder realizar-se o armazenamento instantâneo (bancos de condensadores ou baterias), sendo depois novamente convertida em AC, pois de outra forma seria difícil fazer a entrega à rede eléctrica de modo síncrono. Há para isso, unidades de controle que monitorizam a sinusoide da rede e fazem a conversão em “converters” de DC para AC de forma a seguir a sinusoide da rede para que a entrega seja o mais precisa e síncrona possível.

Quando se trata de conversores para uso em viaturas com motores eléctricos ou geradores, as potências empregues são já de alguma dimensão, sendo necessário o uso de componentes com alguma capacidade de suporte das correntes de pico e também capacidade de dissipação térmica, como são disso exemplo, os componentes destinados a uso com correntes trifásicas e dos quais se apresentam alguns exemplos em seguida..

Importa, no entanto, salientar que os IGBT usados no converter do “Tesla S” possuem encapsulamento do tipo TO247 em lugar do encapsulamento tipo “Brick”, sendo usados 14 por switch para suportar os 1500 Amps de pico, perfazendo um total de 84 IGBT por veículo só no conversor.



Figura 165: Diodo e thyristor para rectificação trifásica

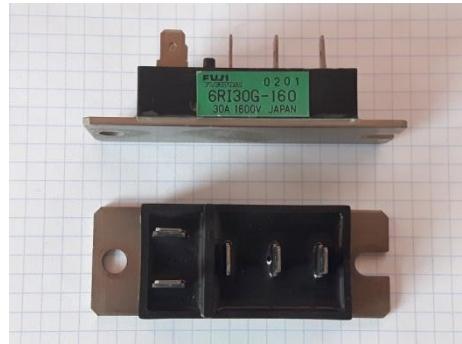


Figura 166: Ponte rectificadora trifásica



Figura 167: 6 x Half Bridge



Figura 168: Ponte H (6 x 20Amp) 500V

Na Figura 167 podemos observar um conjunto de 6 Half Bridge com transistores BJT capazes de suportar 30Amp e 100Amp de pico. A associação destes seis módulos permite a construção de uma ponte H trifásica para controle directo de um motor ou conversor também ele trifásico.

Na Figura 168 temos um híbrido com uma ponte H trifásica completa de 20 Amp e 40Amp de pico, sendo constituída por 6 conjuntos de 3 BJT em formato Darlington.

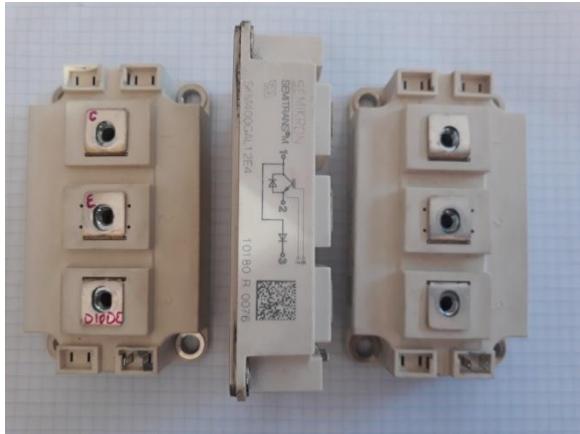


Figura 169: IGBT Semikron “SKM400GAL 12E4”

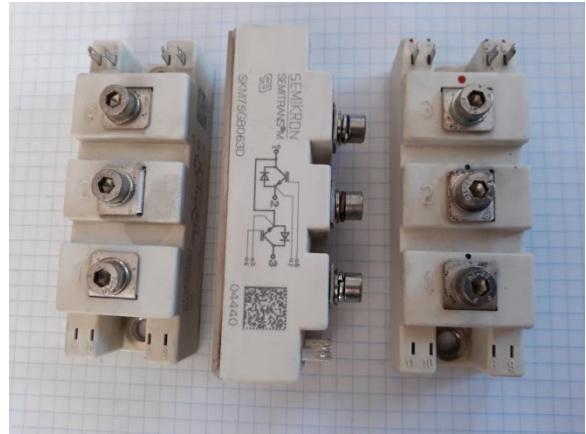


Figura 170: IGBT Semikron “SKM75GB063D”

Na Figura 169 pode-se observar um IGBT de 400Amperes de valor nominal, podendo atingir os 1200Amp de pico. Suporta valores de tensão até aos 1200Volts, sendo o seu disparo feito a partir dos 6VDC à gate, trata-se de um IGBT de 4^a geração.

Na Figura 170 está também um IGBT de 75Amperes e 600Volts. Este tipo de encapsulamento é frequentemente usado em variadores de velocidade (VFD) de motores industriais e fontes de alimentação ininterrupta (UPS).

8.4. Check Point

8.5. Avaliação

8.6. Proposta de trabalho

- ⇒ Realizar uma procura na Web sobre a realização de um circuito “Ponte H” com 2x Half e 3x Half

8.7. Desafio para Fórum

9. Análise de circuitos

9.1. Resumo

Neste capítulo pretende-se que o formando tome conhecimento de como são aplicadas as técnicas mais usuais na análise de circuitos. Sendo de extrema importância na concepção e diagnóstico de circuitos electrónicos ou eléctricos, estas técnicas são usadas quer se trate de um pequeno circuito electrónico ou de uma rede de distribuição eléctrica.

9.2. Teste de diagnóstico

9.3. Recursos didáticos

9.3.1. Thévnin

O teorema de “Thévnin” deve o seu nome a Léon Charles Thévenin (1857–1926) engenheiro francês que o usou na análise do comportamento de traçados de cabo em circuitos de telecomunicações.

A ideia consiste em que qualquer circuito linear, que contenha portanto, somente fontes de tensão, fontes de corrente e resistências, se pode escolher uma R para a partir dela proceder ao estudo de todo o circuito. Circuito esse que após o estudo, pode ser substituído por uma fonte de tensão e uma resistência equivalente. A este conjunto chamamos o “Equivalente de Thévnin”.

A aplicação do teorema em circuitos AC é realizada do mesmo modo, mas generalizando as impedâncias como de resistências se tratassem.

Para determinar os valores da fonte de tensão e da resistência equivalente realizam-se os seguintes passos:

- Remove-se do circuito a resistência em estudo nomeando os pontos onde estava ligada ao circuito como pontos “A” e “B”.
- Substituem-se as fontes de tensão por curto-círcuito e as fontes de corrente por circuito aberto (no exemplo dado só há uma fonte de tensão).
- Calcula-se a Resistência do circuito vista a partir dos pontos A e B em aberto.
- Repõem-se as fontes e calcula-se a tensão aos terminais A e B em aberto

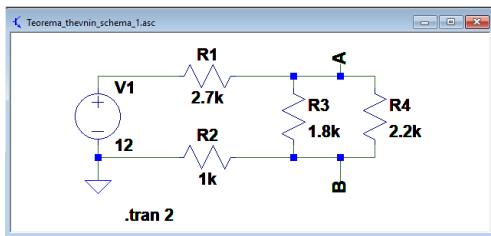


Figura 171: Nomear pontos AB para a R4

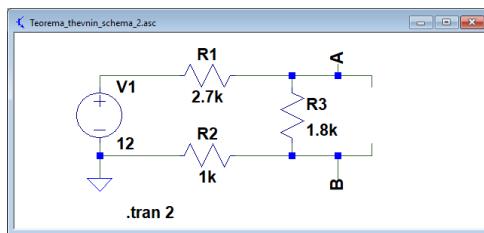


Figura 172: Remoção de R4 do circuito

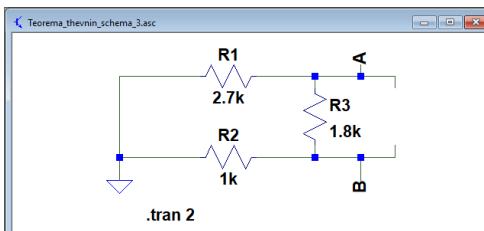


Figura 173: Aplicação de chante na fonte

Observando o circuito a partir de AB verificamos que há uma resistência de 1.8K em paralelo com uma resistência de 3.7k que resulta da associação em série de R1 e R2. Após a simplificação de R1 e R2, pode-se optar por uma das duas formulas que se seguem. Na primeira vamos pelo inverso da resistência, na segunda pela associação resistiva. Recorda-se¹ aqui que a primeira é mais vantajosa para a situação de várias R's em paralelo, já a segunda só permite associar duas a duas de cada vez.

$$\frac{1}{\frac{1}{1800} + \frac{1}{3700}} = 1210.90909091$$

Figura 174: Método calculo I

Na Figura 171 está o circuito a aplicar o teorema, considerando-se a resistência R4 como sendo o dipolo a ser estudado.

Na Figura 172 está o circuito após a remoção de R4, ficando, assim com os pontos AB para os quais se pretende obter a resistência e a tensão equivalentes.

Na Figura 173 aplicou-se um chante aos terminais da fonte de tensão para se poder calcular a resistência do circuito visto a partir dos pontos AB

$$\frac{1800 \cdot 3700}{1800+3700} = 1210.90909091$$

Figura 175: Método calculo II

Após o cálculo da Rth (Resistência Thévinin) vamos calcular a tensão de Thevenin presente nos pontos AB, repondo, para isso as fontes no circuito.

¹ Assunto estudado em "R paralelo"

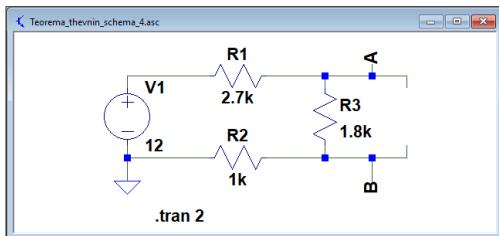


Figura 176: Reposição do circuito

Regressamos ao circuito inicial para se proceder ao cálculo da tensão aos terminais AB, podendo usar para isso o método da corrente na malha, ou o divisor de tensão

No método do divisor de tensão a resistência onde se pretende a tensão fica no numerador, sendo o denominador a soma de todas as R's na malha. O resultado dessa operação é usado para realizar o produto com V, resultando na tensão aos terminais da R pretendida.

$$\frac{1800}{2700+1800+1000} \cdot 12 = 3.92727272727$$

Figura 177: Aplicação do divisor de tensão

Neste método uma só operação matemática fornece o valor do V de Thévnin.

Para o método da corrente que se descreve abaixo obtém-se em primeiro lugar a corrente que percorre a malha constituída pelas R1,R2 e R3 efectuando o produto dessa corrente pela resistência onde se pretende conhecer a tensão aos seus terminais.

$$\frac{12}{2700+1800+1000} = 0.002181818182$$

Figura 178: Calculo de corrente na malha

$$0.002181818182 \cdot 1800 = 3.92727272727$$

Figura 179: Uso da corrente para obter o V

Após a realização destes quatro passos ficamos na posse dos valores que constituem o nosso Thévnin (V_{th} e R_{th}) podendo assim construir o circuito equivalente:

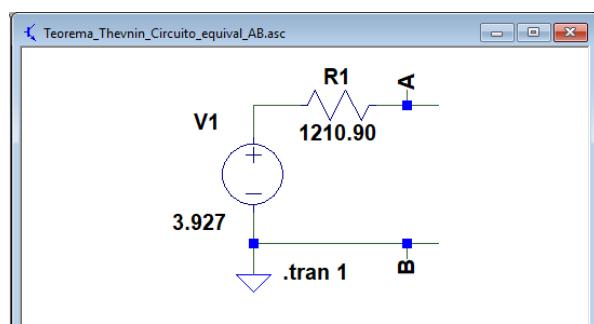


Figura 180: Circuito equivalente Thévnin

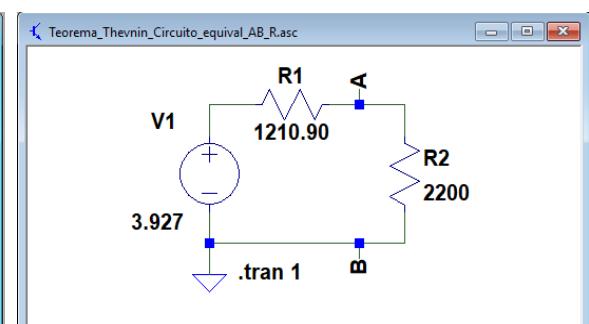


Figura 181: Circuito com a R estudada

9.3.2. Norton

O teorema de “Norton” deve o seu nome a Edward Lawry Norton (28 July 1898 – 28 January 1983). Começou a sua carreira de engenheiro em 1922 no Departamento de Engenharia da Western Electric Company, que mais tarde se tornou a “Bell Laboratory”.

A ideia consiste em que qualquer circuito linear, que contenha portanto, somente fontes de tensão, fontes de corrente e resistências, se pode escolher uma R para a partir dela proceder ao estudo de todo o circuito. Circuito esse que após o estudo, pode ser substituído por uma fonte de Corrente e uma resistência equivalente. A este conjunto chamamos o “Equivalente de Norton”.

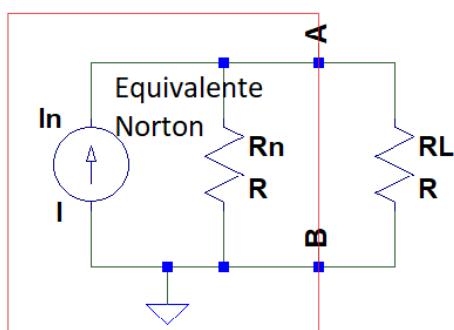


Figura 182: Pontos AB

A confirmação da aplicação do teorema resulta da obtenção da corrente entre os pontos A e B. Para isso é aplicado o amperímetro de forma a fechar o ponto A e B sem a presença da resistência RL no circuito

A aplicação do teorema em circuitos AC é realizada do mesmo modo, mas generalizando as impedâncias como se de resistências se tratassem.

Para determinar os valores da fonte de Corrente e da resistência equivalente realizam-se os seguintes passos:

- Remove-se do circuito a resistência em estudo nomeando os pontos onde estava ligada ao circuito como pontos “A” e “B”.
- Substituem-se as fontes de tensão por curto-circuito e as fontes de corrente por circuito aberto (no exemplo dado só há uma fonte de Tensão).
- Calcula-se a Resistência de Norton do circuito vista a partir dos pontos A e B em aberto, após a remoção da resistência em análise.
- Repõem-se as fontes e calcula-se a corrente no circuito com os terminais A e B em curto-circuito.

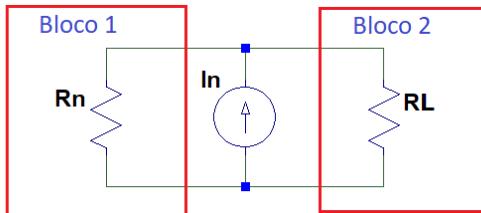


Figura 183: Blocos do circuito a analisar.

O resultado final é uma corrente e uma resistência obtidas considerando o bloco 1 e o bloco 2 sem qualquer fonte de tensão ou corrente.

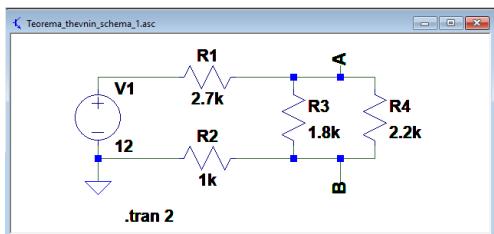


Figura 184: Nomear pontos AB para a R4

Na Figura 184 está o circuito a aplicar o teorema. Considera-se a resistência R4 como sendo o dipolo a ser estudado.

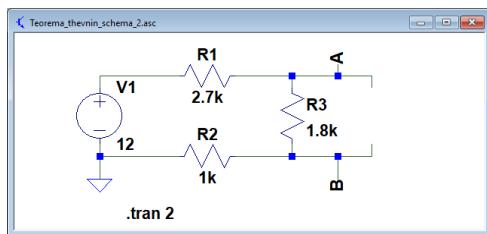


Figura 185: Remoção de R4 do circuito

Na Figura 185 está o circuito após a remoção de R4, ficando, assim com os pontos AB para os quais se pretende obter a resistência e a tensão equivalentes.

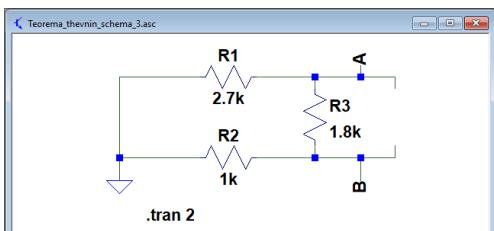


Figura 186: Aplicação de chante na fonte

Na Figura 186 aplicou-se um chante aos terminais da fonte de tensão para se poder calcular a resistência do circuito visto a partir dos pontos AB

Observando o circuito a partir de AB verificamos que há uma resistência de 1.8K em paralelo com uma resistência de 3.7k que resulta da associação em série de R1 e R2. Após a simplificação de R1 e R2, pode-se optar por uma das duas fórmulas que se seguem. Na primeira vamos pelo inverso da resistência, na segunda pela associação resistiva. Recorda-se² aqui que a primeira é mais vantajosa para a situação de várias R's em paralelo, sendo que a segunda só permite associar duas a duas de cada vez.

² Assunto estudado em "R paralelo"

$$\frac{1}{\frac{1}{1800} + \frac{1}{3700}} = 1210.90909091$$

Figura 187: Método calculo I

$$\frac{1800 \cdot 3700}{1800+3700} = 1210.90909091$$

Figura 188: Método calculo II

Após o cálculo da R_n (Resistência Norton) vamos calcular a corrente de Norton presente nos pontos A-B, repondo, para isso as fontes no circuito.

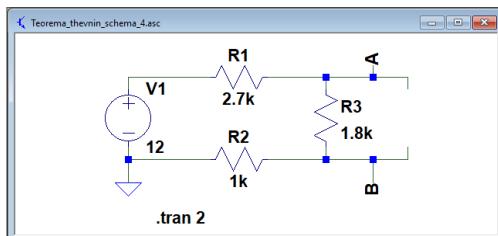


Figura 189: Reposição do circuito

Ao realizar um chante entre os terminais dos ponto A-B, fica-se na presença de uma fonte de tensão de 12V aplicada a uma malha constituída por R_1 e R_2 , uma vez que R_3 fica anulada pelo Shunt. Calculando a corrente que resulta de 12V aplicados a uma R de 3700 ohms, obtemos 3,2mA, chegando, assim às componentes do nosso circuito equivalente de Norton, onde a R_n toma o valor de 1210 ohms e a fonte de corrente de Norton tem um valor de 3.24mA.

Regressamos ao circuito inicial e realizamos um chante no ponto A-B, calculando de seguida a corrente da malha.

$$\frac{12}{3700} = 0.003243243243$$

Figura 190: Aplicando $V/R=I$

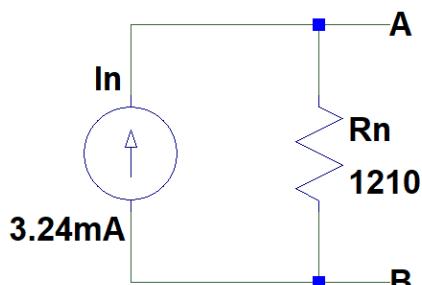


Figura 191: R Norton

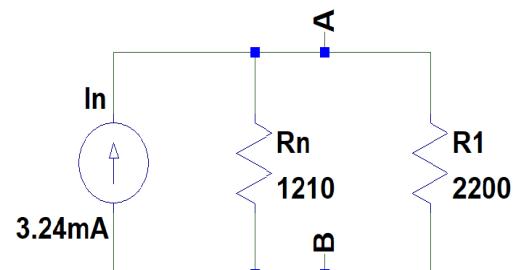


Figura 192: R estudada e a R Norton.

8.1.1. Teorema do gerador em paralelo

O circuito apresentado na Figura 193 conta com a contribuição de várias fontes de tensão e corrente, requerendo por isso uma análise repartida. Aplicam-se as regras para a substituição de fontes de tensão por um “chante” e as fontes de corrente por um circuito em aberto. Deve-se aplicar uma atenção especial sobre a polaridade das fontes presentes no circuito.

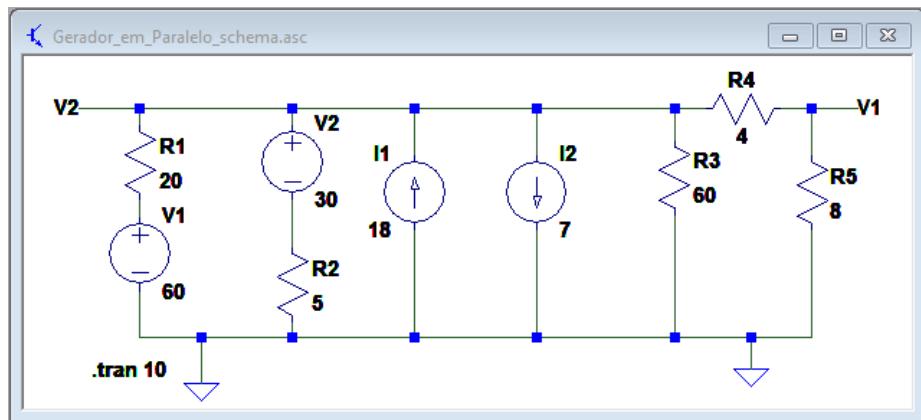


Figura 193: Circuito a analisar

No “plot” apresentado na Figura 194 encontram-se os valores que resultam da simulação do circuito para os valores de tensão nos pontos V1 e V2 com a totalidade das fontes presentes no circuito.

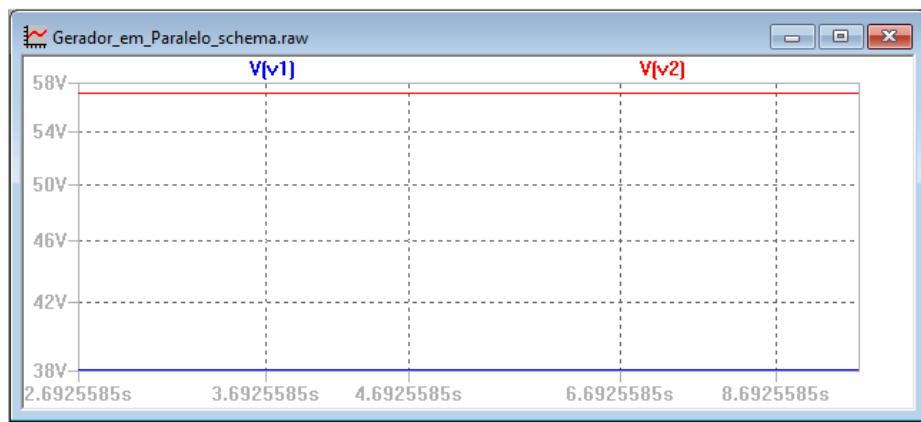


Figura 194: Plot dos valores de V

É possível analisar este circuito usando vários métodos: decompondo o circuito em partes, pela lei das malhas, malhas independentes, dos “nós”, etc... não tendo sido

temas abordados nesta acção vamos dedicar-nos ao seu estudo pelo método do “gerador em paralelo”.

Num circuito com várias de fontes de tensão e fontes de corrente, podemos afirmar que a tensão num determinado ponto, resulta da soma da contribuição que cada uma das fontes realiza para esse mesmo ponto.

Matematicamente pode-se usar a seguinte fórmula:

$\frac{\sum (V * \frac{1}{\Omega})_x + \sum (I_{max})_x}{(\frac{1}{\Omega})_x}$	Resulta na soma de todos os produtos das fontes de Tensão por a conductância do circuito adicionado com todas as correntes sobre a soma de todas as conductâncias. O “x” representa o índice.
---	---

$\frac{60 \cdot \frac{1}{20} + 30 \cdot \frac{1}{5} + 18 - 7}{\frac{1}{20} + \frac{1}{5} + \frac{1}{60} + \frac{1}{12}} = 57.1428571429$	Note-se no numerador a fonte de corrente de (-7Amp) que possui o sentido inverso da fonte de 18Amp. No denominador temos a soma de todas as admitâncias do circuito.
--	--

Depois de se determinar a tensão V2 e uma vez que o ponto V2 se encontra aplicado sobre a série constituída por R4 e R5, necessitamos de aplicar a regra de um divisor de tensão para conseguir determinar o valor de tensão presente em V1.

Na Figura 195 e na Figura 196, encontra-se o primeiro passo da simplificação para análise do circuito por sobreposição que neste caso consiste em quatro passos onde em cada um deles é analisada a contribuição individual de cada fonte de tensão ou de corrente.

1º Passo:

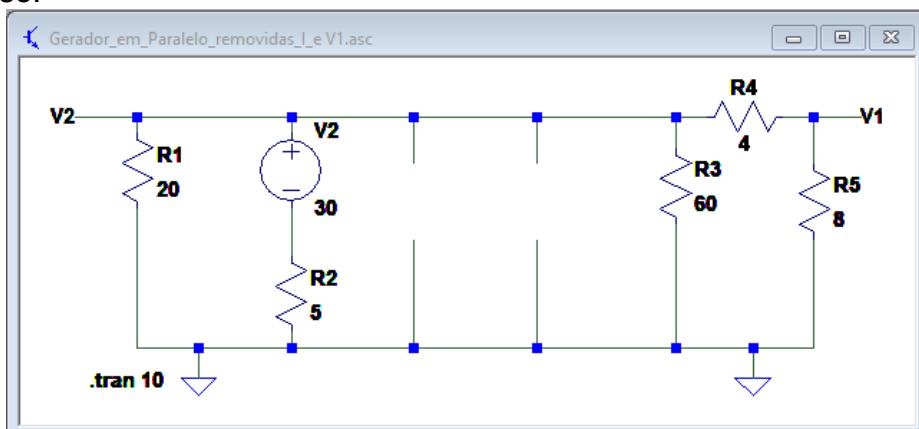


Figura 195: Após substituição das duas fontes de corrente e da de 60V

Neste “passo”, procedeu-se à substituição da fonte de 60Volts e das duas fontes de corrente, deixando somente a fonte de 30V no circuito.



Figura 196: Plot após aplicação do passo 1

Observe-se na Figura 196 o “plot” com valores obtidos para a primeira simplificação.

2º passo:

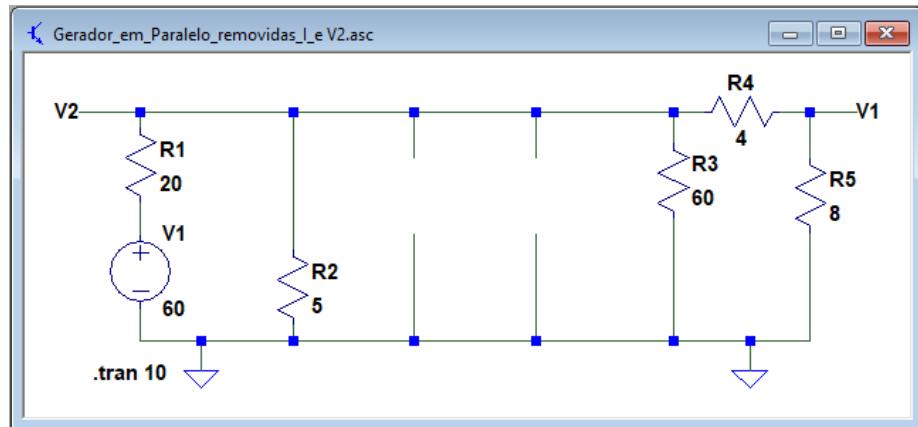


Figura 197: Só com a fonte de 60V

Neste “passo” as fontes removidas foram a de 30Volts e as duas fontes de corrente ficando somente a fonte de 60Volts no circuito em análise.

Para analisar este sub-circuito vamos proceder ao cálculo do paralelo de R2 com R3, realizando-se de seguida, a soma da série R4 e R5, que por sua vez se encontra em paralelo com a R equivalente que resultou do paralelo R3 e R2. Após o cálculo de R2, R3, R4 e R5, ao resultado obtido vamos adicionar em série com a R1. Finalmente determinamos o valor da corrente no circuito realizando: $60V / 23.33\Omega = 2.57$ Amp.

Agora podemos obter o valor em V2 aplicando o divisor de tensão a R1 e $R_{eq}(3.33\Omega)$ ficando com $60V * (3.33 / (20 + 3.33)) = 8.56V$ para o valor presente em R_{eq} , então V1 resultará de $8.56V * (8 / (4 + 8)) = 5.70V$

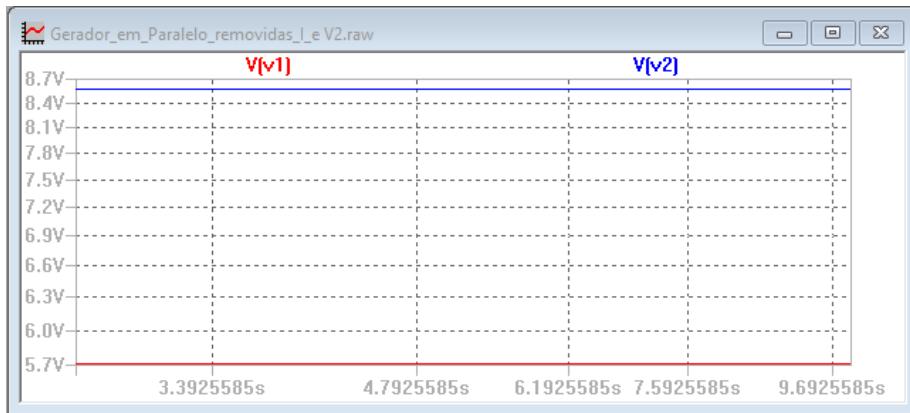


Figura 198: Após aplicação do passo 2

Na Figura 198 encontra-se o “plot” resultante da substituição efectuada no segundo passo.

3º passo:

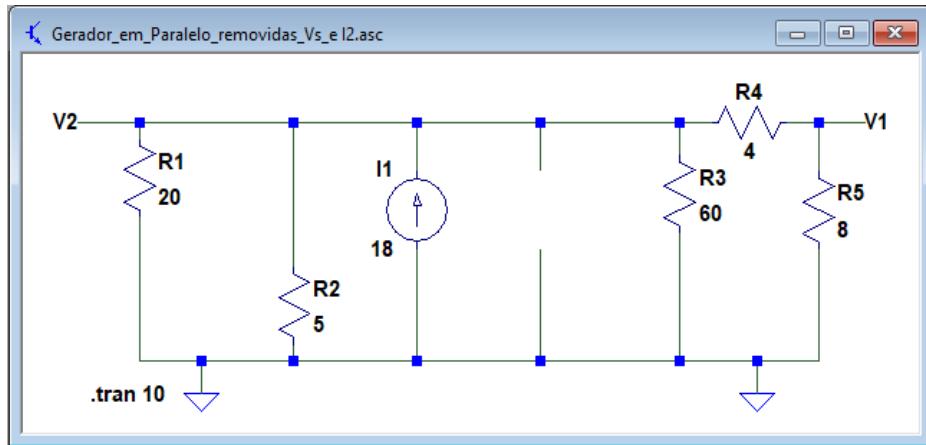


Figura 199: Após aplicação do 3º passo

$$\frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{5} + \frac{1}{60} + \frac{1}{12}} = 2.85714285714$$

Figura 200: Calculo da impedância usando a admitância

$$18 \cdot 2.8571428571429 = 51.4285714286$$

Figura 201: Calculo do V em função de R e I

Neste “passo” observamos o comportamento do circuito com a presença da fonte de corrente de 18Amp.

Relembra-se o facto de mais uma vez ser necessária a aplicação do divisor de tensão sobre R4 e R5 para a obtenção de V1.



Figura 202: Plot após 3º passo

Na Figura 202 encontra-se o “plot” que resulta da contribuição da fonte de corrente de 18Amp.

4º Passo:

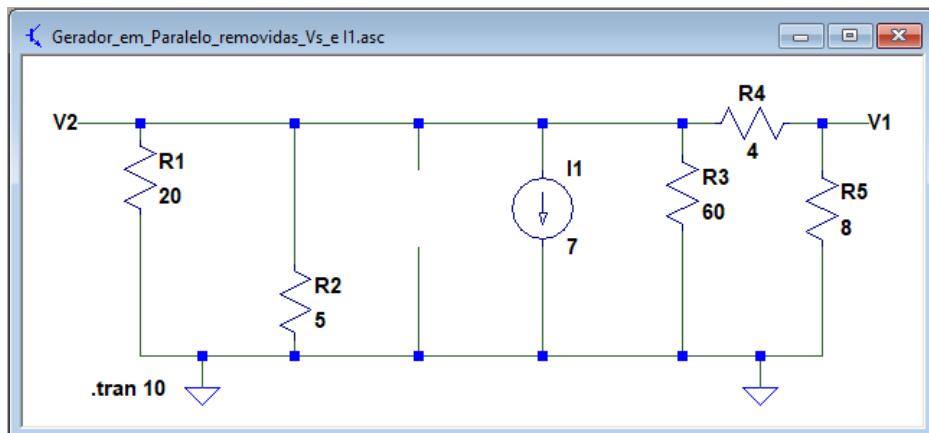


Figura 203: Circuito após aplicação do 4º passo.

Por último observa-se a contribuição da fonte de corrente de -7Amp para o circuito.



Figura 204: Plot apóis aplicação do 4º passo

No “plot” da Figura 204 apresentam-se os valores observados na contribuição para o circuito da fonte de corrente de (-7Amp).

Com a apresentação destes três métodos, Thevnin, Norton e Gerador em paralelo, já teve de se recorrer às regras aplicadas à associação de resistências em série e em paralelo, assim como aplicar o divisor de tensão para ter sucesso na análise dos circuitos apresentados.

8.1.2. Check-Point

8.1.3. Teste de Avaliação

8.1.4. Proposta de Trabalho

8.1.5. Desafio para o Fórum

Damos como concluída a nossa acção de formação de “Introdução à Electrónica” e a alguns dos seus componentes, convictos de que o formando teve acesso às matérias de estudo necessárias para poder olhar de forma mais profunda o mundo da electrónica actual.

9. Menemónicas:

THT	Through Hole Technology	Tecnologia que usa furos
SMD	Surface-Mount Devices	Montagem de superfície
SMT	Surface-Mount Technology	Tecnologia de montagem superfície
AC	Alternating current	Corrente alternada
DC	Direct current	Corrente contínua
"H"	H bridge	Ponte "H"
	Half Bridge	Meia ponte
DTL	Diode transistor logic	Lógica transistor diodo
TTL	Transistor transistor logic	Lógica transistor transistor
FET	Field effect transistor	Transistor efeito de campo
MOSFET	Metal oxide semiconductor FET	Semicondutor óxido metal & FET
BJT	Bipolar junction transistor	Transistor junção bipolar
PCB	Printed Circuit Board	Placa circuito impresso
	Honey Comb Winding	Bobine ninho de abelha
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor	BJT de gate isolada
rms	Root Mean Square	Raiz média quadrática
VFD	Variabel frequency drive	Driver de frequência variável
UPS	Uninterrupted power source	Fonte tensão ininterrupta
LCD	Liquid Cristal Display	Visor de cristais líquidos
IR	infrared light-emitting diode	Diodo emissor de infra-vermelhos

10. LISTAS

10.1. Imagens

Figura 1: C de 0.22 Farad 10V	7
Figura 2: C de 0.22 Farad	7
Figura 3: C de 680 μ F	7
Figura 4: C 4 μ F 400VDC	7
Figura 5: C 100 μ F 63V	7
Figura 6: 1500 μ F 420VDC	7
Figura 7: 33nF	7
Figura 8: 3,3nF	7
Figura 9: 47nF	7
Figura 10: 33pF	8
Figura 11: 1pF	8
Figura 12: 47pF	8
Figura 13: 68pF	8
Figura 14: 82pF	8
Figura 15: Vários C's tipo SMD	8
Figura 16: 39 m Ω 30 Watts	8
Figura 17: R SMD de 220m Ω	8
Figura 18: 1k Ω 40 Watts.....	8
Figura 19: R 1K Ω	9
Figura 20: 10 Ω	9
Figura 21: R 10 Ω 50Watts.....	9
Figura 22: 100uH.....	9
Figura 23: 220uH.....	9
Figura 24: L de 10 μ H.....	9
Figura 25: Fusível 25Ampers	10
Figura 26: Fusível de 2 Amp & 500miliAmp em suporte SMD	10
Figura 27: Fusível 50Amp 400V	10
Figura 28: Vários Fusíveis 5x20, com diferentes tipos marcação	10
Figura 29: Fusíveis de aplicação directa em circuito impresso.....	10
Figura 30: Fusível 32 Amp.com referência à cápsula	10
Figura 31: Multímetro analógico	13
Figura 32: Escala Múltímetro analógico	14
Figura 33: Multímetro digital	15
Figura 34: Osciloscópio com CRT	16
Figura 35: Osciloscópio digital de 4 pontas prova	17
Figura 36: Osciloscópio e ponta prova	18
Figura 37: Visualização	18
Figura 38: Gerador de Funções	19
Figura 39: Onda Quadrada e Dente-Serra	19
Figura 40: Onda Triangular e Sinusoidal.....	19
Figura 41: Frequencímetro	21
Figura 42: Fonte de alimentação.....	21

Figura 43: Pinça para usar em componentes de dois pontos de solda.....	24
Figura 44: Método aplicação da pinça.....	24
Figura 45: Pistola com bomba de sucção	24
Figura 46: Uso pistola sucção.....	24
Figura 47: Ferro com pontas permutáveis.....	25
Figura 48: Uso ferro para solda ponto a ponto.....	25
Figura 49: Pistola sucção S7000.....	26
Figura 50: Ferro JBC 30 Watts.....	26
Figura 51: Ferro JBC 70 Watts.....	26
Figura 52: Ferro JBC 14 Watts.....	26
Figura 53: Exemplo de um ponto de solda que requer um ferro robusto.	26
Figura 54: PCB.....	26
Figura 55: Pistola de ar quente (<450º).....	27
Figura 56: Termómetro digital (pistola).....	28
Figura 57: Protoboard de 830 contactos	29
Figura 58: Vista inferior dos contactos de 3 placas protoboard lado a lado	29
Figura 59: O "+" líquido cede ao "-"	30
Figura 60: 3 camadas (K, L, M) do Átomo de Silício	31
Figura 61: Átomos de silício com lacunas	31
Figura 62: Silício com fósforo para mais um electrão (channel N)	31
Figura 63: Resistências planas SMD	35
Figura 64: Resistências tubulares SMD	35
Figura 65: Resistências variáveis e potenciômetros de vários formatos	36
Figura 66: Aspecto da superfície e do cursor de uma resistência variável.....	36
Figura 67: Circuito fonte DC 10V e Rload 100Ω.....	37
Figura 68: Fonte de corrente e Rload de 22Ω.....	37
Figura 69: Fonte 48VDC e R?	37
Figura 70: Resistência em série e paralelo.	38
Figura 71: Formulário da Lei Ohm.....	39
Figura 72: Componentes de um C electrolítico.	41
Figura 73: Símbolo de C electrolítico	41
Figura 74: Camadas de um C de tantálo.....	41
Figura 75: C de Poliéster (Película ou filme)	42
Figura 76: C cerâmico	42
Figura 77: Campo eléctrico nas placas C.....	43
Figura 78: Fonte 22VDC para carga de C.....	43
Figura 79: Plot da carga de C.....	44
Figura 80: Condensador variável sintonia (Radio portátil).....	45
Figura 81: Condensador variável sintonia	45
Figura 82: Bobine filtro de potência.....	48
Figura 83: Bobines Potência	48
Figura 84: Bobine filtro	48
Figura 85: Bobine Sintonia	48
Figura 86: Bobine Sintonia	48
Figura 87: Bobine Choke.....	48
Figura 88: Circuito para observar carga de L	49

Figura 89: Observação da corrente na bobine	49
Figura 90: Transformador 24V 150VA.....	51
Figura 91: Transformador 12V 250VA.....	51
Figura 92: Base TR 15-0-15	52
Figura 93: Topo TR 15-0-15	52
Figura 94: Base TR 2 x 18.....	52
Figura 95: Topo TR 2 x 18.....	52
Figura 96: Base TR 9-0-9 e 18	52
Figura 97: Topo TR 9-0-9 e 18	52
Figura 98: Fonte 12VAC para lampâda	53
Figura 99: Transformador P=220VAC S=9VAC	53
Figura 100: Diodo 1N4007	56
Figura 101: Diodo BAV21	56
Figura 102: Diodos zener	56
Figura 103: Diodos Infra Red	56
Figura 104: Diodos LED	56
Figura 105: OA91	56
Figura 106: Símbolo do transistor NPN	58
Figura 107: NPN camadas	58
Figura 108: Símbolo do transistor PNP	58
Figura 109: PNP camadas	58
Figura 110: Par transistor complementar	59
Figura 111: TR A611	59
Figura 112: Complementares (capsula TO3)	59
Figura 113: Encapsulamento transistor SMD	60
Figura 114: Encapsulamento transistor SMD	60
Figura 115: Encapsulamento transistor SMD	60
Figura 116: Encapsulamento transistor SMD	60
Figura 117: Polarização para o PNP	60
Figura 118: Polarização para o NPN.....	60
Figura 119: Determinação da curva característica do 2N2222.....	62
Figura 120: Curva característica do TR 2N2222	63
Figura 121: Transistor Darlington NPN	64
Figura 122: BJT Darlington modelo BC516 (cápsula TO92)	64
Figura 123: Par complementar Darlington (cápsula TO247)	64
Figura 124: Modelo 2N3846 usado em rádio frequência.....	64
Figura 125: "Multi Tester" de semicondutores	65
Figura 126: Teste de um FET.....	65
Figura 127: Teste de um BJT	65
Figura 128: Thyristor símbolo	66
Figura 129: Diodos e thyristores.....	66
Figura 130: Thyristor CS45 (TO247)	66
Figura 131: Circuito com SCR	66
Figura 132: Tensões de SCR e Vload	67
Figura 133: Diodo zener a controlar o SCR	68
Figura 134: Plot control SCR com Vzener 22V	68

Figura 135: Símbolo do IGBT	69
Figura 136: IGBT em encapsulamento Brick.....	69
Figura 137: Símbolo MOSFET	70
Figura 138: MOSFET 47N60C3 47Amp 650V (capsula TO247)	70
Figura 139: IRF250 e BUZ36	70
Figura 140: TO3 em desuso e TO247 usada actualmente.....	70
Figura 141: BS170, FET switching Enhancement, channel N	71
Figura 142: BF245, FET para RF e AF	71
Figura 143: BS250, D-MOS enhancement, channel P	71
Figura 144: Processador iMPP da Intel.....	73
Figura 145: CD4011	73
Figura 146: Exemplos de invólucros de Circuitos integrados	73
Figura 147: Luva e braçadeira antiestática	73
Figura 148: Rectificação de meia onda	76
Figura 149: Plot das tensões na rectificação de meia onda	76
Figura 150: Valor tensão AC pico a pico(Vpp)	77
Figura 151: Fonte de tensão regulada e não estabilizada.....	78
Figura 152: Plot de VDC, Vzener e Vout.....	78
Figura 153: Corrente de zener ao atingir os 10V aos seus terminais	79
Figura 154: Rectificação de onda completa com TR de tomada intermédia.	79
Figura 155: Regulador LM350K cápsula TO3	80
Figura 156: LM317K cápsula TO3.....	80
Figura 157: Reguladores família 78xx	81
Figura 158: Reguladores 78xx e 79xx	81
Figura 159: 12VDC com Rload 120Ω	81
Figura 160: Plot potência dissipada	81
Figura 161: 12VAC rms com Rload de 120Ω	82
Figura 162: Plot Vpp e watts em R1	82
Figura 163: Circuito trifásico com cargas em equilibrio	83
Figura 164: Plot de tensão de cada fase para 50HZ	83
Figura 165: Diodo e thyristor para rectificação trifásica.....	85
Figura 166: Ponte rectificadora trifásica	85
Figura 167: 6 x Half Bridge	85
Figura 168: Ponte H (6 x 20Amp) 500V	85
Figura 169: IGBT Semikron “SKM400GAL 12E4”	86
Figura 170: IGBT Semikron “SKM75GB063D”	86
Figura 171: Nomear pontos AB para a R4	88
Figura 172: Remoção de R4 do circuito	88
Figura 173: Aplicação de chante na fonte	88
Figura 174: Método calculo I	88
Figura 175: Método calculo II	88
Figura 176: Reposição do circuito	89
Figura 177: Aplicação do divisor de tensão.....	89
Figura 178: Calculo de corrente na malha	89
Figura 179: Uso da corrente para obter o V	89
Figura 180: Circuito equivalente Thévinin	89

Figura 181: Circuito com a R estudada	89
Figura 182: Pontos AB	90
Figura 183: Blocos do circuito a analisar.....	91
Figura 184: Nomear pontos AB para a R4	91
Figura 185: Remoção de R4 do circuito	91
Figura 186: Aplicação de chante na fonte	91
Figura 187: Método calculo I	92
Figura 188: Método calculo II	92
Figura 189: Reposição do circuito	92
Figura 190: Aplicando $V/R=I$	92
Figura 191: R Norton.....	92
Figura 192: R estudada e a R Norton.....	92
Figura 193: Circuito a analisar.....	93
Figura 194: Plot dos valores de V	93
Figura 195: Após substituição das duas fontes de corrente e da de 60V	94
Figura 196: Plot após aplicação do passo 1	95
Figura 197: Só com a fonte de 60V	95
Figura 198: Após aplicação do passo 2	96
Figura 199: Após aplicação do 3º passo	96
Figura 200: Calculo da impedância usando a admitância	96
Figura 201: Calculo do V em função de R e I.....	96
Figura 202: Plot após 3º passo	97
Figura 203: Circuito após aplicação do 4º passo.	97
Figura 204: Plot após aplicação do 4º passo	98

10.2. Tabelas

Tabela 1: Diagnóstico valores SI	5
Tabela 2: Múltiplos da unidade.....	6
Tabela 3: Submúltiplos da unidade	6
Tabela 4: Avaliação Grandezas do SI	11
Tabela 5: Diagnóstico instrumentos de medida.....	13
Tabela 6: Avaliação multímetro	22
Tabela 7: Avaliação osciloscópio	22
Tabela 8: Diagnóstico circuito impresso e solda	23
Tabela 9: Pontos fusão para o estanho e chumbo	27
Tabela 10: Resistividade algumas matérias	32
Tabela 11: Diagnóstico de componentes	34
Tabela 12: Código de cores	35
Tabela 13: Análise circuitos.....	39
Tabela 14:Nomes das tensões associado às junções.....	62
Tabela 15: Escala inicial da EDA	72

10.3. Equações

Equações 1: Fórmula para obtenção Coulomb	7
Equações 2: Fórmula que relaciona o I, V e o R	36
Equações 3: Fórmulas Série e paralelo	38
Equações 4: Fórmula para relacionar Watt(P), V e I.	39
Equações 5: Fórmula que relaciona a carga em C	43
Equações 6: Fórmula para Vc e Vr	44
Equações 7: Fórmula para cálculo de Hz, XC e C	46
Equações 8: Fórmulas usadas para a indutância.....	49
Equações 9: Fórmula para iL e iR	50