

## UFCD 6007 - Corrente contínua

### Programa

Identificar as principais grandezas de um circuito elétrico e respetiva simbologia.  
Enunciar e aplicar a Lei de Ohm.  
Identificar os vários métodos de medida usados em eletrotecnia.  
Utilizar corretamente os aparelhos de medida.  
Calcular erros de medida.  
Enunciar e aplicar a lei de Joule.  
Identificar as grandezas energia e potência elétrica e respetivas unidades SI e práticas.  
Relacionar as grandezas: características de um gerador em vazio e em carga.  
As grandezas mais importantes do circuito eléctrico  
A lei de Ohm  
A lei de Joule  
Os aparelhos e técnicas de medida  
Associação de resistências  
Energia e potência elétrica. Rendimento  
Geradores e receptores

## Apontamentos e formulários de apoio ao aluno

## UFCD 6007 - Corrente contínua

### SI - Sistema Internacional de unidades de medida a utilizar

O Decreto-Lei n.º 128/2010, atualiza o sistema de unidades de medida legais, aprovado pelo Decreto -Lei n.º 238/94.

#### Tabelas do SI

Grandeza	Unidade	
	Nome	Símbolo
Comprimento .....	metro	m
Massa .....	quilograma	kg
Tempo .....	segundo	s
Corrente eléctrica .....	ampere	A
Temperatura termodinâmica .....	kelvin	K
Quantidade de matéria .....	mole	mol
Intensidade luminosa .....	candela	cd

#### Unidades base do SI

Grandeza derivada	Unidade derivada do SI	
	Nome	Símbolo
Superfície .....	metro quadrado	m <sup>2</sup>
Volume .....	metro cúbico	m <sup>3</sup>
Velocidade .....	metro por segundo	m/s
Aceleração .....	metro por segundo quadrado	m/s <sup>2</sup>
Número de onda .....	metro à potência menos 1	m <sup>-1</sup>
Massa volúmica .....	quilograma por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>
Volume mássico .....	metro cúbico por quilograma	m <sup>3</sup> /kg
Densidade de corrente .....	ampere por metro quadrado	A/m <sup>2</sup>
Campo magnético .....	ampere por metro	A/m
Concentração (de quantidade de matéria) .....	mole por metro cúbico	mol/m <sup>3</sup>
Luminância luminosa .....	candela por metro quadrado	cd/m <sup>2</sup>

#### Unidades expressas a partir das unidades de base

Grandeza	Unidade derivada do SI			
	Nome	Símbolo	Expressão em outras unidades SI	Expressão em unidades SI de base
Ângulo plano .....	(a) radiano	rad	(b) 1	m/m
Ângulo sólido .....	(a) esterradiano	(b) Sr	(b) 1	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Frequência .....	hertz	Hz		s <sup>-1</sup>
Força .....	newton	N		m · kg · s <sup>-2</sup>
Pressão, tensão .....	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> · kg · s <sup>-2</sup>
Energia, trabalho, quantidade de calor .....	joule	J	N · m	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup>
Potência (c), fluxo energético .....	watt	W	J/s	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup>
Carga eléctrica, quantidade de electricidade .....	coulomb	C		s · A
Diferença de potencial eléctrico, força electromotriz .....	volt	V	W/A	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-1</sup>
Capacidade eléctrica .....	farad	F	C/V	m <sup>-2</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>4</sup> · A <sup>2</sup>
Resistência eléctrica .....	ohm	Ω	V/A	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-2</sup>
Condutância eléctrica .....	siemens	S	A/V	m <sup>-2</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>3</sup> · A <sup>2</sup>
Fluxo de indução magnética, fluxo magnético .....	weber	Wb	V · s	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup>
Indução magnética, densidade de fluxo magnético .....	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup>
Indutância .....	henry	H	Wb/A	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-2</sup>
Temperatura Celsius .....	(d) grau Celsius	°C		K
Fluxo luminoso .....	lúmen	lm	(b) cd · sr	cd
Iluminância .....	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> · cd

#### Unidades com nomes e símbolos especiais

## UFCD 6007 - Corrente contínua

Grandeza	Unidade derivada do SI		
	Nome	Símbolo	Expressão em unidades SI de base
Viscosidade dinâmica	pascal segundo	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Momento de força	newton metro	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Tensão superficial	newton por metro	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
Velocidade angular	radiano por segundo	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
Aceleração angular	radiano por segundo quadrado	rad/s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
Densidade de fluxo térmico, irradiância	watt por metro quadrado	W/m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
Capacidade térmica, entropia	joule por kelvin	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Capacidade térmica mássica, entropia mássica	joule por quilograma kelvin	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Energia mássica	joule por quilograma	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
Condutividade térmica	watt por metro kelvin	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
Energia volúmica	joule por metro cúbico	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Campo eléctrico	volt por metro	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Densidade de carga eléctrica, carga eléctrica volúmica	coulomb por metro cúbico	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
Densidade de carga superficial, carga eléctrica superficial	coulomb por metro quadrado	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Densidade de fluxo eléctrico, deslocamento eléctrico	coulomb por metro quadrado	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Permitividade	farad por metro	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Permeabilidade	henry por metro	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Energia molar	joule por mole	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
Entropia molar, capacidade térmica molar	joule por mole kelvin	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Exposição (raios X e Y)	coulomb por quilograma	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
Débito de dose absorvida	gray por segundo	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
Intensidade energética	watt por esterradiano	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Radiância	watt por metro quadrado esterradiano	W/(m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

Exemplos de unidades derivadas do SI

Múltiplos			Submúltiplos			Múltiplos			Submúltiplos		
Factor	Prefixo	Símbolo	Factor	Prefixo	Símbolo	Factor	Prefixo	Símbolo	Factor	Prefixo	Símbolo
10 <sup>24</sup>	yotta	Y	10 <sup>-1</sup>	deci	d	10 <sup>6</sup>	mega	M	10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>21</sup>	zetta	Z	10 <sup>-2</sup>	centi	c	10 <sup>3</sup>	quilo	k	10 <sup>-18</sup>	atto	a
10 <sup>18</sup>	exa	E	10 <sup>-3</sup>	mili	m	10 <sup>2</sup>	hecto	h	10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>15</sup>	peta	P	10 <sup>-6</sup>	micro	μ	10 <sup>1</sup>	deca	da	10 <sup>-24</sup>	yocto	y
10 <sup>12</sup>	tera	T	10 <sup>-9</sup>	nano	n						
10 <sup>9</sup>	giga	G	10 <sup>-12</sup>	pico	p						

Prefixos e símbolos de prefixos para formar os nomes e símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI

Regras:

O conjunto formado pela junção do símbolo de um prefixo ao símbolo de uma unidade constitui um novo símbolo inseparável, que pode ser elevado a uma potência positiva ou negativa e que pode ser combinado com outros símbolos de unidades para formar símbolos de unidades compostas.

Por exemplo:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ cm}^3 &= (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \\
 1 \text{ cm}^{-1} &= (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} \\
 1 \mu\text{s}^{-1} &= (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1} \\
 1 \text{ V/cm} &= (1 \text{ V})/(10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m}
 \end{aligned}$$

Nota - As unidades no SI só se utilizam no singular.

## UFCD 6007 - Corrente contínua

### Corrente contínua

Corrente contínua (CC ou DC do inglês *direct current*) é o fluxo ordenado de elétrons sempre numa direção, diferente da corrente alternada cujo sentido dos elétrons varia no tempo. Esse tipo de corrente é fornecido por baterias de automóveis ou de motos (6, 12 ou 24V), pequenas baterias (geralmente de 9V), pilhas (1,2V e 1,5V), dínamos, células solares e fontes de alimentação de várias tecnologias, que retificam a corrente alternada para produzir corrente contínua. Normalmente é utilizada para alimentar aparelhos eletrônicos (entre 1,2V e 24V) e os circuitos digitais de equipamento de informática (computadores, modems, hubs, etc.). Além disso é utilizada para transmissão de energia elétrica em grandes distâncias devido as vantagens de menores perdas aliado à utilização de modernos conversores DC/AC, comparada a transmissão em CA convencional. Este tipo de circuito possui um polo negativo e outro positivo (é polarizado). Fonte – Wikipedia.

As correntes contínuas podem ser constantes ou pulsantes.

Correntes contínuas constantes: A CC é considerada constante quando sua intensidade (ou tensão) e sentido não se altera com o passar do tempo. É comumente encontrada em pilhas e baterias.

O gráfico, assim como a forma de onda dessa corrente é um segmento de reta constante.

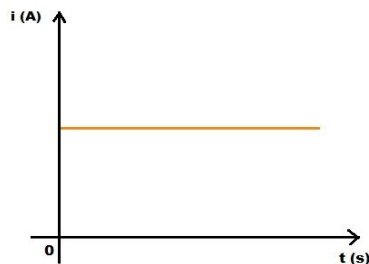


Imagem 1 - Gráfico de corrente contínua

Correntes contínuas pulsantes: Nesse modelo, a corrente tem seu sentido constante, porém o fluxo de elétrons no interior do fio se comporta como pulsos, fazendo com que a intensidade passe por variações no decorrer do tempo. Geralmente é encontrada em circuitos retificadores de corrente alternada.

Há fontes de corrente contínua que fornecem tensões ou correntes, independentemente da carga a qual forem ligadas.

**Fonte de tensão CC:** As fontes de tensão podem ser divididas em três categorias: baterias, geradores e fontes de alimentação.

## UFCD 6007 - Corrente contínua

**Baterias:** É a fonte CC mais comum. Geram energia eléctrica pela conversão de energia química e é constituído por células secundárias (células recarregáveis) ou por células primárias (que não podem ser recarregadas).

**Geradores:** Convertem energia mecânica em energia eléctrica. Os geradores quando são de corrente contínua também são chamados de dínamos e, quando são de corrente alternada, de alternadores.

**Fontes de alimentação:** É a fonte mais comum encontrada em laboratórios, na qual usa os processos de retificação que converte uma tensão com variação no tempo em uma tensão de magnitude fixa.

**Fonte de corrente CC:** Em uma fonte de CC ideal, ainda que tenha variações na tensão, a fonte consegue fornecer corrente de modo contínuo.

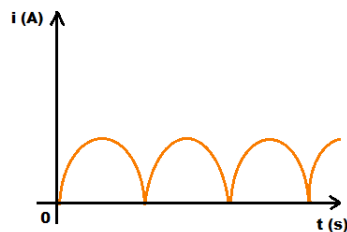


Imagem 2 - Gráfico de corrente contínua pulsante

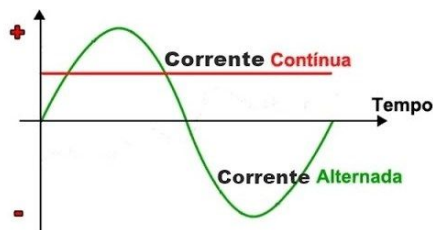


Imagem 3 - Gráfico com corrente contínua e alterna

## Lei de Ohm

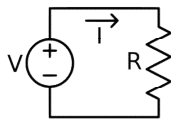


Imagem 4- resistência atravessada por corrente I com o potencial eléctrico V

A Lei de Ohm, assim designada em homenagem a quem a formulou, o físico alemão Georg Simon Ohm (1789-1854), afirma que, para um condutor mantido à temperatura constante, a razão entre a tensão entre dois pontos e a corrente eléctrica é constante. Essa constante é denominada de resistência eléctrica.

$$V = R \cdot I \text{ [V]} \quad (1)$$

## UFCD 6007 - Corrente contínua

V é a diferença de potencial eléctrico (ou tensão, ou d.d.p.) medida em volt (V);

I é a intensidade da corrente eléctrica medida em ampere (A);

R é a resistência eléctrica medida em ohm ( $\Omega$ );

Quando essa lei é respeitada por um determinado condutor mantido à temperatura constante, este denomina-se condutor óhmico. A resistência de um dispositivo condutor é dada pela equação:

$$R = V/I \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2)$$

A potência eléctrica absorvida por um sistema eléctrico é o produto da intensidade da corrente que o atravessa pela diferença de potencial nos seus extremos:

$$P = V \times I \text{ [W]} \quad (3)$$

Por vezes não temos o valor da intensidade mas temos o valor da resistência, assim usando a equação (2) na equação (3) obtemos:

$$P = V^2/R \text{ [W]} \quad (4)$$

Por vezes não temos o valor da tensão mas temos o valor da intensidade, assim usando a equação (2) na equação (3) obtemos:

$$P = R \times I^2 \text{ [W]} \quad (5)$$

### Lei de Joule

A potência transformada em calor por efeito de Joule é conhecida por lei de Joule. Os condutores metálicos apesar de bons condutores eléctricos têm uma resistência eléctrica que provoca libertação de calor com a intensidade em que a potência é determinada pela equação (5).

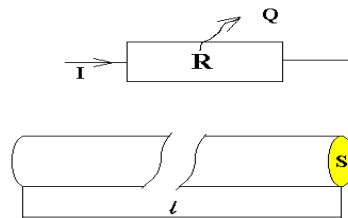


Imagem 5 – Calor libertado num fio condutor por efeito de Joule

I é a intensidade da corrente eléctrica [A] (ampére) no fio.

P é a potência transformada em calor (Q) por efeito de Joule



## UFCD 6007 - Corrente contínua

A resistência de um condutor eléctrico depende inversamente da sua secção (S), que é a área transversal do condutor, do comprimento (l ou λ) e da resistividade (ρ), esta por sua vez depende da temperatura e do metal utilizado. Geralmente usa-se fios e cabos em cobre, usa-se o alumínio na distribuição da electricidade e iluminação de ruas por ser mais leve e mais barato, usa-se o ouro nos chips electrónicos a fazer a ligação do mesmo aos terminais do circuito integrado. Para fazer resistências eléctricas para aquecimento como no fogão eléctrico e no secador de cabelo usa-se por exemplo aço cromoníquel.

A resistência de um fio condutor é então dada por:

$$R = \rho \times \frac{\lambda}{S} \quad [\Omega] \quad (6)$$

ρ - é a resistividade do material condutor [Ω.mm<sup>2</sup>m]

Para instalações eléctricas usa-se o valor de ρ = 0,0225 Ω.mm<sup>2</sup>m

### Rendimento

Definição do rendimento,  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  (7)

P<sub>1</sub>= potência consumida (que entra no sistema).

P<sub>2</sub>= potência fornecida (que sai do sistema).

### Simbologia de componentes

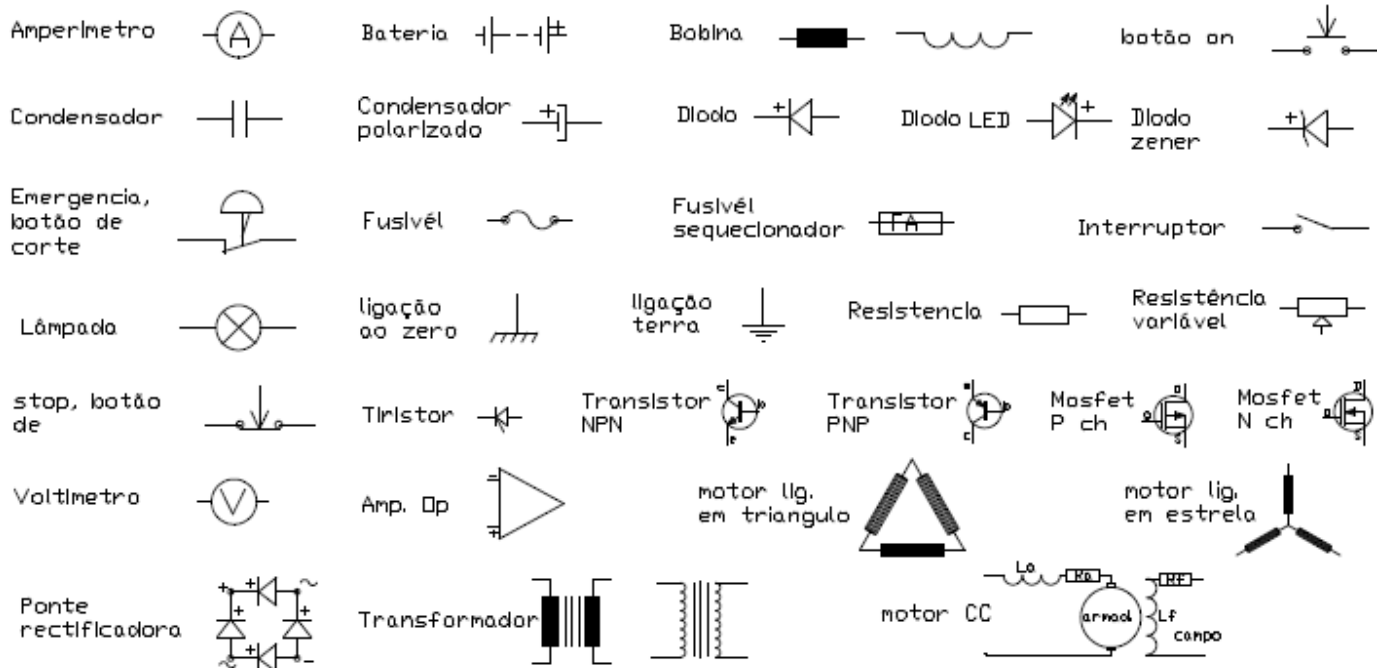


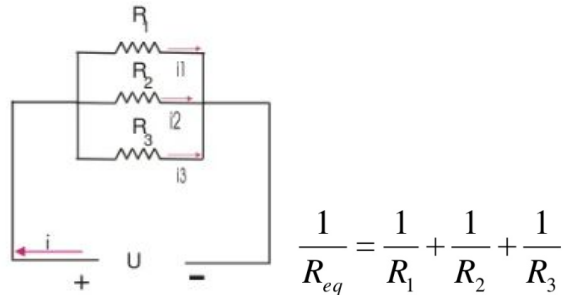
Imagem 7 - Simbologia e exemplos de ligações

## UFCD 6007 - Corrente contínua

### Associação de resistências

Em série - soma de todas as resistências.

Em paralelo - usa-se a equação seguinte.



(8)

Imagem 8 - circuito com 3 resistências em paralelo

### Exemplos de circuitos:

#### 1 - “Detox” com fonte de alimentação contínua

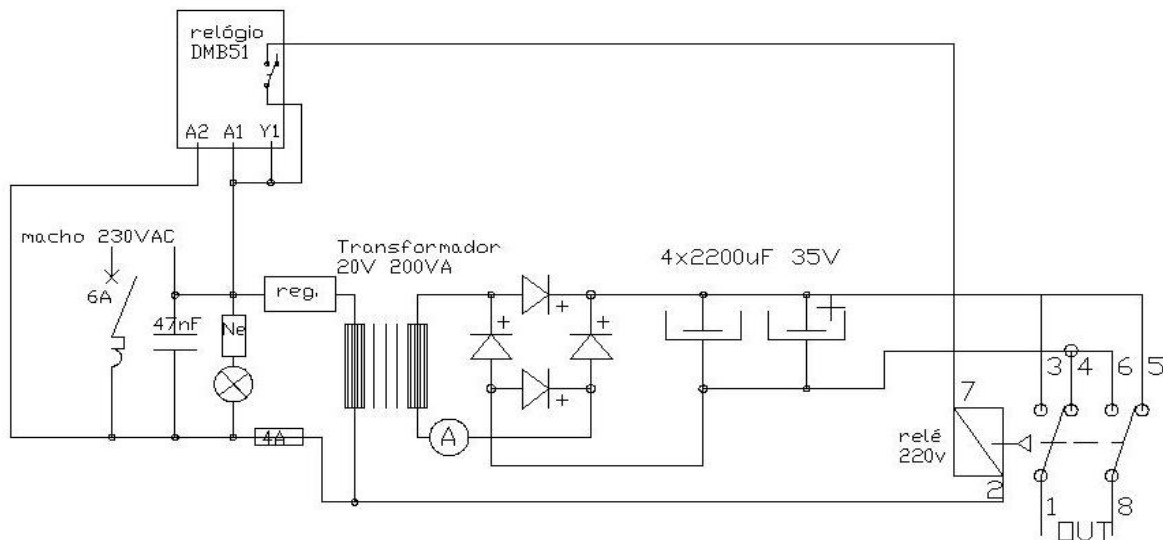


Imagem 9 - circuito de aparelho “Detox” com fonte de alimentação contínua

O aparelho “Detox” é usado na medicina alternativa para a remoção de químicos, colesterol, metais pesados e toxinas.

Ele é constituído por uma fonte de alimentação com a voltagem de saída de 12 a 24VDC, com a intensidade máxima entre 5 a 10A, e que alterna a sua polaridade de minuto a minuto, um cabo com eléctrodos no seu extremo feitos em aço (por exemplo molas helicoidais) ou em aço inox e uma bacia. A fonte limitada a 15VDC é preferível pois com 24 VDC já se sentem choques eléctricos apesar de ser tensão



## UFCD 6007 - Corrente contínua

reduzida e considerada como segura. Estes choques provem de picos aquando a inversão de polaridade pelo que tem de meter um condensador em paralelo com os eléctrodos.

Para a sua utilização o utente despeja água morna dentro de uma bacia apropriada, insere os eléctrodos na bacia, liga o aparelho, enfia lá os pés e adiciona sal de cozinha (cloreto de sódio, Na-CL) que se vai dissolvendo, com muito sal a fonte pode não suportar o excesso de corrente elétrica.

Fonte: Invenções, desenhos, ideias e projetos por Mário Loureiro, 2013, disponível em [www.MarioLoureiro.net](http://www.MarioLoureiro.net)

Esta fonte não possui um sistema de estabilidade por transístores e como tem 30% de tensão virtual, aquando o consumo de energia a tensão desce com facilidade e pode-se visualizar com o osciloscópio um fenómeno ondulatório denominado “ripple”.

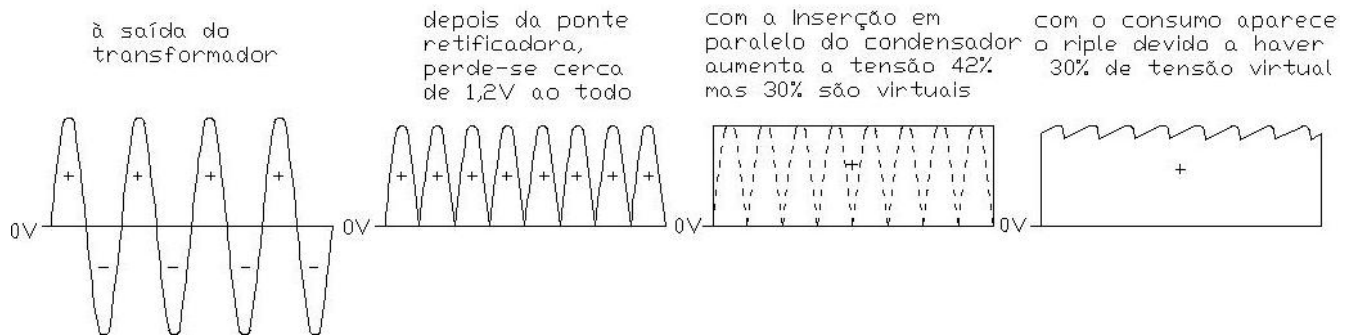


Imagem 10 - Explicação do fenómeno do ripple

O “ripple” é na realidade uma componente alterna, que será maior quando a capacidade do condensador diminui. Quando se aumenta a capacidade do condensador, que está em paralelo, menor será o “ripple”. Quanto maior for o consumo maior será o “ripple” pelo que interessa ter uma capacidade elevada assim meteram-se dois condensadores em paralelo.

## 2 - Fonte comutada

As fontes comutadas não apresentam “ripple” e conseguem fornecer tensão constante e são bastante eficientes, é normal terem 95% de rendimento.

## UFCD 6007 - Corrente contínua

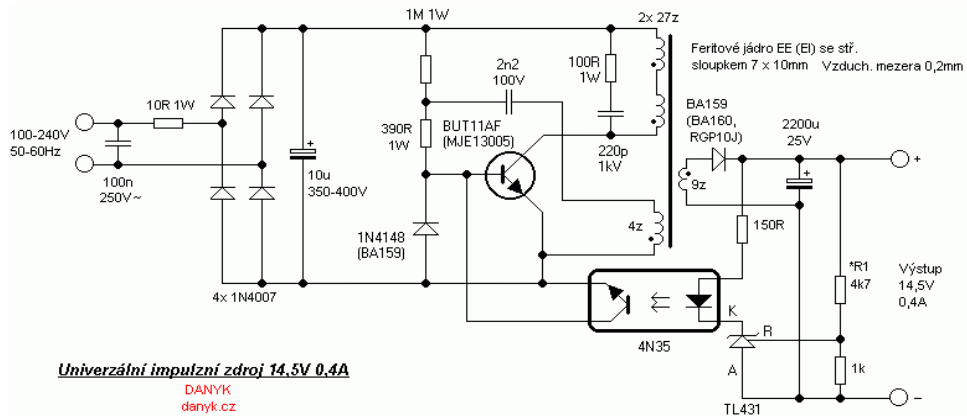


Imagem 11 – fonte comutada

### 3- Circuito de controlo de motor de corrente contínua

Vejamos como construir um circuito de controlo transistorizado para um motor de corrente contínua de baixa potência. Quando a chave está aberta, não haverá corrente na base do transístor. Sem corrente de base, não há corrente no colector, e o motor fica parado, pois toda corrente que passa pelo motor deve passar pelo colector do transístor.

Quando a chave é accionada, começa a existir corrente de base.

Os resistores R1 e R2 controlam esta corrente. Quanto maior a corrente de base, maior a corrente entre colector e emissor do transístor, isto é, maior a corrente no motor. Com este circuito, conseguimos controlar a velocidade do motor, variando a resistência do potenciómetro, que modifica a corrente de base do transístor.

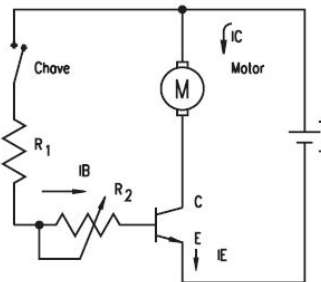


Imagem 12 - controlo de motor de corrente contínua

### Exercício

Determinar a queda de tensão nas resistências.

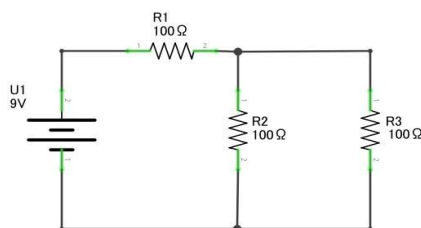


Imagem 13 – circuito para calcular quedas de tensão