**PREFÁCIO**

Esta apostila surgiu de notas de aula da disciplina Circuitos Elétricos 1, ministradas por vários semestres aos alunos de engenharia elétrica, engenharia de computação e engenharia biomédica da Universidade Federal do Pará. Objetivou coligir textos relacionados ao assunto e servir como guia para estudante das disciplinas afins.

O papel básico da Engenharia Elétrica é o de colocar a energia e as comunicações elétricas, bem como a informática, a serviço da humanidade, assegurando sua utilização de maneira econômica e eficiente, com total segurança e confiabilidade. Para desempenhar esse papel, os engenheiros da eletricidade e da computação devem ter um profundo conhecimento dos fenômenos elétricos e magnéticos.

Circuitos Elétricos, juntamente com a Teoria Eletromagnética, forma o alicerce de todo o conhecimento dos fenômenos elétricos e magnéticos aplicados à engenharia e à tecnologia, que serão ministrados ao longo deste curso.

O eletromagnetismo analisa os fenômenos elétricos e magnéticos, mostrando o relacionamento intrínseco entre esses fenômenos e explicando a propagação das ondas eletromagnéticas no espaço livre ou em algum meio que sirva de guia. Na disciplina Circuitos Elétricos, são analisadas as consequências das interligações de componentes tais como fontes de energia, resistores, capacitores e indutores, entre outros.

O enfoque principal desta apostila está na Análise de Circuitos, preterindo-se a Síntese. A primeira significa que, dado um circuito elétrico, a tarefa é descobrir o comportamento desse circuito, isto é, saber como responde o circuito a uma dada excitação conhecida. Já na síntese de circuitos, o problema é criar um circuito que tenha um desejado comportamento, isto é, conhecidas a excitação e a resposta, deseja-se combinar elementos elétricos e interligá-los, tal que, o circuito assim projetado, atenda ao relacionamento desejado entre entrada e saída. Naturalmente que a análise é bem mais simples de ser feita do que a síntese e por isso a primeira quase sempre precede a segunda.

Excetuando o *capítulo 0*, esta apostila consta de nove capítulos enquadrados no programa da disciplina Circuitos Elétricos I. Cada capítulo é acompanhado de uma lista de problemas que devem ser resolvidos para que o aluno possa se exercitar, pois só se aprende a analisar circuitos resolvendo-se bastantes exercícios. Os problemas propostos não estão colocados numa ordem crescente de dificuldades, pois que disso nada resulta de prático. Muito pelo contrário, o estudante deve ser preparado para enfrentar os problemas da maneira como a vida os apresenta.

Quaisquer sugestões ou correções serão bem-vindas e espera-se que esta apostila seja de bom proveito.

CAPÍTULO 0

**UNIDADES, NOTAÇÕES, ARREDONDAMENTO E FORMULÁRIO**

0.1 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

O *Sistema Internacional de Unidades* (Système International d'Unités), abreviadamente *SI*, mundialmente adotado, é a linguagem internacional de medição. O *SI* tem sete unidades básicas: **metro** para comprimento, **quilograma** para massa, **kelvin** para temperatura [[1]](#footnote-1)(\*), **segundo** para tempo, **ampère** para corrente elétrica, **molécula-grama** ou **mole** para quantidade de substância e **candela** para intensidade luminosa. As outras unidades de quantidades físicas são derivadas destas sete. A tabela I mostra as sete unidades básicas com seus respectivos símbolos, e a tabela II mostra algumas unidades derivadas da tabela I. Vale ressaltar que o símbolo de uma unidade é sempre com letra maiúscula quando a unidade deriva de um nome próprio.

Tabela I: Unidades básicas do SI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| GRANDEZA | UNIDADE | SÍMBOLO |
| Comprimento | *metro* | ***m*** |
| Massa | *quilograma* | ***kg*** |
| Tempo | *segundo* | ***s*** |
| Corrente Elétrica | *ampère* | ***A*** |
| Temperatura | *kelvin* | ***K*** |
| Quantidade de Substância | *mole* | ***mol*** |
| Intensidade Luminosa | *candela* | ***cd*** |

Tabela II: Algumas unidades derivadas do SI

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| GRANDEZA | UNIDADE | FÓRMULA DIMENSIONAL | SÍMBOLO |
| Frequência | *hertz* | *s-1* | *Hz* |
| Força | *newton* | *kg.m/s2* | *N* |
| Energia ou Trabalho | *joule* | *N.m* | *J* |
| Potência | *watt* | *J/s* | *W* |
| Carga Elétrica | *coulomb* | *A.s* | *C* |
| Potencial Elétrico | *volt* | *W/A* | *V* |
| Resistência Elétrica | *ohm* | *V/A* |  |
| Condutância Elétrica | *siemens* | *A/V* | *S* |
| Capacitância Elétrica | *farad* | *C/V* | *F* |
| Fluxo Magnético | *weber* | *V.s* | *Wb* |
| Indutância | *henry* | *Wb/A* | *H* |

Só por curiosidade: um metro tem aproximadamente *39,37* *polegadas* – um pouco mais de uma jarda. A partir de 1959 a jarda passou a ser definida, por acordo internacional, como:

1 jarda = *0,9144* metro, exatamente

e, por acordo internacional,

*1 polegada = 2,54 cm, exatamente*

Um quilograma é a massa de algo em torno de *2,205 libras*. Uma temperatura em *kelvin* é *273,15* mais do que a mesma temperatura em graus *Celcius (oC)* que é uma unidade alternativa de temperatura do sistema SI.

Os múltiplos e submúltiplos das unidades de medidas são designados pelos prefixos listados na tabela III. Por recomendação do *SI*, os múltiplos e submúltiplos estão em passos de *103* ou *10-3*. Quantidades maiores ou menores são designadas na forma exponencial.

Para a maioria dos problemas de circuitos, somente os prefixos *giga, mega, quilo, mili, micro, nano* e *pico* são mais utilizados. Assim, é comum se deparar com quantidades em: *gigahertz (GHz)*, *megawatt (MW)*, *quiloohm (k), milivolt (mV), microampère (A), nanohenry (nH), picofarad (pF)*, etc.

Tabela III: Múltiplos e sub-múltiplos do SI

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PREFIXO | SÍMBOLO | MAGNITUDE | ORIGEM |
| yotta | *Y* | *1024* |  |
| zetta | *Z* | *1021* |  |
| exa | *E* | *1018* | Grego *ex*, "mais longe" |
| peta | *P* | *1015* | Grego *petasos*, "fora do alcance" |
| tera | *T* | *1012* | Grego *teras*, "monstro" |
| giga | *G* | *109* | Latim *gigas*, "gigante" |
| mega | *M* | *106* | Grego *megas*, "grande" |
| kilo | *k[[2]](#footnote-2)(\*)* | *103* | Grego *chilioi*, "mil" |
| mili | *m* | *10-3* | Latim *mille*, "mil" |
| micro |  | *10-6* | Grego mikvos, "pequeno" |
| nano | *n* | *10-9* | Grego *nanos*, "anão" |
| pico | *p* | *10-12* | Espanhol *pico*, "pequena quantidade" |
| femto | *f* | *10-15* | Dinamarquês *femten*, "quinze" |
| atto | *a* | *10-18* | Dinamarquês atten, "dezoito" |
| zepto | *z* | *10-21* |  |
| yocto | *y* | *10-24* |  |

Só por curiosidade, citamos a seguir algumas grandezas medidas ou estimadas

COMPRIMENTO

- Raio de nossa galáxia *60 Ym*

- Raio médio da órbita do planeta mais distante (Plutão) *5,9 Tm*

- Raio da terra *6,4 Mm*

- Altura média do ser humano *1,8 m*

- Espessura de uma página desta apostila *0,1 mm*

- Tamanho de um vírus da poliomielite *12 nm*

- Raio de um átomo de hidrogênio *50 pm*

- Raio efetivo de um próton *1,2 fm*

TEMPO

- Idade da terra *0,13 Es*

- Duração média da vida humana *2,0 Gs*

- Duração da órbita da terra em torno do sol (1 ano) *31 Ms*

- Duração de um dia *86 ks*

- Tempo entre as batidas normais do coração *0,8 s*

- Duração de um piscar de olhos *10 ms*

- Período de oscilação das microondas de 3 cm *10 ns*

- Período de oscilação de um raio gama de 1 MeV *4 zs*

0.2 NOTAÇÕES

A notação utilizada nesta apostila segue a seguinte convenção:

- Letras maiúsculas denotam constantes ou quantidades invariantes com o

tempo, matrizes ou ainda fasores.

- Letras minúsculas denotam quantidades variantes com o tempo.

- Letras em negrito denotam quantidades complexas, fasoriais ou vetoriais.

As letras utilizadas para representar as grandezas que aparecem nesta apostila são resumidas na tabela IV.

Tabela IV: Notações para algumas grandezas

|  |  |
| --- | --- |
| LETRA | GRANDEZA |
| t | Tempo |
| *T* | Período de uma onda periódica |
| *τ* | Constante de tempo |
|  | Intervalo de alguma grandeza |
| *q, Q* | Carga Elétrica, Fator de Qualidade |
| *I, i* | Corrente Elétrica |
| *E, e* | Força Eletromotriz, tensão de nó |
| *V, v* | Tensão Elétrica |
| *R* | Resistência Elétrica |
| *G* | Condutância Elétrica |
| *C* | Capacitância |
| *L, l* | Indutância, Comprimento |
| *A* | Área |
| ***Z*** | Impedância |
| ***Y*** | Admitância |
| *B* | Susceptância |
| *X* | Reatância |
| *P, p* | Potência |
| *W* | Energia ou Trabalho |
|  | Frequência em Radianos/Segundo |
| *f* | Frequência em Hertz |
|  | Resistividade |
|  | Condutividade |

0.3 ARREDONDAMENTO

A maioria dos cálculos de engenharia não é exata, quase sempre envolvendo números decimais, onde se precisa fazer arredondamentos para certo número de algarismos significativos, portanto a informação abaixo pode ser útil.

Uma maneira de arredondar um número para algumas casas decimais significativas consiste em primeiro escrevê-lo em notação exponencial, como *M×10k*, onde *M = 0,d1d2d3 ...*, com *d1* não nulo; arredonda-se *M* para a quantidade de casas significativas que se quer e retorna-se o resultado para a forma decimal. Por exemplo, com quatro algarismos significativos, o número *23,58642* arredonda para *23,59*; o número *0,0002358642* arredonda para *0,0002359* e o número *10,001* arredonda para *10,00*.

0.4 CAIXAS DE FERRAMENTAS



**CAIXA DE FERRAMENTAS DE CÁLCULO:**

, ,

,



**CAIXA DE FERRAMENTAS DE TRIGONOMETRIA**

,

,

, , ,

, , ,

, , ,



## CAIXA DE FERRAMENTAS PARA O TRIÂNGULO RETÂNGULO



**CAIXA DE FERRAMENTAS PARA UM TRIÂNGULO QUALQUER**

Lei dos senos: {

Lei dos co-senos:

1. (\*) O símbolo o, indicativo de graus, não se usa para temperaturas em Kelvin. [↑](#footnote-ref-1)
2. (\*) O símbolo *k* do prefixo quilo é com letra minúscula [↑](#footnote-ref-2)