

prontuario di elettronica: formule

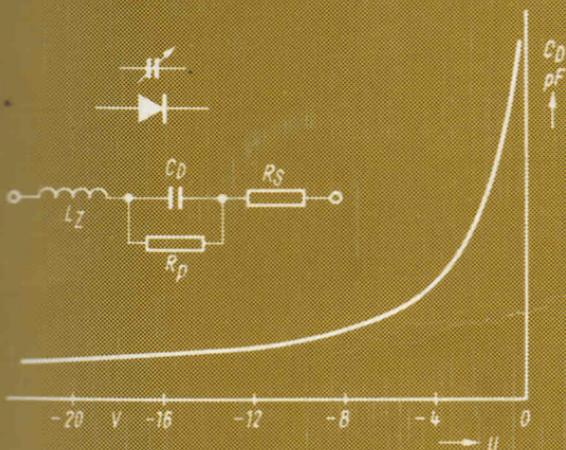
per radiotecnici,
elettronici, hobbysti
e professionisti

Un'esposizione riassuntiva ed ordinata delle formule più importanti di matematica, meccanica, elettronica, misure, acustica, fotoelettronica. Le formule non devono essere trasformate: è sufficiente so-

manuali
di
elettronica
applicata

stituire in esse i valori noti e fare dei semplici calcoli per ottenere il risultato desiderato. Un promemoria per dilettanti ed apprendisti, tecnici ed ingegneri.

$$C_D = C_0 \left(\frac{U_0}{U + U_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$



Georg Rose

prontuario di elettronica: formule

franco muzzio & c. editore

Titolo originale: Kleine Elektronik-Formelsammlung
Traduzione condotta sulla 15ª edizione da Maddalena Redolfi

La serie « manuali di elettronica applicata »
è diretta da Mauro Boscarol

ISBN 88-7021-121-5

© 1980 franco muzzio & c. editore
Via Bonporti, 36 - 35100 Padova - tel. 049/661147-661873
© Franzis-Verlag GmbH, München
Finito di stampare nel marzo 1980 da Offset Invicta Padova
Tutti i diritti sono riservati

Indice

Matematica

- 11 Simboli matematici normalizzati (secondo DIN 1302)
- 14 Alfabeto greco
- 14 Regole di calcolo
- 19 Numeri complessi e vettori
- 20 Funzioni
- 21 Trasformazione delle formule
- 22 Grandezze e unità
- 23 Grandezze fondamentali e unità fondamentali
- 24 Multipli e sottomultipli delle unità
- 25 Equazioni
- 25 Funzioni trigonometriche nel triangolo rettangolo
- 28 Medie
- 29 Costanti
- 32 Numeri binari
- 33 Aritmetica binaria

Meccanica

- 34 Lunghezze
- 34 Superfici, aree
- 35 Volumi
- 35 Forza
- 35 Massa
- 36 Pressione
- 36 Tempo
- 36 Angoli
- 37 Temperatura
- 38 Calcolo delle aree
- 41 Calcolo di volumi
- 44 Calcolo dei pesi (peso come massa)
- 45 Peso dei fili metallici (corpi cilindrici)
- 45 Calcolo percentuale (tolleranza)
- 46 Rendimento
- 46 Dilatazione termica dei solidi
- 46 Velocità periferica

Elettronica generale

- 47 Unità dell'elettrotecnica
- 49 Legge di Ohm
- 49 Conduttanza
- 50 Potenza
- 50 Lavoro, energia
- 50 Trasformazione delle unità di potenza
- 51 Trasformazione delle unità di energia
- 51 Quantità di elettricità
- 51 Effetto chimico della corrente
- 52 Resistenza di fili elettrici
- 53 Variazione di resistenza al riscaldamento
- 53 Resistenze in collegamento in serie (divisore di tensione)
- 54 Resistenze in collegamento in parallelo (distribuzione di corrente)
- 55 Divisore di tensione caricato
- 56 Tensione alla sorgente e tensione ai morsetti
- 57 Accumulatori
- 57 Circuito magnetico

Corrente alternata

- 60 Valori efficaci e di punta
- 60 Frequenza e lunghezza d'onda
- 61 Resistenza induttiva
- 62 Induttanze proprie collegate in serie
- 62 Induttanze proprie collegate in parallelo
- 63 Induttanza mutua (coefficiente di mutua induzione)
- 63 Induttanza nelle bobine di reattanza
- 64 Avvolgimenti di bobine
- 64 Qualità della bobina
- 64 Trasformatori (senza perdite)
- 65 Adattamento
- 66 Resistenza capacitiva
- 67 Condensatori collegati in parallelo
- 67 Condensatori collegati in serie
- 68 Capacità di componenti
- 68 Corrente residua dei condensatori elettrolitici
- 69 Reattanza efficace, corrente reattiva e potenza reattiva
- 71 Collegamento in serie di R, L e C
- 72 Collegamento in parallelo di R, L e C
- 72 Accoppiamento
- 73 Riscaldamento induttivo mediante alta frequenza
- 74 Riscaldamento capacitivo mediante alta frequenza
- 74 Rumore di agitazione termica

Circuito oscillante

- 75 Calcolo della risonanza
- 75 Calcolo del circuito oscillante con kHz, mH e pF
- 76 Calcolo del circuito oscillante con MHz, μ H e pF
- 76 Calcolo del campo di sintonizzazione
- 76 Frequenza dell'oscillatore e frequenza immagine
- 77 Allargamento della banda mediante condensatore in derivazione
- 77 Allargamento della banda mediante condensatore in serie
- 77 Allargamento della banda mediante derivazione di bobine
- 78 Qualità del circuito oscillante
- 79 Resistenza di risonanza del circuito in serie
- 80 Resistenza di risonanza del circuito in parallelo

Diodi e resistenze a semiconduttori

- 81 Termistori (NTC)
- 82 Conduttore a freddo (PTC)
- 83 Resistenze dipendenti dalla tensione (VRD)
- 84 Diodi semiconduttori
- 84 Diodi a capacità variabile (varicap, varactor)
- 85 Diodi Zener (diodi di riferimento)
- 86 Diodi Zener come stabilizzatori di tensione

Transistori

- 88 Grandezze caratteristiche dei transistori
- 89 Circuiti base nei transistori
- 90 Amplificazione di corrente e frequenza limite
- 91 Caratteristiche del cortocircuito e del funzionamento a vuoto
- 93 Formule di funzionamento per il circuito della base
- 94 Formule di funzionamento per il circuito dell'emettitore
- 96 Formule di funzionamento per il circuito di collettore
- 98 Transistore ad effetto di campo (FET)
- 99 Transistore unigiunzione (UJT)

Valvole

- 100 Diodo a valvole
- 100 Formule statiche per le valvole (triodi)
- 101 Formule dinamiche per le valvole
- 101 Resistenza addizionale - Circuito termico
- 102 Fornitura di energia dei pentodi
- 103 Divisore di tensione griglia-schermo
- 103 Resistenza al rumore equivalente
- 104 Amplificatore ad accoppiamento catodico
- 105 Triodi in circuito con griglia a massa

- 105 Tubi a raggi elettronici
- 106 Valvole a luminescenza

Circuiti

- 107 Accoppiamento in reazione
- 108 Oscillatore
- 108 Controreazione
- 110 Neutralizzazione griglia-schermo
- 110 Neutralizzazione del transistor
- 110 Polarizzazione di base mediante divisore di tensione
- 111 Condensatore catodico
- 111 Condensatore di carica per alimentatori
- 112 Condensatore di circuito termico per 50 Hz
- 112 Precondensatore per la riduzione della potenza
- 113 Caricabilità degli avvolgimenti
- 113 Numero e volume degli avvolgimenti
- 114 Trasformatore di rete
- 114 Bobine a bassa frequenza
- 115 Trasformatore di uscita
- 116 Adattamento degli altoparlanti
- 117 Adattamento negli amplificatori di potenza
- 118 Passa alto, passa basso per altoparlanti
- 118 Condensatori per motori
- 119 Circuito AND
- 120 Circuito OR
- 120 Circuito NAND
- 121 Circuito NOR
- 121 Circuito di equivalenza
- 121 Circuito antivalente

Filtri

- 123 Carica di un condensatore; costante di tempo
- 124 Scarica di un condensatore
- 125 Rete RC
- 125 Curva di conduzione della rete RC
- 126 Fattore filtro della rete RC
- 127 Frequenza limite inferiore dell'accoppiamento RC
- 128 Rete LC
- 129 Frequenza limite della rete LC
- 130 Fattore filtro della rete LC
- 131 Rete CR
- 132 Curva di conduzione della rete CR
- 133 Rete CL

- 134 Frequenza limite della rete CL
- 135 Rete RL
- 136 Curva di conduzione della rete RL
- 137 Differenziatore
- 137 Integratore

• **Misurazioni**

- 139 Campi di misura della tensione
- 140 Campi di misura della corrente
- 140 Errore di lettura negli strumenti di misura
- 141 Determinazione della resistenza attraverso misurazioni della corrente e della tensione
- 142 Misurazioni sui divisori di tensione
- 143 Misurazioni di ponti
- 144 Misurazione della capacità
- 145 Misurazione dell'induttanza
- 146 Misurazione dello smorzamento
- 147 Disco stroboscopico

Acustica

- 148 Lunghezza delle onde acustiche
- 148 Pressione acustica
- 149 Livello di pressione acustica
- 149 Volume
- 149 Trasmettitore di suoni (altoparlante)
- 150 Sensibilità degli altoparlanti
- 150 Raggio di azione degli altoparlanti
- 151 Ricevitori acustici (microfoni)
- 151 Sensibilità dei microfoni
- 151 Riproduzione stereofonica
- 152 Radio stereo
- 152 Quadrifonia

Luce, colore, fotoelettronica

- 154 Lunghezza delle onde luminose
- 155 Corrente luce, intensità e quantità di luce
- 155 Illuminamento e quantità di illuminamento
- 156 Luminanza
- 156 Unità cromatiche
- 157 Segnali cromatici nelle televisioni a colori
- 158 Componenti fotoelettrici
- 159 Fotoelementi
- 160 Fotoresistenze

- 160 Fotodiodi
- 161 Fototransistori
- 162 Fotocellule a vuoto

Antenne e cavi

- 163 Impedenza caratteristica
- 164 Intensità di campo di un dipolo $\lambda/2$
- 164 Valori indicativi per la misurazione dei dipoli
- 165 Visibilità
- 165 Adattamento del dipolo con derivazione $\lambda/4$
- 166 Impedenza caratteristica dei cavi
- 166 Cavi coassiali
- 167 Cavo a nastro, cavo piatto
- 167 Adattamento con circuito π
- 168 Smorzamento dei cavi
- 168 Attenuatori
- 170 Distributore ad adattamento costante
- 170 Valori di livello per antenne

Appendice

- 172 Unità legali
- 174 Unità transitoriamente ammesse e loro abbreviazioni

1 Matematica

1.01 Simboli matematici normalizzati (secondo DIN 1302)

SIMBOLI ORDINALI

Simbolo	Si legge	Spiegazione, esempio
1.	primo	Numero ordinale
,	virgola	Segno decimale
...	e così via	$\pi = 3,14159\dots$
	e così via fino a	3, 5, 7, 9...21
U_1, U_2, \dots, U_n	U uno, U due... U_n	Differenziazione mediante indici
$y', y'' \dots$	y primo, y secondo	Differenziazione mediante apici

UGUAGLIANZA E DISUGUAGLIANZA

=	uguale	$3 + 5 = 8$	
\equiv	identicamente uguale	$8 \equiv 8$	
\neq	diverso	$6 \neq 7$	
\ncong	non identicamente uguale	$X_1 \ncong X_2$	
\sim	proporzionale	$U \sim d$	
\approx	circa uguale	$\pi \approx 3,14$	
\cong	corrisponde	$1 \text{ cm} \cong 10 \text{ } \Omega$	
$<$	minore di	$1,1 < 1,2$	
$>$	maggiore di	$1,2 > 1,1$	
\leq	minore o uguale	$x \leq 5$	
\geq	maggiore o uguale	$x \geq 3$	
\ll	molto minore di	$5 \ll 600$	} di altro ordine di grandezza
\gg	molto maggiore di	$5 \gg 0,02$	

OPERAZIONI ARITMETICHE ELEMENTARI

+	più	$3 + 5 = 8$
-	meno	$8 - 3 = 5$

\cdot \circ \times	per	$5 \cdot 3; 5 \times 3$
$-$ \circ $/$	diviso	$\frac{a}{b}; a/b; a : b$
\circ :	per cento	5%
$\%$	per mille	$0,8^0/_{00}$
$\circ/_{00}$		
$()$ $[]$	Parentesi rotonde, quadrate	
$\{ \}$ $\langle \rangle$	graffe e angolari aperte e chiuse	

GEOMETRIA

\parallel	parallelo	$g \parallel f$
\nparallel	non parallelo	$f \nparallel h$
\perp	ortogonale	$h_a \perp a$
\triangle	triangolo	$\triangle ABC$
\cong	congruente	$\triangle F_1 \cong \triangle F_2$
\sim	simile	$\triangle ABC \sim \triangle DEF$
\sphericalangle	angolo	$\sphericalangle CAB = \alpha$
\overline{AB}	segmento AB	
\widehat{AB}	arco AB	

ALGEBRA ED ANALISI

$n!$	n fattoriale	$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n$
$\binom{n}{p}$	n su p	$\binom{n}{p} = \frac{n(n-1)\dots(n-p+1)}{p!}$
Σ	sommatoria	$\Sigma R = R_1 + R_2 + \dots$
$\sqrt{\quad}$	radice, radice quadrata di	$\sqrt{25} = 5$
$\sqrt[n]{\quad}$	radice n-esima	$\sqrt[3]{8} = 2$
i o j	unità immaginaria	$i = j = \sqrt{-1}$
π	pi greco	$\pi = U/d = 3,14159\dots$
$ Z $	modulo di Z	Valore assoluto di un numero reale o complesso
$f(x)$	f di x	Funzione di x

LIMITI, CALCOLO DIFFERENZIALE E CALCOLO INTEGRALE

∞	Infinito	
\rightarrow	Tende a	$x \rightarrow \infty$

Δf	Delta f	Differenza finita
$y', y'' \dots$	y primo, y secondo	Derivata prima, seconda di y
d $df(x)$	Differenziale df di x	Differenziale della funzione $f(x)$
\int $\int f(x) dx$	Integrale Integrale $f(x)$ in dx	Integrale indefinito
$\int_a^b f(x) dx$	Integrale di $f(x)$ in dx da a a b	Integrale definito di $f(x)$ in dx da a a b

FUNZIONE ESPONENZIALE E LOGARITMICA

a^x	a alla x	Funzione esponenziale generale
\exp	Funzione esponenziale	$\exp x = e^x$ $e = 2,71828\dots$
\log	Logaritmo generale	
\log_a	Logaritmo in base a	
\lg	Logaritmo decimale	$\lg x = \log_{10} x$
\ln	Logaritmo naturale	$\ln x = \log_e x$
lb	Logaritmo binario	$\text{lb } x = \log_2 x$

FUNZIONI TRIGONOMETRICHE

sen	Seno
cos	Coseno
tan	Tangente
cot	Cotangente

SIMBOLI DELLA LOGICA

$A \Rightarrow B$	A implica B , se A allora B (non vale il contrario)
$A \Leftrightarrow B$	A è vero, se è vero anche B (e viceversa)
\wedge	sia... che, e (coniunzione)
\vee	o (disgiunzione)
\equiv	equivalenza
∇	antivalenza

1.02 Alfabeto greco

Pronuncia	Lettera maiuscola	Lettera minuscola
Alfa	A	α
Beta	B	β
Gamma	Γ	γ
Delta	Δ	δ
Epsilon	E	ϵ
Zeta	Z	ζ
Eta	H	η
Theta	Θ	θ
Iota	I	ι
Kappa	K	κ
Lambda	Λ	λ
Mi	M	μ
Ni	N	ν
Xi	Ξ	ξ
Omicron	O	\omicron
Pi	Π	π
Ro	P	ρ
Sigma	Σ	σ
Tau	T	τ
Ipsilon	Y	υ
Phi	Φ	ϕ
Chi	X	χ
Psi	Ψ	ψ
Omega	Ω	ω

1.03 Regole di calcolo

SOMMA

$$a + b = c$$

Addendo + addendo uguale somma

I membri di una somma possono venire scambiati di posto

$$a + b = b + a$$

SOTTRAZIONE

$$a - b = c$$

Minuendo - sottraendo uguale differenza

OPERAZIONI CON PARENTESI

Una parentesi, davanti alla quale si trovi il segno "più", si può eliminare insieme al segno più.

$$a + (-b + c - d) = a - b + c - d$$

Una parentesi, davanti alla quale si trovi il segno meno, si può eliminare insieme al segno meno, dopo avere invertito tutti i segni dentro alla parentesi stessa.

$$a - (b - c + d) = a - b + c - d$$

MOLTIPLICAZIONE

$$a \cdot b = c \quad \text{oppure} \quad ab = c$$

Fattore per fattore uguale prodotto

$$a(b + c) = ab + ac$$

$$a(b - c) = ab - ac$$

$$(a - b)(c - d) = ac - bc - ad + bd$$

Il prodotto di due numeri è positivo se ambedue hanno lo stesso segno; è negativo se i due numeri hanno segno diverso. Il punto che indica la moltiplicazione si può tralasciare nel calcolo letterale.

DIVISIONE

$$a : b = c \quad \text{oppure} \quad \frac{a}{b} = c$$

Dividendo diviso divisore uguale quoziente

FRAZIONI

Sviluppare e ridurre: se numeratore e denominatore vengono moltiplicati (sviluppati) o divisi (ridotti) per uno stesso numero, il valore della frazione non cambia.

$$\frac{a}{b} = \frac{a \cdot c}{b \cdot c}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{\frac{a}{c}}{\frac{b}{c}}$$

Per moltiplicare tra loro due frazioni, si moltiplicano il numeratore della prima con il numeratore della seconda e il denominatore della prima con il denominatore della seconda.

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a c}{b d}$$

Per dividere tra loro due frazioni, si moltiplica la prima frazione per il reciproco della seconda.

$$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c}$$

Per sommare o sottrarre due frazioni, si sviluppano finché abbiano lo stesso denominatore e poi si sommano o si sottraggono tra loro i numeratori.

$$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a d}{b d} + \frac{b c}{b d} = \frac{a d + b c}{b d}$$

$$\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{a d}{b d} - \frac{b c}{b d} = \frac{a d - b c}{b d}$$

ELEVAZIONE A POTENZA

Per elevare a potenza un numero, lo si moltiplica per se stesso tante volte quante viene indicato dall'esponente. Il risultato è la potenza.

$$a^n = b \quad \text{leggi } a \text{ elevato alla } n \text{ uguale a } b$$

a	Base
n	Esponente
b	Potenza

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$a^m : a^n = a^{m-n}$$

$$a^m \cdot b^m = (a \cdot b)^m$$

$$a^m : b^m = \left(\frac{a}{b}\right)^m$$

$$1 : a^m = \left(\frac{1}{a}\right)^m = a^{-m}$$

$$(a^m)^n = a^{m \cdot n} = (a^n)^m$$

$$a^0 = 1$$

$$a^1 = a$$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2 a b + b^2$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2 a b + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3 a^2 b + 3 a b^2 \pm b^3$$

$$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$$

$$(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2 a b + 2 a c + 2 b c$$

ESTRAZIONE DI RADICE

Estrarre la radice di un numero significa cercare la base che elevata all'esponente della radice dà il radicando.

$${}^m\sqrt{a} = b \quad \text{leggi: radice } m\text{sima di } a \text{ uguale a } b$$

Quindi sarà $b^m = a$

a	Radicando
m	Esponente della radice
b	Radice

Una radice può venire scritta come potenza con esponente frazionario

$${}^m\sqrt{a} = a^{\frac{1}{m}} \quad {}^m\sqrt{a^n} = a^{\frac{n}{m}}$$

$${}^m\sqrt{a} \cdot {}^n\sqrt{a} = \sqrt[m \cdot n]{a^{m \cdot n}}$$

$${}^m\sqrt{a \cdot b} = {}^m\sqrt{a} \cdot {}^m\sqrt{b}$$

$$\sqrt[m]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[m]{a}}{\sqrt[m]{b}}$$

LOGARITMI

Il logaritmo di un numero è l'esponente a cui si eleva la base per ottenere il numero stesso.

$$\log_b a = m \quad \text{significa } b^m = a$$

Leggi: logaritmo in base b di a uguale a m

$$\log_b (a \cdot c) = \log_b a + \log_b c$$

$$\log_b \left(\frac{a}{c}\right) = \log_b a - \log_b c$$

$$\log_b (a^n) = n \cdot \log_b a$$

$$\log_b \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \cdot \log_b a$$

$$\log_b 1 = 0$$

$$\log_b b = 1$$

$$\log_b \frac{1}{b} = -1$$

$$\log_b b^2 = 2$$

a = numero b = base m = logaritmo

Da ciò deriva l'utilizzazione pratica per il calcolo con le tavole logaritmiche e col regolo calcolatore (con suddivisione logaritmica).

Ogni moltiplicazione, nel calcolo logaritmico, diventa una somma.

Ogni divisione, nel calcolo logaritmico, diventa una sottrazione.

Ogni elevamento a potenza, nel calcolo logaritmico, diventa una moltiplicazione.

Ogni estrazione di radice, nel calcolo logaritmico, diventa una divisione.

I sistemi logaritmici più comuni sono due:

1. in base 10: logaritmi decimali o di Briggs. Vengono usati nel calcolo numerico pratico.
2. logaritmi naturali in base $e = 2,718281828 \dots$. Vengono usati nella tecnica delle trasmissioni.

Scrittura dei logaritmi:

$\log a$	logaritmo con base a piacere	$\log_b a$
$\lg a$	logaritmo di Briggs	$\log_{10} a$
$\ln a$	logaritmo naturale	$\log_e a$

Nei logaritmi di Briggs (decimali), davanti alla virgola si trova la caratteristica, dopo la virgola la mantissa. Nelle tavole logaritmiche vengono riportate solo le mantisse per un certo intervallo. La caratteristica viene dedotta dal numero di cifre di cui è costituito il numero.

Se il numero è composto da a cifre, la caratteristica è $a - 1$.

I numeri costituiti da una sola cifra hanno caratteristica 0.

I numeri con due cifre hanno caratteristica 1.

I numeri con tre cifre hanno caratteristica 2 ecc.
 I numeri 0, ... hanno caratteristica 0, ... -1
 I numeri 0,0, ... hanno caratteristica 0, ... -2
 ecc.

1.04 Numeri complessi e vettori

In antitesi ai numeri reali si trovano i numeri immaginari e complessi. I numeri immaginari sono quei numeri che non sono reali, ma esistono solo nell'immaginazione. Per poterli tuttavia rappresentare si ricorre al « piano di Gauss ». Su una retta orizzontale vengono rappresentati in scala i numeri reali. Su una retta perpendicolare alla prima, e con essa intersecantesi, vengono rappresentati i numeri immaginari.

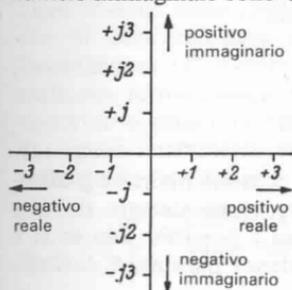


Fig. 1.

L'unità numerica dei numeri immaginari è l'unità $j = \sqrt{-1}$.

Tra le due rette si possono pensare molti valori numerici a piacere, composti da numeri reali e numeri immaginari. Essi vengono rappresentati mediante grandezze orientate, i vettori, e vengono chiamati numeri complessi.

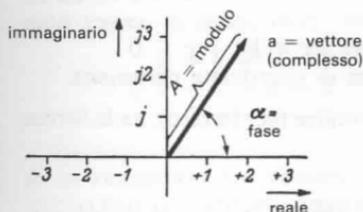


Fig. 2.

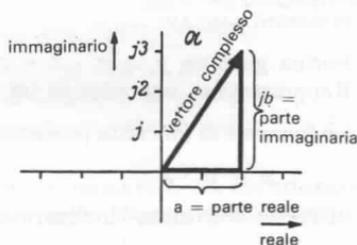


Fig. 3.

Tutti i numeri che si trovano nel piano di Gauss vengono rappresentati mediante vettori e sono determinati da:

modulo e direzione

oppure da

parte reale e parte immaginaria.

Scrittura:

$$\mathfrak{A} = a + j b = A (\cos \alpha + j \cdot \text{sen } \alpha)$$

o, in forma esponenziale:

$$\mathfrak{A} = A \cdot e^{j\alpha}$$

$ \mathfrak{A} $ oppure A	Modulo del vettore
\mathfrak{A}	vettore
a	Parte reale
$j b$	Parte immaginaria
α	Fase, argomento del vettore

1.05 Funzioni

Se due grandezze sono dipendenti tra loro, si possono riportare graficamente i diversi valori corrispondenti, oppure eventualmente stabilire un'uguaglianza matematica. Quest'ultimo caso è possibile solo se vi è una regolarità, non se si tratta di una dipendenza puramente casuale.

Per una funzione si scrive:

$y = f(x)$ e si dice y uguale a funzione di x oppure brevemente y uguale a f di x

FUNZIONI LINEARI

Forma generale $y = m \cdot x + c$ oppure $ax + by + c = 0$
Rappresentano una retta in un sistema di coordinate cartesiane.

La funzione di una retta passante per l'origine (per lo zero), ha la forma:

$$y = m \cdot x$$

in cui m determina l'inclinazione della retta.

FUNZIONI QUADRATICHE (di secondo grado)

Forma generale: $a x^2 + b y^2 + c x y + d x + e y + f = 0$
Rappresentano una sezione conica.

FUNZIONI ESPONENZIALI

Forma generale: $y = a^x$

Le funzioni logaritmiche sono l'inverso delle funzioni esponenziali.

Forma generale: $x = \log_a y$

FUNZIONI TRIGONOMETRICHE

$$y = \operatorname{sen} x \quad y = \operatorname{cos} x \quad y = \operatorname{tan} x \quad y = \operatorname{cot} x$$

1.06 Trasformazione delle formule

Ogni formula viene scritta in forma di uguaglianza. Il valore incognito, che si deve calcolare si trova, da solo, nella parte sinistra dell'uguaglianza (1° membro). Se non ci troviamo davanti alla formula nella sua forma ridotta, bisogna cambiarla. I mutamenti che vengono apportati al primo membro dell'uguaglianza, devono venire compensati da eguali mutamenti nel secondo membro, affinché l'uguaglianza rimanga in "equilibrio".

x valore da calcolare
 a, b, c, d, e valori noti

I MEMBRI DI UN'UGUAGLIANZA POSSONO VENIRE SCAMBIATI.

$$\begin{array}{l|l} a = x + b & a = x \cdot b \\ x + b = a & x \cdot b = a \end{array}$$

Se ad un membro di un'uguaglianza viene tolto o aggiunto un determinato valore, lo stesso deve venire fatto con l'altro membro.

$$\begin{array}{l|l} x + b = a & x - b = a \\ x + b - b = a - b & x - b + b = a + b \\ x = a - b & x = a + b \end{array}$$

SE SI TRASPORTA UN TERMINE POSITIVO O NEGATIVO DA UN MEMBRO ALL'ALTRO DI UN'UGUAGLIANZA, GLI SI DEVE CAMBIARE IL SEGNO.

Se si moltiplica o si divide un membro di un'uguaglianza per un determinato valore, lo stesso deve avvenire anche nell'altro membro.

$$\begin{array}{l|l} x \cdot b = a & \frac{x}{b} = a \\ \frac{x \cdot b}{b} = \frac{a}{b} & \frac{x \cdot b}{b} = a \cdot b \\ x = \frac{a}{b} & x = a \cdot b \end{array}$$

SE SI VUOLE TRASPORTARE ALL'ALTRO MEMBRO DI UN'UGUAGLIANZA IL MOLTIPLICATORE O IL DIVISORE DEL PRIMO MEMBRO, SI DEVE FARE L'OPERAZIONE INVERSA NEL SECONDO MEMBRO.

Se un membro di un'uguaglianza viene elevato a potenza o ne viene estratta la radice, lo stesso deve avvenire anche per l'altro membro.

$$\begin{array}{l} \sqrt{x} = a \cdot b \\ (\sqrt{x})^2 = (a \cdot b)^2 \\ x = a^2 \cdot b^2 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} x^2 = a \cdot b \\ \sqrt{x^2} = \sqrt{a \cdot b} \\ x = \sqrt{a} \cdot \sqrt{b} \end{array}$$

SE SI VUOLE ELIMINARE IL SEGNO DI RADICE IN UN MEMBRO, BISOGNA ELEVARE ALLA STESSA POTENZA AMBEDUE I MEMBRI DELL'UGUAGLIANZA.

SE SI VUOLE ELIMINARE L'ESPONENTE IN UN MEMBRO, SI DEVE ESTRARRE LA RADICE DI AMBEDUE I MEMBRI DELL'UGUAGLIANZA.

1.07 Grandezze e unità

Le grandezze sono proprietà misurabili di oggetti, processi o stati. Nelle norme sono stabiliti i simboli per le grandezze. I simboli vengono generalmente scritti in caratteri corsivi.

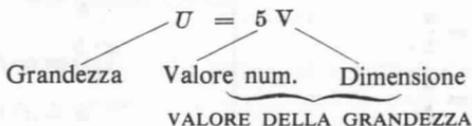
Per ogni grandezza si deve fissare l'unità di misura corrispondente (dimensione). I simboli delle unità vengono in genere scritti in carattere tondo.

Esempi:

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità</i>	<i>Simbolo dell'unità</i>
Lunghezza	<i>l</i>	metro	m
Tensione elettrica	<i>V</i>	volt	V
Potenza	<i>P</i>	watt	W

IL VALORE DELLA GRANDEZZA è contemporaneamente valore numerico e dimensione.

Esempio:



Le UNITÀ UFFICIALI sono prescritte da disposizioni legislative.

Le UNITÀ SI (Système International d'Unités, SI) costituiscono le unità base insieme alle unità coerenti da esse derivate con il fattore numerico 1 (vedi appendice 15.01).

Un gran numero delle unità finora utilizzate non è più ammesso. Fino al 31.12.1977 erano ammesse le unità riportate in appendice 15.02.

1.08 Grandezze fondamentali e unità fondamentali

<i>Grandezze fondamentali</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità fondamentale</i>	<i>Simbolo dell'unità</i>
Lunghezza	<i>l</i>	metro	m
Massa	<i>m</i>	chilogrammo	kg
Tempo	<i>t</i>	secondo	s
Intensità di corrente elettrica	<i>I</i>	ampere	A
Temperatura termodinamica (Kelvin)	<i>T</i>	kelvin	K
Intensità luminosa	<i>I_v</i>	candela	cd
Quantità di materia	<i>n</i>	mole	mol

La definizione delle unità fondamentali è concordata internazionalmente.

1 *metro* è uguale a 1 650 763,73 volte la lunghezza d'onda nel vuoto della luce rosso-arancione del krypton 86 (⁸⁶Kr) emessa nella transizione dal livello 2p₁₀ al livello 5d₅.

1 *chilogrammo* è la massa del prototipo internazionale del chilogrammo, un cilindro in platino conservato a Parigi.

1 *secondo* è uguale a 9 192 631 770 oscillazioni della radiazione emessa dall'atomo di cesio 133 (¹³³Cs) nello stato fondamentale ²S_{1/2} nella transizione dal livello iperfine F = 4, M = 0 al livello iperfine F = 3, M = 0.

1 *ampere* è l'intensità di una corrente elettrica costante che, scorrendo tra due conduttori paralleli e rettilinei a distanza di 1 metro uno dall'altro, infinitamente lunghi, di sezione circolare piccola a piacere, determina elettrodinamicamente tra questi due conduttori per ogni metro di lunghezza degli stessi la forza di 1/5 000 000 kgm/s².

1 *kelvin* è la 273,16esima parte della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.

1 *candela* è l'intensità luminosa, con cui illumina 1/600 000 m² della superficie di un radiatore termico ideale alla temperatura di solidificazione del platino alla pressione di 101 325 kg/m · s² verticalmente rispetto alla sua superficie.

1 *mole* è la quantità di materia di un sistema di determinata composizione, costituito da tante particelle quanti sono gli atomi contenuti in (12/1000) kg del nuclide ¹²C. Utilizzando la mole devono essere specificate le particelle. Si può trattare di atomi, molecole, ioni, elettroni, ecc. o di un gruppo di tali particelle di composizione esattamente data.

1.09 Multipli e sottomultipli delle unità

Simboli	Prefissi	Esempi		
da	deca- = 10 ¹	1 da g	= 1 decagrammo	= 1 · 10 ¹ g
h	etto- = 10 ²	9 hl	= 9 ettolitri	= 9 · 10 ² l
k	chilo- = 10 ³	2 kV	= 2 chilovolt	= 2 · 10 ³ V
		80 kW	= 80 chilowatt	= 8 · 10 ⁴ W
		300 kΩ	= 300 chiloohm	= 3 · 10 ⁵ Ω
M	mega- = 10 ⁶	7 MHz	= 7 megahertz	= 7 · 10 ⁶ Hz
		40 MΩ	= 40 megaohm	= 4 · 10 ⁷ Ω
		600 MHz	= 600 megahertz	= 6 · 10 ⁸ Hz
G	giga- = 10 ⁹	5 GHz	= 5 gigahertz	= 5 · 10 ⁹ Hz
T	tera- = 10 ¹²	1 TΩ	= 1 teraohm	= 1 · 10 ¹² Ω
d	deci- = 10 ⁻¹	1 dm	= 1 decimetro	= 1 · 10 ⁻¹ m
c	centi- = 10 ⁻²	9 cm	= 9 centimetri	= 9 · 10 ⁻² m
m	milli- = 10 ⁻³	2 mW	= 2 milliwatt	= 2 · 10 ⁻³ W
		0,8 mS	= 0,8 millisiemens	= 8 · 10 ⁻⁴ S
		0,03 mA	= 0,03 milliampere	= 3 · 10 ⁻⁵ A
μ	micro- = 10 ⁻⁶	7 μV	= 7 microvolt	= 7 · 10 ⁻⁶ V
		0,4 μm	= 0,4 micrometro	= 4 · 10 ⁻⁷ m
		0,06 μH	= 0,06 microhenry	= 6 · 10 ⁻⁸ H
n	nano- = 10 ⁻⁹	5 nF	= 5 nanofarad	= 5 · 10 ⁻⁹ F
p	pico- = 10 ⁻¹²	1 pF	= 1 picofarad	= 1 · 10 ⁻¹² F
f	femto- = 10 ⁻¹⁵	9 fm	= 9 femtometri	= 9 · 10 ⁻¹⁵ m
a	atto- = 10 ⁻¹⁸	2 ag	= 2 attogrammi	= 2 · 10 ⁻¹⁸ g

1.10 Equazioni

Le EQUAZIONI DIMENSIONALI sono equazioni che valgono indipendentemente dalla scelta delle unità di misura.

Esempio: Velocità uguale a distanza nel tempo

$$v = \frac{s}{t}$$

distanza percorsa: $s = 162 \text{ km} = 162\,000 \text{ m}$

nel tempo: $t = 3 \text{ h} = 180 \text{ min} = 10\,800 \text{ s}$

$$v = \frac{162 \text{ km}}{3 \text{ h}} = 54 \text{ km/h}$$

$$\text{oppure } v = \frac{162\,000 \text{ m}}{180 \text{ min}} = 900 \text{ m/min}$$

$$\text{oppure } v = \frac{162\,000 \text{ m}}{10\,800 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$$

Le EQUAZIONI DIMENSIONALI sono riferite a determinate misure e trasformate in modo che, utilizzando le unità date, si ottiene il risultato già nell'unità desiderata.

$$\text{Esempio: } \frac{U}{\text{mV}} = \frac{I}{\mu\text{A}} \cdot \frac{R}{\text{k}\Omega}$$

Le EQUAZIONI CON VALORE NUMERICO valgono solo per particolari unità, date nel testo o in forma di tabella.

$$\text{Esempio: } X_C = \frac{159}{f \cdot C} \text{ per } X_C \text{ in } \Omega, f \text{ in kHz e } C \text{ in } \mu\text{F}$$

1.11 Funzioni trigonometriche nel triangolo rettangolo

$$\text{Seno} \quad \text{sen} = \frac{\text{cateto opposto}}{\text{ipotenusa}}$$

$$\text{Coseno} \quad \text{cos} = \frac{\text{cateto adiacente}}{\text{ipotenusa}}$$



Fig. 4.

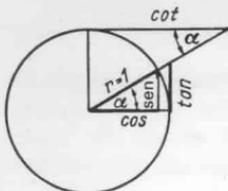


Fig. 5.

Tangente $\tan = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adiacente}}$

Cotangente $\cot = \frac{\text{cateto adiacente}}{\text{cateto oposto}}$

$$\text{sen } \alpha = \frac{a}{c}; \quad \text{sen } \beta = \frac{b}{c}; \quad \text{sen } \alpha = \text{cos } \beta;$$

$$\text{sen } \alpha = \text{cos } (90^\circ - \alpha)$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{b}{c}; \quad \text{cos } \beta = \frac{a}{c}; \quad \text{cos } \alpha = \text{sen } \beta;$$

$$\text{cos } \alpha = \text{sen } (90^\circ - \alpha)$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}; \quad \tan \beta = \frac{b}{a}; \quad \tan \alpha = \cot \beta;$$

$$\tan \alpha = \cot (90^\circ - \alpha)$$

$$\cot \alpha = \frac{b}{a}; \quad \cot \beta = \frac{a}{b}; \quad \cot \alpha = \tan \beta;$$

$$\cot \alpha = \tan (90^\circ - \alpha)$$

$$a = c \cdot \text{sen } \alpha = c \cdot \text{cos } \beta = b \cdot \tan \alpha = b \cdot \cot \beta = \frac{b}{\tan \beta} = \frac{b}{\cot \alpha}$$

$$b = c \cdot \text{sen } \beta = c \cdot \text{cos } \alpha = a \cdot \tan \beta = a \cdot \cot \alpha = \frac{a}{\tan \alpha} = \frac{a}{\cot \beta}$$

$$c = \frac{a}{\text{sen } \alpha} = \frac{b}{\text{sen } \beta} = \frac{b}{\text{cos } \alpha} = \frac{a}{\text{cos } \beta}$$

$$\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1; \quad \text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$$

$$\cot \alpha = \frac{\text{cos } \alpha}{\text{sen } \alpha}$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$$

- c Ipotenusa
- a, b Cateti
- α Angolo opposto ad a
- β Angolo opposto a b
- ($\alpha = \text{alfa}, \beta = \text{beta}$)



Fig. 6.

SEGNI DELLE FUNZIONI TRIGONOMETRICHE NEI QUADRANTI

angolo	quadrante	sen	cos	tan	cot	
$0^\circ \dots 90^\circ$	I	+	+	+	+	α
$90^\circ \dots 180^\circ$	II	+	-	-	-	$180^\circ - \alpha$
$180^\circ \dots 270^\circ$	III	-	-	+	+	$180^\circ + \alpha$
$270^\circ \dots 360^\circ$	IV	-	+	-	-	$360^\circ - \alpha$

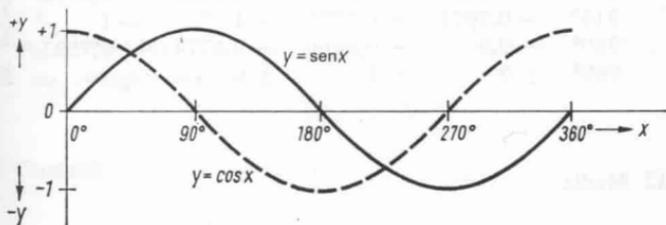


Fig. 7.

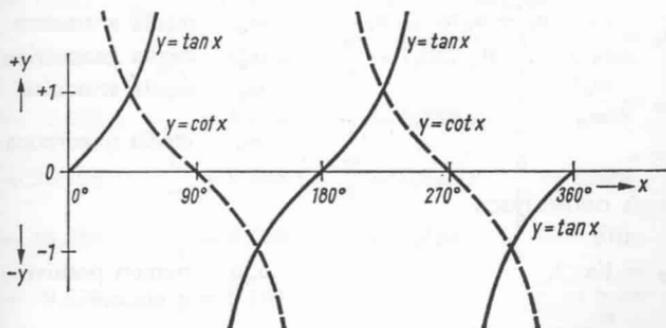


Fig. 8.

FUNZIONI TRIGONOMETRICHE PER GLI ANGOLI PIÙ IMPORTANTI

angolo	sen	cos	tan	cot	radiani
$0^\circ = 360^\circ$	± 0	$+ 1$	± 0	$\pm \infty$	0
30°	$+ 0,5$	$+ 0,8660$	$+ 0,5774$	$+ 1,7321$	
45°	$+ 0,7071$	$+ 0,7071$	$+ 1$	$+ 1$	$\pi/4$
60°	$+ 0,8660$	$+ 0,5$	$+ 1,7321$	$+ 0,5774$	
90°	$+ 1$	± 0	$\pm \infty$	± 0	$\pi/2$
120°	$+ 0,8660$	$- 0,5$	$- 1,7321$	$- 0,5774$	
135°	$+ 0,7071$	$- 0,7071$	$- 1$	$- 1$	$\frac{3}{4} \pi$
150°	$+ 0,5$	$- 0,8660$	$- 0,5774$	$- 1,7321$	$\frac{4}{4} \pi$
180°	± 0	$- 1$	± 0	$\pm \infty$	π
210°	$- 0,5$	$- 0,8660$	$+ 0,5774$	$+ 1,7321$	$\frac{5}{4} \pi$
225°	$- 0,7071$	$- 0,7071$	$+ 1$	$+ 1$	$\frac{4}{4} \pi$
240°	$- 0,8660$	$- 0,5$	$+ 1,7321$	$+ 0,5774$	$\frac{3}{4} \pi$
270°	$- 1$	± 0	$\pm \infty$	± 0	$\frac{2}{4} \pi$
300°	$- 0,8660$	$+ 0,5$	$- 1,7321$	$- 0,5774$	$\frac{7}{4} \pi$
315°	$- 0,7071$	$+ 0,7071$	$- 1$	$- 1$	$\frac{4}{4} \pi$
330°	$- 0,5$	$+ 0,8660$	$- 0,5774$	$- 1,7321$	
360°	± 0	$+ 1$	± 0	$\pm \infty$	$2 \cdot \pi$

1.12 Medie

MEDIA ARITMETICA

$$m_a = \frac{a + b}{2}$$

$$m_a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

$$m_a = \frac{m_g^2}{m_h}$$

m_a media aritmetica
 m_g media geometrica
 m_h media armonica
 m_q media quadratica

MEDIA GEOMETRICA

$$m_g = \sqrt{a \cdot b}$$

$$m_g = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \dots \cdot a_n}$$

$$m_g = \sqrt{m_a \cdot m_h}$$

a, b numeri positivi a piacere
 n numero dei membri (almeno due)

MEDIA ARMONICA

$$m_h = \frac{2ab}{a+b}$$

$$m_h = \frac{n}{1/a_1 + 1/a_2 + 1/a_3 + \dots + 1/a_n}$$

$$m_h = \frac{m_g^2}{m_a}$$

MEDIA QUADRATICA

$$m_q = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}$$

$$m_q = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_n^2}{n}}$$

$$m_a : m_g = m_g : m_h$$

$$m_q > m_a > m_g > m_h$$

1.13 Costanti

COSTANTI CON PI GRECO π (arrotondato)

$$\pi = 3,14159\dots \approx 3,142; \quad \frac{1}{\pi} = 0,318;$$

$$2\pi = 6,283; \quad \frac{1}{2\pi} = 0,159; \quad \frac{\pi}{2} = 1,571; \quad \frac{2}{\pi} = 0,637$$

$$3\pi = 9,425; \quad \frac{1}{3\pi} = 0,106; \quad \frac{\pi}{3} = 1,047; \quad \frac{3}{\pi} = 0,955$$

$$4\pi = 12,566; \quad \frac{1}{4\pi} = 0,079; \quad \frac{\pi}{4} = 0,785; \quad \frac{4}{\pi} = 1,273$$

$$5\pi = 15,708; \quad \frac{1}{5\pi} = 0,063; \quad \frac{\pi}{5} = 0,628; \quad \frac{5}{\pi} = 1,592$$

$$6\pi = 18,850; \quad \frac{1}{6\pi} = 0,053; \quad \frac{\pi}{6} = 0,524; \quad \frac{6}{\pi} = 1,910$$

$$\pi^2 = 9,870; \quad \frac{1}{\pi^2} = 0,101;$$

$$\pi^3 = 31,006; \quad \frac{1}{\pi^3} = 0,032;$$

$$\sqrt{\pi} = 1,772 ; \quad \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0,564 ; \quad \frac{2}{\sqrt{\pi}} = 1,128$$

$$\frac{180}{\pi} = 57,296 ; \quad \frac{\pi}{180} = 0,017453 ;$$

$$\frac{360}{\pi} = 114,592 ; \quad \frac{\pi}{360} = 0,0087265$$

LOGARITMI IMPORTANTI

$\lg 1000 = 3$	La base del logaritmo decimale \lg
$\lg 100 = 2$	è $a = 10$
$\lg 10 = 1$	La base del logaritmo naturale \ln
$\lg 1 = 0$	è $e = 2,71828 \dots$
$\lg 0,1 = -1$	$\ln a = 2,3026 \cdot \lg a$
$\lg 0,01 = -2$	$\ln 10 = 2,3026$
$\lg 0,001 = -3$	$\lg a = 0,4343 \cdot \ln a$
	$\lg e = 0,4343$

$$\frac{1}{e} = 0,3679 ; \quad \lg \frac{1}{e} = 0,5657 - 1$$

$$e^2 = 7,3891 ; \quad \lg e^2 = 0,8686$$

$$\frac{1}{e^2} = 0,1353 ; \quad \lg \frac{1}{e^2} = 0,1314 - 1$$

$$\sqrt{e} = 1,6487 ; \quad \lg \sqrt{e} = 0,2171$$

RADICALI IMPORTANTI

$$\sqrt{2} = 1,4142 ; \quad \lg \sqrt{2} = 0,1505$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0,7071 ; \quad \lg \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,8495 - 1$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7071 ; \quad \lg \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,8495 - 1$$

$$\sqrt{3} = 1,7321 ; \quad \lg \sqrt{3} = 0,2386$$

$$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,5774 ; \quad \lg \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,7614 - 1$$

$$\sqrt{10} = 3,1623 ; \quad \lg \sqrt{10} = 0,5000$$

$$\sqrt{1000} = 31,623 ; \quad \lg \sqrt{1000} = 1,5000$$

VALORI IMPORTANTI PER I NUMERI DA 1 A 10

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$	$n!$
1	1	1	1,000	1,000	1	1	1
2	4	8	1,414	1,260	0,500	0,2500	2
3	9	27	1,732	1,442	0,333	0,1111	6
4	16	64	2,000	1,587	0,250	0,0625	24
5	25	125	2,236	1,710	0,200	0,0400	120
6	36	216	2,449	1,817	0,167	0,0278	720
7	49	343	2,646	1,913	0,143	0,0204	5040
8	64	512	2,828	2,000	0,125	0,0156	40320
9	81	729	3,000	2,080	0,111	0,0123	362880
10	100	1000	3,162	2,154	0,100	0,0100	3628800

ALTRI VALORI PER I NUMERI DA 1 A 10

n	$\lg n$	$\ln n$	e^n	e^{-n}	$n \cdot \pi$	$\frac{n^2 \cdot \pi}{4}$
1	0,0000	0,0000	2,7183	0,36788	3,142	0,7854
2	0,3010	0,6931	7,3891	0,13534	6,283	3,1416
3	0,4771	1,0986	20,086	0,04979	9,425	7,0686
4	0,6021	1,3863	54,598	0,01832	12,566	12,5664
5	0,6990	1,6094	148,41	0,00674	15,708	19,6350
6	0,7782	1,7918	403,43	0,00248	18,850	28,2743
7	0,8451	1,9459	1096,6	0,00091	21,991	38,4845
8	0,9031	2,0794	2981,0	0,00034	25,133	50,2655
9	0,9542	2,1972	8103,1	0,00012	28,274	63,6173
10	1,0000	2,3026	22026	0,00005	31,416	78,5398

1.14 Numeri binari

Numeri		Pesi	
decimale	binari	decimali	binari
0	0	10^0	2^0
1	L	10^1	2^1
2	L 0	10^2	2^2
3	L L	10^3	2^3
4	L 0 0	10^4	2^4
5	L 0 L	10^5	2^5
6	L L 0	10^6	2^6
7	L L L	10^7	2^7
8	L 0 0 0		
9	L 0 0 L		
10	L 0 L 0		
11	L 0 L L		
12	L L 0 0		
13	L L 0 L		
14	L L L 0		
15	L L L L		
16	L 0 0 0 0		
...			
32	L 0 0 0 0 0		
64	L 0 0 0 0 0 0		
128	L 0 0 0 0 0 0 0		
256	L 0 0 0 0 0 0 0 0		

CONVERSIONE DA BINARIO IN DECIMALE

Numero binario dato	L	0	0	L	L	0	L
Peso	64	32	16	8	4	2	1

corrisponde nel sistema decimale a
 $64 + 8 + 4 + 1 = 77$

Il numero decimale dato, ad es. 77, viene scomposto:

$$77 : 64 = L \quad \text{resto } 13$$

$$13 : 32 = 0$$

$$13 : 16 = 0$$

$$13 : 8 = L \quad \text{resto } 5$$

$$5 : 4 = L \quad \text{resto } 1$$

$$1 : 2 = 0$$

$$1 : 1 = L \quad \text{resto } 0$$

Risultato: il numero 77 corrisponde nel sistema binario a L00LLOL

Prova: $64 + 8 + 4 + 1 = 77$

1.15 Aritmetica binaria

ADDIZIONE BINARIA

$$A + B = \text{Somma}$$

$$0 + 0 = 0$$

$$L + 0 = L$$

$$0 + L = L$$

$$L + L = \text{ed } L \text{ come riporto}$$

SOTTRAZIONE BINARIA

$$A - B = \text{Differenza}$$

$$0 - 0 = 0$$

$$L - 0 = L$$

$$0 - L = L \text{ ed } L \text{ come prestito}$$

$$L - L = 0$$

MOLTIPLICAZIONE BINARIA

$$A \cdot B = \text{Prodotto}$$

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$L \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot L = 0$$

$$L \cdot L = L$$

DIVISIONE BINARIA

$$A : B = \text{Quoziente}$$

$$0 : 0 = \text{indeterminato}$$

$$L : 0 = \text{indeterminato}$$

$$0 : L = 0$$

$$L : L = L$$

2 Meccanica

2.01 Lunghezze

Simbolo: *l* Unità: metro, abbreviato: m

	km	m	dm	cm	mm	μm	nm	Å
1 km =	1	1000	10^4	10^5	10^6	10^9	10^{12}	10^{13}
1 m =	10^{-3}	1	10	100	1000	10^6	10^9	10^{10}
1 dm =	10^{-4}	10^{-1}	1	10	100	10^5	10^8	10^9
1 cm =	10^{-5}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^4	10^7	10^8
1 mm =	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	1000	10^6	10^7
1 μm =	10^{-9}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	1	1000	10^4
1 nm =	10^{-12}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-3}	1	10
1 Å =	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1
Å	Unità Angstrom							

2.02 Superfici, aree

Simbolo: *A* Unità: metro quadrato, abbreviato: m²

	km ²	ha	a	m ²	dm ²	cm ²	mm ²
1 km ² =	1	100	10^4	10^6	10^8	10^{10}	10^{12}
1 ha =	10^{-2}	1	100	10^4	10^6	10^8	10^{10}
1 a =	10^{-4}	10^{-2}	1	100	10^4	10^6	10^8
1 m ² =	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	100	10^4	10^6
1 dm ² =	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	100	10^4
1 cm ² =	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	100
1 mm ² =	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1
ha	ettaro						
a	ara						

2.03 Volumi

Simbolo: V Unità: metro cubo, abbreviato: m^3

	km^3	m^3	hl	$dm^3 = l$	cm^3	mm^3
1 km^3	= 1	10^9	10^{10}	10^{12}	10^{15}	10^{18}
1 m^3	= 10^{-9}	1	10	1000	10^6	10^9
1 hl	= 10^{-10}	10^{-1}	1	100	10^5	10^8
1 $dm^3 = 1 l$	= 10^{-12}	10^{-3}	10^{-2}	1	1000	10^6
1 cm^3	= 10^{-15}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-3}	1	1000
1 mm^3	= 10^{-18}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-3}	1
hl	ettolitro					
l	litro					

2.04 Forza

Simbolo: F Unità: newton, abbreviato: N

Con le stesse unità: peso (come forza in fisica e tecnica = forza peso)

Simbolo: G

	Mp	kp	N	p	mp	dyn
1 Mp	= 1	10^3	$9,81 \cdot 10^4$	10^4	10^3	$9,81 \cdot 10^8$
1 kp	= 10^{-3}	1	9,81	10^3	10^2	$9,81 \cdot 10^6$
1 N	= $0,102 \cdot 10^{-4}$	0,102	1	$0,102 \cdot 10^4$	$0,102 \cdot 10^3$	10
1 p	= 10^{-4}	10^{-4}	$9,81 \cdot 10^{-4}$	1	10^3	981
1 mp	= 10^{-3}	10^{-3}	$9,81 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	1	0,981
1 dyn	= $0,102 \cdot 10^{-8}$	$0,102 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$0,102 \cdot 10^{-3}$	1,02	1
dyn	Dyn	p	pond			

2.05 Massa

Simbolo: m Unità: chilogrammo, abbreviato: kg

Con la stessa unità: peso (come quantità in commercio ed economia)

Simbolo: G

	t	kg	g	mg	μg
1 t	= 1	10^3	10^6	10^9	10^{12}
1 kg	= 10^{-3}	1	10^3	10^6	10^9
1 g	= 10^{-6}	10^{-3}	1	10^3	10^6
1 mg	= 10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3
1 μg	= 10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1
	t	tonnellata			

2.06 Pressione

Simbolo: P

Unità: pascal

Abbreviato: Pa

1 Pa = 1 newton per metro quadrato = 1 N/m²

	atm	kp/cm	bar	Torr	mbar	kp/m ²	Pa	μbar
1 atm	1	1,033	1,013	760	1013	$1,033 \cdot 10^4$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^6$
1 kp/cm ²	0,968	1	0,981	736	981	10^4	$0,981 \cdot 10^5$	$0,981 \cdot 10^6$
1 bar	0,987	1,02	1	750	10^3	$1,02 \cdot 10^4$	10^5	10^6
1 Torr	$1,316 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	1	1,333	13,6	133,3	1333
1 mbar	$0,987 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	0,75	1	10,2	100	10^2
1 kp/m ²	$0,968 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$0,981 \cdot 10^{-4}$	0,0736	0,0981	1	9,81	98,1
1 Pa	$0,987 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$0,75 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,102	1	10
1 μbar	$0,987 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}	$0,75 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$1,02 \cdot 10^{-2}$	0,1	1

at atmosfera tecnica 1 at = 1 kp/cm²

atm atmosfera fisica 1 atm = 760 Torr

1 μbar = 1 dyn/cm²

2.07 Tempo

Simbolo: t Unità: secondo, abbreviato: s

1 d = 24 h = 1440 min = 86 400 s

1 h = 60 min = 3600 s

1 min = $\frac{1}{60}$ h = 60 s

1 s = $\frac{1}{3600}$ h = $\frac{1}{60}$ min = 1000 ms = 10^6 μs

a anno (annum) d giorno (dies) h ora (hora) min minuto

2.08 Angoli

Simboli: lettere greche, ad es. α , β , γ , δ , φ

Unità: radiante, abbreviato: rad

1 radiante è uguale all'angolo piatto che come angolo al centro di un cerchio di 1 m di raggio, taglia sulla circonferenza un arco di 1 m di lunghezza.

$1\text{L} = 1 \text{ angolo retto} = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ = 100 \text{ gon} = \text{angolo retto}$
 $2\text{L} = 2 \text{ angoli retti} = \pi \text{ rad} = 180^\circ = 200 \text{ gon} = \text{angolo piatto}$
 $4\text{L} = 4 \text{ angoli retti} = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ = 400 \text{ gon} = \text{angolo giro}$

$$1 \text{ rad} = \frac{2\text{L}}{\pi} = \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{10800'}{\pi} = \frac{648000''}{\pi} = \frac{200}{\pi} \text{ gon}$$

$$1 \text{ rad} \approx 0,637\text{L} \approx 57,3^\circ \approx 3437,7' \approx 206265'' \approx 63,7 \text{ gon}$$

$$1^\circ = \pi/180 \text{ rad} = 60' = 3600'' = 1,11 \dots \text{ gon}$$

$$1' = \pi/10800 \text{ rad} = 1^\circ/60 = 60'' = 0,0185185 \dots \text{ gon}$$

$$= 1,85185 \dots \text{ cgon}$$

$$1'' = \pi/648000 \text{ rad} = 1^\circ/3600 = 1'/60 = 0,308642 \text{ mgon}$$

$$1 \text{ gon} = \pi/200 \text{ rad} = 0,9^\circ = 54' = 3240''$$

$$1 \text{ dgon} = 1 \text{ decigon} = 10^{-1} \text{ gon} = 0,09^\circ = 5,4' = 324''$$

$$1 \text{ cgon} = 1 \text{ centigon} = 10^{-2} \text{ gon} (= 1 \text{ minuto centesimale} = 1'')$$

$$1 \text{ mgon} = 1 \text{ milligon} = 10^{-3} \text{ gon}$$

$$0,1 \text{ mgon} = 10^{-4} \text{ gon} (= 1 \text{ secondo centesimale} = 1'')$$

Simboli:	1 rad	1 radiante
	1L	1 angolo retto
	1°	1 grado
	1 gon	1 grado centesimale
	1'	1 minuto
	1''	1 secondo
finora:	1 gon	1 ^s detto anche grado centesimale

2.09 Temperatura

Simboli: T, Θ, t, θ Unità: kelvin, abbreviato K

Temperatura assoluta T oppure Θ , unità: kelvin K. La scala incomincia con 0 K allo zero assoluto e non possiede perciò valori di temperatura negativi.

Temperatura Celsius t oppure θ , unità: gradi Celsius °C. Lo zero della scala è il punto fisso del ghiaccio.

Temperatura Fahrenheit, nei paesi anglosassoni. Unità: gradi Fahrenheit °F. Lo zero della scala corrisponde al punto di fusione di una particolare miscela di alcool e ghiaccio.

$$\text{Zero assoluto: } 0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C} = -459,67 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Punto fisso del ghiaccio: } 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} = +32 \text{ }^\circ\text{F}$$

Punto di ebollizione: $100\text{ }^{\circ}\text{C} = 373,15\text{ K} = + 212\text{ }^{\circ}\text{F}$

Trasformazione delle scale della temperatura

$$1\text{ K} \cong \frac{9}{5}\text{ }^{\circ}\text{F} \cong 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$1\text{ }^{\circ}\text{F} \cong \frac{5}{9}\text{ K} \cong 0,555\dots\text{ K}$$

$$T\text{ K} = t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K} = \frac{5}{9} \cdot t\text{ }^{\circ}\text{F} + 255,37\text{ K}$$

$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = T\text{ K} - 273,15\text{ K} = \frac{5}{9} \cdot t\text{ }^{\circ}\text{F} - 17,78\text{ K}$$

$$t\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \cdot t\text{ }^{\circ}\text{C} + 32\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \cdot T\text{ K} - 459,67\text{ }^{\circ}\text{F}$$

2.10 Calcolo delle aree

QUADRATO: $U = 4 \cdot a$

$$a = \frac{U}{4}$$

$$di = a\sqrt{2} = a \cdot 1,414; \quad a = \frac{di}{\sqrt{2}} = di \cdot 0,707$$

$$A = a \cdot a = a^2; \quad a = \sqrt{A}$$

a lato A area

U perimetro di diagonale

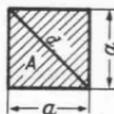


Fig. 9.

RETTANGOLO: $U = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2(a + b)$

$$A = a \cdot b; \quad a = \frac{A}{b}; \quad b = \frac{A}{a}$$

a, b lati A area

U perimetro

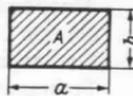


Fig. 10.

ROMBO: $U = 4 \cdot a; \quad a = \frac{U}{4}$

$$A = a \cdot h; \quad a = \frac{A}{h}; \quad h = \frac{A}{a}$$

a lato U perimetro

h altezza A area

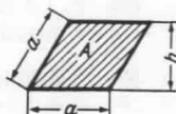


Fig. 11.

ROMBOIDE: $U = 2(a + b)$

$$A = a \cdot h; \quad a = \frac{A}{h}; \quad h = \frac{A}{a}$$

$$A = a \cdot b \cdot \sin \gamma$$

a, b lati A area
 h altezza γ angolo di inclinazione
 U perimetro

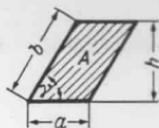


Fig. 12.

TRIANGOLO: $U = a + b + c$

$$A = \frac{c \cdot h}{2}; \quad c = \frac{2 \cdot A}{h}; \quad h = \frac{2 \cdot A}{c}$$

$$A = \frac{a \cdot b}{2} \sin \gamma = \frac{b \cdot c}{2} \sin \alpha = \frac{a \cdot c}{2} \sin \beta$$

c base A area
 a, b lati α angolo opposto ad a (alfa)
 h altezza β angolo opposto a b (beta)
 U perimetro γ angolo opposto a c (gamma)



Fig. 13.

TRIANGOLO RETTANGOLO

Teorema di Pitagora:

$$c^2 = a^2 + b^2; \quad c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$a^2 = c^2 - b^2; \quad a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b^2 = c^2 - a^2; \quad b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

$$A = \frac{a \cdot b}{2} = \frac{c \cdot h}{2}$$

Teorema di Euclide:

$$b^2 = q \cdot c$$

Teorema delle altezze:

$$h^2 = p \cdot q$$

c ipotenusa, lato opposto all'angolo retto, base
 a, b cateti, lati del triangolo
 A area del triangolo

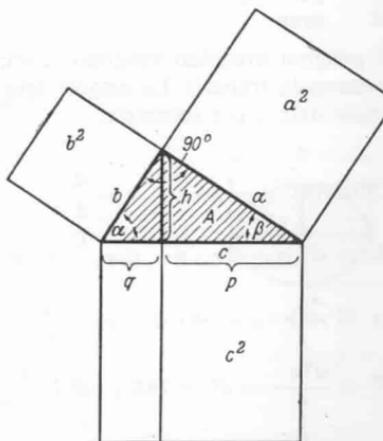


Fig. 14.

TRAPEZIO: $A = \frac{a+b}{2} \cdot h$

$$a = \frac{2 \cdot A}{h} - b; \quad b = \frac{2 \cdot A}{h} - a; \quad h = \frac{2 \cdot A}{a+b}$$

a base maggiore

b base minore

h altezza

A area

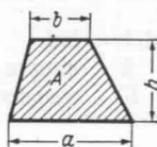


Fig. 15.

POLIGONO REGOLARE:

$$U = a \cdot n; \quad a = \frac{U}{n}; \quad n = \frac{U}{a}$$

$$A = \frac{a \cdot r \cdot n}{2}; \quad a = \frac{2 \cdot A}{r \cdot n}; \quad r = \frac{2 \cdot A}{a \cdot n}$$

a lato

n numero dei lati

r raggio della circonferenza inscritta

U perimetro

A area



Fig. 16.

I poligoni irregolari vengono scomposti in superfici regolari (triangoli, rettangoli, trapezi). Le singole aree vengono calcolate secondo le formule date e poi sommate.

CERCHIO: $d = 2 \cdot r; \quad r = \frac{d}{2}$

$$U = d \cdot \pi = 2r \cdot \pi; \quad d = \frac{U}{\pi}; \quad r = \frac{U}{2\pi}$$

$$A = r \cdot r \cdot \pi = r^2 \cdot \pi; \quad r^2 = \frac{A}{\pi}; \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$F = \frac{d^2 \pi}{4} = d^2 \cdot 0,785; \quad d^2 = \frac{4 \cdot A}{\pi}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1,128 \sqrt{A}$$

d diametro

r raggio



Fig. 17.

U circonferenza
 A area
 π pi greco
 $\pi = 3,14159 \dots$
 $\frac{\pi}{4} = 0,785$
 $2 \cdot \pi = 6,283$

CORONA CIRCOLARE $D = 2(r + s) = d + 2s$

$$s = R - r = \frac{D - d}{2}$$

$$d = D - 2s$$

$$= (R^2 - r^2) \pi = (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d^2 \pi}{4}$$

D diametro esterno
 d diametro interno
 R, r raggi
 A area della corona circolare
 s larghezza, spessore



Fig. 18.

ELLISSI:

$$U \approx \left(\frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right) \cdot \pi \text{ (stima grossolana)}$$

$$U \approx 0,69 \cdot \pi \sqrt{D^2 + d^2} \text{ (più esatto)}$$

$$A = \frac{D \cdot d \cdot \pi}{4}$$

D asse maggiore
 d asse minore
 U perimetro
 A area

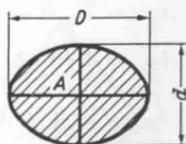


Fig. 19.

2.11 Calcolo di volumi

CUBO:

$$A = a^2; \quad a = \sqrt{A}$$

$$A_g = 6 \cdot A = 6 \cdot a^2$$

$$V = a^3; \quad a = \sqrt[3]{V}$$

a lato
 A area della base
 A_g area totale
 V volume (capacità)

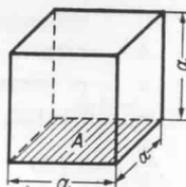


Fig. 20.

PARALLELEPIPEDO:

$$A = a \cdot b$$

$$A_m = 2(a + b) \cdot h$$

$$A_g = 2 \cdot a \cdot b + 2(a + b) \cdot h$$

$$V = a \cdot b \cdot h = A \cdot h$$

$$a = \frac{V}{b \cdot h}; \quad b = \frac{V}{a \cdot h} \quad h = \frac{V}{a \cdot b} = \frac{V}{A}$$

a, b lati della base
 h altezza
 A area della base
 A_m area laterale
 A_g area totale
 V volume

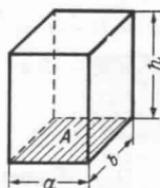


Fig. 21.

CILINDRO:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$$

$$A_m = d \cdot \pi \cdot h$$

$$A_g = 2 \cdot A + A_m = \frac{d^2 \pi}{2} + d \cdot \pi \cdot h$$

$$V = A \cdot h = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = r^2 \cdot \pi \cdot h$$

$$A = \frac{V}{h}; \quad h = \frac{V}{A}$$

d diametro della base
 r raggio della base
 h altezza (nei fili, lunghezza)
 A area della base (sezione trasversale)
 A_m area della superficie curva
 A_g area totale
 V volume



Fig. 22.

CILINDRO CAVO:

$$A_m = A_g - A_d$$

$$V = (A_g - A_d) \cdot h$$

$$V = (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} \cdot h$$

D diametro esterno

d diametro interno

A_g sezione trasversale totale

A_d sezione trasversale della cavità

A_m sezione trasversale del materiale

V volume

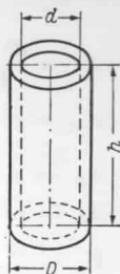


Fig. 23.

SFERA:

$$A_g = d^2 \cdot \pi = 4 \cdot r^2 \cdot \pi$$

$$V = \frac{d^3 \pi}{6} = \frac{4 r^3 \pi}{3} = 0,5236 d^3$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{A_g}{\pi}}$$

d diametro

r raggio

A_g area della superficie sferica

V volume



Fig. 24.

PIRAMIDE CON BASE REGOLARE:

$$A_m = \frac{a \cdot h \cdot n}{2}$$

$$A_g = A + \frac{a \cdot h \cdot n}{2}$$

$$V = \frac{A \cdot H}{3}; H = \frac{3 \cdot V}{A}; A = \frac{3 \cdot V}{H}$$

$$k = \sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}}$$

a lato della base

n numero dei lati

h altezza delle facce laterali

k lunghezza dello spigolo

H altezza della piramide

A area della base

A_m area della superficie laterale

A_g area della superficie totale

V volume

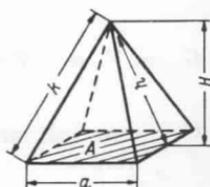


Fig. 25.

CONO:

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$$

$$A_m = r \cdot \pi \cdot s = \frac{d \cdot \pi \cdot s}{2}$$

$$A_g = A + A_m = \frac{d^2 \pi}{4} + \frac{d \pi s}{2}$$

$$A_g = r \cdot \pi \cdot s + r^2 \cdot \pi$$

$$V = \frac{A \cdot H}{3} = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot H}{12}$$

$$H = \frac{3 \cdot V}{A} = \frac{12 \cdot V}{d^2 \cdot \pi}; \quad d = \sqrt{\frac{12 \cdot V}{\pi \cdot H}}$$

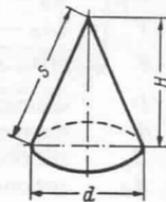


Fig. 26.

- d diametro della base
 r raggio della base
 s altezza della superficie laterale
 H altezza del solido
 A area della base
 A_m area della superficie laterale
 A_g area della superficie totale
 V volume

2.12 Calcolo dei pesi (peso come massa)

$$G = V \cdot \rho; \quad V = \frac{G}{\rho}; \quad \rho = \frac{G}{V}$$

- G peso (nel senso di massa)
 V volume

$$\rho \text{ densità } \rho = \frac{m}{V}$$

m massa

$\rho =$ massa di 1 mm³ in mg

$\rho =$ massa di 1 cm³ in g

$\rho =$ massa di 1 dm³ in kg

$\rho =$ massa di 1 m³ in Mg (oppure t)

$\rho > 1$ significa più pesante dell'acqua

$\rho < 1$ significa più leggero dell'acqua

$$\rho_{\text{Cu}} = 8,85 \dots 8,95$$

$$\rho_{\text{acciaio}} = 7,85$$

$$\rho_{\text{Al}} = 2,70$$

V in mm^3 per ρ dà G in mg

V in cm^3 per ρ dà G in g

V in dm^3 per ρ dà G in kg

V in m^3 per ρ dà G in t

2.13 Peso dei fili metallici (corpi cilindrici)

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}; \quad V = A \cdot l; \quad G = V \cdot \rho$$

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l; \quad G = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot l \cdot \rho}{4}$$

$$l = \frac{V}{A}; \quad A = \frac{V}{l}; \quad V = \frac{G}{\rho}; \quad \rho = \frac{G}{V}$$

d dato in	mm	cm	dm	m	mm	mm
dà A in	mm^2	cm^2	dm^2	m^2	mm^2	mm^2
ed l dato in	mm	cm	dm	m	m	km
dà V in	mm^3	cm^3	dm^3	m^3	cm^3	dm^3
per ρ dà G in	mg	g	kg	t	g	kg

d diametro del filo metallico

l lunghezza del filo metallico

A area della sezione trasversale

V volume

G peso

ρ densità

2.14 Calcolo percentuale (tolleranza)

$$p = \frac{\alpha}{N} \cdot 100 \quad \text{in } \%$$

$$\alpha = \frac{p \cdot N}{100}; \quad N = 100 \%$$

$$N = \frac{a \cdot 100}{p} \quad \frac{N}{100} = 1\%$$

$$p\% = \frac{a}{N/100}$$

N valore nominale
 a deviazione
 $p\%$ percentuale della deviazione

2.15 Rendimento

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad [\text{come frazione decimale sempre minore di 1}]$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100 \quad \text{in } \%$$

$$P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta}; \quad P_{ab} = P_{zu} \cdot \eta$$

η (leggi eta) rendimento
 P_{ab} potenza erogata
 P_{zu} potenza applicata

2.16 Dilatazione termica dei solidi

$$l_t = l_0 (1 + \alpha t)$$

Tra 0 °C e 100 °C è per

Alluminio $\alpha_{Al} = 23,8 \cdot 10^{-6}$

Rame $\alpha_{Cu} = 17,0 \cdot 10^{-6}$

Acciaio $\alpha_{St} = 11,7 \cdot 10^{-6}$

l_t lunghezza a t °C

l_0 lunghezza a 0 °C

α coefficiente di dilatazione termica

2.17 Velocità periferica

$$U = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60}$$

U velocità periferica in m/s

d diametro in m

n numero di giri al minuto

3 Eletttronica generale

3.01 Unità dell'elettrotecnica

ampere A: unità dell'intensità di corrente elettrica I .
Unità fondamentale. Vedi definizione par. 1.08

volt V: unità della tensione elettrica U .

$$V = \frac{W}{A} \quad 1 V = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3 \text{ A}}$$

ohm Ω : unità della resistenza elettrica R .

$$\Omega = \frac{V}{A} \quad 1 \Omega = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3 \text{ A}^2}$$

siemens S: unità della conduttanza elettrica G .

$$S = \frac{1}{\Omega} = \frac{A}{V} \quad 1 S = 1 \frac{\text{s}^3 \text{ A}^2}{\text{kg m}^2}$$

watt W: unità della potenza P .

$$W = V \cdot A = \frac{J}{s} \quad 1 W = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$$

fino al 13.12.77 ancora:

$$\text{PS potenza in cavalli} \quad 1 \text{ PS} = 736 W = 75 \frac{\text{kp m}}{\text{s}}$$

joule J: (leggi dschuhl) unità di energia W , lavoro L e quantità di calore Q .

$$1 \text{ Joule} = 1 J = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ VAs} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$$

fino al 31.12.77 ancora:

$$\text{erg} \quad \text{Erg} \quad 1 \text{ erg} = 10^{-7} J$$

$$\text{kcal} \quad \text{chilocaloria} \quad 1 \text{ kcal} = 4186,8 J$$

coulomb C: unità di carica elettrica (quantità di elettricità) Q .
amperesecondo As 1 C = 1 As

farad F: unità di capacità elettrica C:

$$F = \frac{C}{V} \quad 1 F = 1 \frac{As}{V} = 1 \frac{s^4 A^2}{kg m^2}$$

weber Wb: unità del flusso magnetico φ .

$$\text{volt al secondo Vs} \quad 1 Wb = 1 Vs = 1 \frac{kg m^2}{s^2 A}$$

$$\text{prima: } 1 \text{ maxwell} = 1 M = 1 G cm^2 = 10^{-8} Gm^2 = 10^{-8} Wb$$

tesla T: unità di densità di flusso magnetico (induzione magnetica) B .

$$T = \frac{Vs}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} \quad 1 T = 10^{-4} \frac{Vs}{cm^2} = 10^{-4} \frac{Wb}{cm^2} \\ = 1 \frac{kg}{s^2 A}$$

$$\text{prima: } 1 \text{ gauss} = 1 G = 10^{-8} \frac{Vs}{cm^2} = 10^{-4} \frac{Wb}{m^2} \\ = 10^{-4} T$$

$$10\,000 G = 1 T$$

ampere per metro A/m: unità di intensità di campo magnetico H

$$\frac{A}{m} = \frac{N}{Wb} \quad 1 \frac{A}{m} = 10^{-2} \frac{A}{cm}$$

$$\text{prima: } 1 \text{ oersted} = 1 Oe = \frac{10 A}{4\pi cm} = \frac{10^3 A}{4\pi m}$$

henry H: unità di induttività elettromagnetica L .

$$H = \frac{Vs}{A} = \frac{Wb}{A} = \Omega s \quad 1 H = 1 \frac{kg m^2}{s^2 A^2}$$

henry per metro H/m: unità della costante di campo magnetico μ_0 .

$$\frac{H}{m} = \frac{Vs}{Am} = \frac{Wb}{Am} = 10^{-2} \frac{Wb}{A cm} = \frac{\Omega s}{m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Wb}}{\text{Am}} = 4\pi \cdot 10^{-9} \frac{\text{Wb}}{\text{A cm}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

(esattamente)

hertz Hz: unità di frequenza f .

$$\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$$

3.02 Legge di Ohm

$$U = I \cdot R$$

$$I = \frac{U}{R}; \quad R = \frac{U}{I}$$

U in mV = I in mA per R in Ω

$$\text{V} = \quad \text{mA} \quad \text{k}\Omega$$

$$\text{V} = \quad \mu\text{A} \quad \text{M}\Omega$$

$$\text{mV} = \quad \mu\text{A} \quad \text{k}\Omega$$

$$\mu\text{V} = \quad \mu\text{A} \quad \Omega$$

$$\text{kV} = \quad \text{mA} \quad \text{M}\Omega$$

$$U = \frac{I}{G}; \quad I = U \cdot G; \quad G = \frac{I}{U}$$

U tensione
 I intensità di corrente
 R resistenza
 G conduttanza

3.03 Conduttanza

$$G = \frac{1}{R} \qquad R = \frac{1}{G}$$

Per siemens in America: mho (1/ohm)

Ad una resistenza di 1 Ω corrisponde una conduttanza di 1 siemens

1 k Ω	1 mS
1 M Ω	1 μ S
1 m Ω	1 kS

G conduttanza
 R resistenza
 S siemens

3.04 Potenza

$$P = U \cdot I$$

$$I = \frac{P}{U}; \quad U = \frac{P}{I}$$

$$P \text{ in kW} = U \text{ in kV per } I \text{ in A}$$

$$\text{mW} = \text{mV} \quad \text{A}$$

$$\text{mW} = \text{V} \quad \text{mA}$$

$$\mu\text{W} = \text{mV} \quad \text{mA}$$

$$\mu\text{W} = \text{V} \quad \mu\text{A}$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

P potenza (ingl. power)

U tensione

I corrente

R resistenza

$$R = \frac{P}{I^2}; \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$R = \frac{U^2}{P}; \quad U = \sqrt{P \cdot R}$$

3.05 Lavoro, energia

$$W = P \cdot t$$

$$P = \frac{W}{t}; \quad t = \frac{W}{P}$$

$$W \text{ in Ws} = P \text{ in W per } t \text{ in s}$$

$$\text{Wh} = \text{W} \quad \text{h};$$

$$\text{kWh} = \text{kW} \quad \text{h}$$

1 Ws = 1 joule

h = ora

Ws = watt al secondo

Wh = watt all'ora

KWh = chilowattora

W lavoro (ingl. work)

P potenza

t tempo

3.06 Trasformazione delle unità di potenza

	W	kW	PS	kpm/s	kcal/h
1 W	= 1	10^{-3}	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,102	0,86
1 kW	= 1000	1	1,36	102	860
1 PS	= 736	0,736	1	75	632
1 kpm/s	= 9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-2}$	1	8,45
1 kcal/h	= 1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	0,118	1

3.07 Trasformazione delle unità di energia

	Ws, Joule	Wh	kWh	PSh
1 Ws, Joule	= 1	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$3,78 \cdot 10^{-7}$
1 Wh	= 3600	1	10^{-3}	$1,36 \cdot 10^{-3}$
1 kWh	= $3,6 \cdot 10^6$	1000	1	1,36
1 PSh	= $2,65 \cdot 10^6$	736	0,736	1
1 kpm	= 9,81	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$
1 kcal	= 4186	1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$

	kpm	kcal
1 Ws, Joule	= 0,102	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 Wh	= 367,2	0,86
1 kWh	= $3,67 \cdot 10^5$	860
1 PSh	= $2,7 \cdot 10^5$	632
1 kpm	= 1	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 kcal	= 427	1

3.08 Quantità di elettricità

$$Q = I \cdot t$$

$$I = \frac{Q}{t}; \quad t = \frac{Q}{I}$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$$

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As} = 3600 \text{ C}$$

Q	quantità di elettricità
I	corrente
t	tempo
C	coulomb, amperesecondo
As	amperesecondo
Ah	amperora

3.09 Effetto chimico della corrente

$$G = g \cdot I \cdot t$$

$$l = \frac{G}{g \cdot t}; \quad t = \frac{G}{g \cdot I}$$

nel rame è $g = 0,330$ mg/As

argento 1,118

nichel 0,304

cromo 0,180

G peso del metallo separato (precipitato) in mg

g equivalente elettrochimico in mg/As

t tempo in s

I corrente in A

3.10 Resistenza di fili elettrici

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \text{in } \Omega, \text{ m, mm}^2$$

$$A = \frac{\rho \cdot l}{R}; \quad l = \frac{R \cdot A}{\rho}; \quad \rho = \frac{R \cdot A}{l}$$

$$\rho = \frac{1}{\gamma}; \quad \gamma = \frac{1}{\rho}$$

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}; \quad A = \frac{l}{\gamma \cdot R}; \quad l = R \cdot A \cdot \gamma; \quad \gamma = \frac{l}{R \cdot A}$$

In fili con sezione trasversale circolare è:

$$R = \frac{4 \cdot \rho \cdot l}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot l}{\gamma \cdot d^2 \cdot \pi}$$

Per il rame per conduttori è $\rho = 0,0178$ e $\gamma = 56$ }
 alluminio 0,030 33 } a 20 °C
 filo di acciaio 0,17 5,9 }

R resistenza in Ω

l lunghezza del filo in m

A diametro del filo in mm^2

ρ resistenza elettrica specifica in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

γ conduttività elettrica in $\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$
 (in precedenza κ ; ora γ, σ o κ)

d diametro del filo in mm

3.11 Variazione di resistenza al riscaldamento

$$R_t = R \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\bar{u}})$$

$$R_t = R \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 20)]$$

$$R_t = \frac{\rho \cdot l}{A} [1 + \alpha \cdot (t - 20)]$$

$$t = 20 + \frac{R_t - R}{\alpha \cdot R}$$

$$t_{\bar{u}} = t - 20 = \frac{R_t - R}{\alpha \cdot R}$$

$$R = \frac{R_t}{1 + \alpha \cdot t_{\bar{u}}}$$

$$\alpha = \frac{R_t - R}{R \cdot t_{\bar{u}}}$$

R resistenza a 20 °C (valore di misurazione o in tabella)

R_t resistenza a t °C

α coefficiente di temperatura in 1/K

$t_{\bar{u}}$ sovratemperatura

t temperatura di esercizio °C

per il rame $\alpha = 3,92 \cdot 10^{-3}$

per il filo di alluminio $\alpha = 3,9 \dots 4 \cdot 10^{-3}$

per il filo di acciaio $\alpha = 4,5 \dots 5 \cdot 10^{-3}$

per la costantana $\alpha = 0,05 \cdot 10^{-4}$

3.12 Resistenze in collegamento in serie (divisore di tensione)

$$R_g = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$U_g = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Nel caso di n resistenze uguali:

$$R_g = n \cdot R_1; \quad U_n = n \cdot U_1$$

rapporto di tensione:

$$U_1 : U_2 : U_3 : \dots : U_n = R_1 : R_2 : R_3 : \dots : R_n$$

Nel caso di due resistenze:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; \quad \frac{U_g}{U_1} = \frac{R_g}{R_1}; \quad \frac{U_g}{U_2} = \frac{R_g}{R_2}$$

$$U_1 = \frac{R_1 \cdot U_2}{R_2}$$

$$U_2 = \frac{R_2 \cdot U_1}{R_1}$$

$$U_g = \frac{R_g \cdot U_1}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{U_1 \cdot R_2}{U_2}$$

$$R_2 = \frac{U_2 \cdot R_1}{U_1}$$

$$R_g = \frac{U_g \cdot R_1}{U_1}$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_g}{R_g}$$

R_g
 R_1, R_2, R_3, R_n
 U_g
 U_1, U_2, U_3, U_n
 I

resistenza complessiva
 resistenze parziali
 tensione complessiva
 tensioni parziali
 corrente

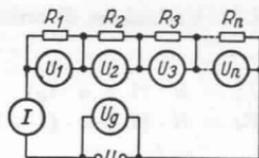


Fig. 27.

3.13 Resistenze in collegamento in parallelo (distribuzione di corrente)

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$G_g = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

$$I_g = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Nel caso di n resistenze uguali:

$$R_g = \frac{R_1}{n}; \quad I_1 = \frac{I_g}{n}$$

Rapporto di tensione:

$$I_1 : I_2 : I_3 : \dots : I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots : \frac{1}{R_n} = G_1 : G_2 : G_3 : \dots : G_n$$

Nel caso di 3 resistenze parallele:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

Nel caso di 2 resistenze parallele:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad R_1 = \frac{R_2 \cdot R_g}{R_2 - R_g}; \quad R_2 = \frac{R_1 \cdot R_g}{R_1 - R_g}$$

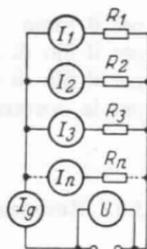


Fig. 28.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1}; \quad \frac{R_g}{R_1} = \frac{I_1}{I_g}; \quad \frac{R_g}{R_2} = \frac{I_2}{I_g}$$

$$I_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{R_1} \quad I_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{R_2} \quad I_g = \frac{I_1 \cdot R_1}{R_g}$$

$$R_1 = \frac{I_2 \cdot R_2}{I_1} \quad R_2 = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_2} \quad R_g = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_g}$$

$$U = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = I_g \cdot R_g$$

R_g resistenza complessiva
 R_1, R_2, R_3, R_n resistenze parziali
 I_g corrente complessiva
 I_1, I_2, I_3, I_n correnti parziali
 G_1, G_2, G_3, G_n, G_g conduttanze
 U tensione

3.14 Divisore di tensione caricato

$$U_g = U_1 + U_2; \quad U_1 = U_g - U_2; \quad U_2 = U_g - U_1$$

$$I_g = I_1 + I_b; \quad I_1 = I_g - I_b; \quad I_b = I_g - I_1$$

$$R_{1b} = \frac{R_1 \cdot R_b}{R_1 + R_b}$$

$$R_g = R_{1b} + R_2; \quad R_{1b} = R_g - R_2; \quad R_2 = R_g - R_{1b}$$

$$\frac{U_g}{U_1} = \frac{R_g}{R_{1b}}; \quad \frac{U_g}{U_2} = \frac{R_g}{R_2}; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_{1b}}{R_2}$$

$$U_g = \frac{U_1 \cdot R_g}{R_{1b}} = \frac{U_2 \cdot R_g}{R_2} = I_g \cdot R_g$$

$$U_1 = \frac{U_g \cdot R_{1b}}{R_g} = \frac{U_2 \cdot R_{1b}}{R_2} = I_g \cdot R_{1b} = I_1 \cdot R_1 = I_b \cdot R_b$$

$$U_2 = \frac{U_g \cdot R_2}{R_g} = \frac{U_1 \cdot R_2}{R_{1b}} = I_g \cdot R_2$$

$$I_g = \frac{U_g}{R_g} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_1}{R_{1b}}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}; \quad I_b = \frac{U_2}{R_b}$$

U_g tensione complessiva
 I_g corrente complessiva
 R_1, R_2 resistenza del divisore di tensione
 R_b resistenza di carico
 R_{1b} resistenza della combinazione

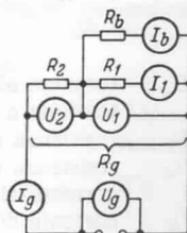


Fig. 29.

R_g	resistenza complessiva
U_1	tensione in R_1 e R_b
U_2	tensione in R_2
I_1	corrente attraverso R_1
I_b	corrente attraverso R_b

3.15 Tensione alla sorgente e tensione ai morsetti

La tensione alla sorgente U_q , detta anche forza elettromotrice primaria, è la tensione a vuoto della sorgente di tensione. Al passaggio della corrente la tensione ai morsetti è minore della perdita interna di corrente u rispetto alla tensione alla sorgente.

$$U = U_q - u$$

$$U_q = U + u; u = U_q - U$$

$$R_g = R_i + R_a; R_i = R_g - R_a; R_a = R_g - R_i$$

$$U = I \cdot R_a; u = I \cdot R_i; U_q = I \cdot R_g$$

$$I = \frac{U_q}{R_g} = \frac{U}{R_a} = \frac{u}{R_i}$$

$$R_g = \frac{U_q}{I}; R_a = \frac{U}{I}; R_i = \frac{u}{I}$$

$$I_k = \frac{U_q}{R_i}$$

$$U = \frac{U_q \cdot R_a}{R_g} = \frac{u \cdot R_a}{R_i}$$

$$u = \frac{U \cdot R_i}{R_a} = \frac{U_q \cdot R_i}{R_g}$$

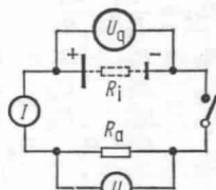


Fig. 30.

U_q tensione alla sorgente, forza elettromotrice primaria, tensione a vuoto per $I = 0$

R_i resistenza interna della sorgente di tensione

R_a resistenza esterna; R_g resistenza complessiva

I corrente al collegamento di R_a

I_k corrente di corto circuito per $R_a = 0$

u perdita di tensione presso la resistenza interna

3.16 Accumulatori

ACCUMULATORE A PIOMBO:

Nel caso di collegamento in serie:

$$U_L = 2,75 \cdot n \quad \text{in V}$$

$$n = \frac{U}{1,8}$$

Formula empirica per la resistenza interna

$$R_i \approx \frac{0,15}{K} \quad \text{in } \Omega$$

ACCUMULATORE AD ACCIAIO:

Nel caso di collegamento in serie:

$$U_L = 1,85 \cdot n \quad \text{in V}$$

$$n = \frac{U}{1,2}$$

U tensione di esercizio (tensione nominale) in V

U_L tensione di carica in V

n numero delle celle

K capacità di ogni cella in Ah

R_i resistenza interna in Ω

ρ densità dell'acido

3.17 Circuito magnetico

Non si usano più le unità maxwell, gauss e oersted (vedi anche paragrafi 3.01).

Per tutte le formule vengono usate le seguenti unità:

Grandezza	Unità	Abbreviazione
Φ flusso magnetico 1 Wb = 1 voltsecondo = 1 Vs	weber	Wb
\mathfrak{B} densità di flusso magn. (induzione magnetica) $1 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2} = 10^4 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ T}$	weber per centimetro quadro	$\frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2}$

Grandezza		Unità	Abbre- viazione
A	sezione di campo magnetico	centimetro quadrato	cm^2
μ_r	coefficiente di permeabilità (vuoto = 1)	—	—
μ_0	costante di campo magnetico	henry per centimetro	$\frac{\text{H}}{\text{cm}}$
	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} =$		
	$1,256 \cdot 10^{-8} \frac{\text{H}}{\text{cm}}$		
\mathcal{H}	intensità di campo magnetico	ampere per centimetro	$\frac{\text{A}}{\text{cm}}$
I	intensità di corrente elettrica	ampere	A
N	numero di spire	—	—
l	lunghezza del campo magnetico	centimetro	cm
R_m	resistenza magnetica	1 fratto henry	$\frac{1}{\text{H}}$
λ	conduttanza magnetica (lambda)	henry	H
Θ	corrente (teta)	ampere	A
L	induttanza	henry	H

Tavole di trasformazione per le unità usate in precedenza:

Maxwell M

$$1 \text{ M} = 10^{-8} \text{ Wb} = 10^{-8} \text{ Vs} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-4} \text{ G m}^2$$

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs} = 10^8 \text{ M} = 10^8 \text{ G cm}^2 = 10^4 \text{ G m}^2$$

Gauß G

$$1 \text{ G} = 10^{-8} \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2} = 10^{-8} \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} = 10^{-4} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \text{ T}$$

$$1 \frac{\text{Wb}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2} = 10^8 \text{ G}; \quad 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = 1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$$

Oersted Oe

$$1 \text{ Oe} = \frac{10}{4\pi} \frac{\text{A}}{\text{cm}} = \frac{10^3}{4\pi} \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$1 \frac{\text{A}}{\text{cm}} = \frac{4\pi}{10} \text{ Oe} = 1,256 \text{ Oe}; \quad 1 \frac{\text{A}}{\text{m}} = \frac{4\pi}{10^3} \text{ Oe} = 1,256 \cdot 10^{-2} \text{ Oe}$$

FLUSSO MAGNETICO:

$$\Phi = \mathfrak{B} \cdot A$$

DENSITÀ DI FLUSSO MAGNETICO (induzione magn.):

$$\mathfrak{B} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \mathfrak{H}$$

RESISTENZA MAGNETICA:

$$\mathfrak{R} = \frac{I \cdot N}{I}$$

INTENSITÀ DI CAMPO MAGNETICO:

$$R_m = \frac{l}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}$$

CONDUTTANZA MAGNETICA:

$$A = \frac{1}{R_m} = \frac{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}{l}$$

CORRENTE:

$$\Theta = I \cdot N = \mathfrak{H} \cdot l = \Phi \cdot R_m = \frac{\Phi}{A}$$

INDUTTANZA

$$L = N^2 \cdot A = N^2 \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}{l}$$

4 Corrente alternata

4.01 Valori efficaci e di punta

in tensione alternata sinusoidale

$$U_{max} = U_{eff} \cdot \sqrt{2} = U_{eff} \cdot 1,414$$

$$U_{max} = \frac{U_{eff}}{0,707}$$

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{max}}{1,414} =$$
$$= U_{max} \cdot 0,707$$

$$U_{ss} = 2 \cdot U_{max} = 2,828 \cdot U_{eff}$$

U_{max} tensione di cresta, di punta

U_{eff} tensione efficace

U_{ss} tensione da picco a picco

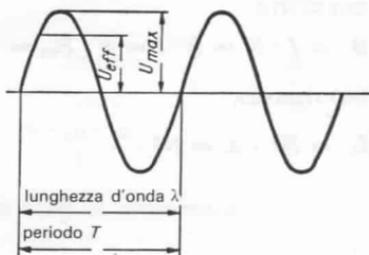


Fig. 31.

4.02 Frequenza e lunghezza d'onda

$c = 300\,000$ km/s (valore esatto: $299\,792,5$ km/s) (velocità della luce)

$$f \cdot \lambda = c; \quad \lambda = \frac{c}{f}; \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{300\,000}{f}; \quad f = \frac{300\,000}{\lambda} \quad \begin{array}{l} \text{in km ed Hz} \\ \text{o m ed kHz} \\ \text{o mm ed MHz} \end{array}$$

$$\lambda = \frac{300}{f}; \quad f = \frac{300}{\lambda} \quad \text{in m e MHz}$$

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T} \quad T \cdot f = 1 \quad \text{in s e Hz}$$

f in kHz dà T in ms,
 f in MHz dà T in μ s.

$$T = \frac{\lambda}{300\,000} \quad \begin{array}{l} \text{con } T \text{ in s e } \lambda \text{ in km} \\ \text{o } T \text{ in ms e } \lambda \text{ in m} \end{array}$$

$$\lambda = 300\,000 \cdot T \quad \text{o } T \text{ in } \mu\text{s e } \lambda \text{ in mm}$$

$$T = \frac{\lambda}{300} \quad \text{con } T \text{ in } \mu\text{s e } \lambda \text{ in m}$$

f frequenza T periodo
 λ lunghezza d'onda c velocità della luce

4.03 Resistenza induttiva

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

$$X_L \text{ in } \Omega = 2\pi \text{ per } f \text{ in Hz per } L \text{ in H}$$

$$X_L \text{ in } \Omega = 2\pi \text{ per } f \text{ in kHz per } L \text{ in mH}$$

$$X_L \text{ in } \Omega = 2\pi \text{ per } f \text{ in MHz per } L \text{ in } \mu\text{H}$$

$$X_L \text{ in k}\Omega = 2\pi \text{ per } f \text{ in kHz per } L \text{ in H}$$

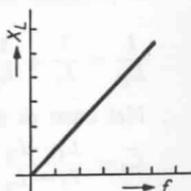


Fig. 32.

$$\omega = \frac{X_L}{L}; \quad f = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega \cdot L}; \quad X_L = \frac{U}{I_L}; \quad \omega \cdot L = \frac{U}{I_L}; \quad \varphi = 90^\circ$$

$$U = I_L \cdot \omega \cdot L; \quad L = \frac{U}{\omega \cdot I_L}$$

X_L	reattanza efficace induttiva
L	induttanza
f	frequenza
ω	(omega) pulsazione = $2 \pi f$
I_L	corrente reattiva induttiva
φ	angolo di sfasamento

4.04 Induttanze proprie collegate in serie

Senza accoppiamento reciproco (contraccoppiamento) (corrispondente al collegamento in serie di resistenze)

$$L_g = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

L_g induttanza propria complessiva
 L_1, L_2, L_3, L_n singole induttanze proprie

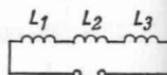


Fig. 33.

4.05 Induttanze proprie collegate in parallelo

senza accoppiamento reciproco
 (corrispondentemente al collegamento in parallelo di resistenze)

$$\frac{1}{L_g} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Nel caso di due induttanze in parallelo

$$L_g = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}; \quad L_1 = \frac{L_2 \cdot L_g}{L_2 - L_g}; \quad L_2 = \frac{L_1 \cdot L_g}{L_1 - L_g}$$

Nel caso di tre induttanze in parallelo

$$L_g = \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}{L_1 \cdot L_2 + L_2 \cdot L_3 + L_1 \cdot L_3}$$

Nel caso di n induttanze uguali in parallelo

$$L_g = \frac{L_1}{n}$$

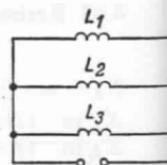


Fig. 34.

4.06 Induttanza mutua (coefficiente di mutua induzione)

$$M = \frac{\Phi_m}{I_1} \cdot N_2 \quad \text{in H}$$

Nel caso di I_1 sinusoidale la tensione indotta nella bobina 2 è:

$$E_2 = \omega \cdot M \cdot I_1$$

L'induttanza di due bobine collegate in serie, accoppiate tra di loro è:

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M$$

L'induttanza di due bobine collegate in parallelo, accoppiate tra di loro è

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M}$$

Dei due segni \pm e \mp vale il superiore quando il senso di avvolgimento delle due bobine è uguale, l'inferiore quando è opposto.

M	induttanza mutua
L_1	induttanza della bobina 1
L_2	induttanza della bobina 2
N_1	numero di avvolgimenti della bobina 1
N_2	numero di avvolgimenti della bobina 2
Φ_m	parte del flusso magnetico della bobina 1 che taglia gli avvolgimenti della bobina 2
I_1	corrente nella bobina 1
E_2	tensione indotta nella bobina 2

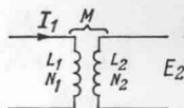


Fig. 35.

4.07 Induttanza nelle bobine di reattanza

Forma usuale per bassa frequenza.

Nel caso si usi un lamierino magnetico IV ed il traferro sia maggiore di 0,5 mm, per calcoli approssimati vale:

$$L = 1,3 \left(\frac{N}{1000} \right)^2 \cdot \frac{A_e}{10 \cdot s}$$

L	induttanza in H
A_e	sezione del ferro
N	numero degli avvolgimenti
s	traferro in mm

4.08 Avvolgimenti di bobine

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}; \quad \frac{N_1}{\sqrt{L_1}} = \frac{N_2}{\sqrt{L_2}} = k$$

$$N_1 = N_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}; \quad N_2 = N_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

$$L_1 = L_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = L_2 \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2; \quad L_2 = L_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = L_1 \cdot \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$$

nel circuito oscillante a capacità costante!

L_1	induttanza originale
L_2	induttanza desiderata
N_1	numero di spire originale
N_2	nuovo numero di spire
k	costante della bobina
f_1	frequenza originale
f_2	frequenza desiderata

4.09 Qualità della bobina

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

$$R = \frac{\omega \cdot L}{Q}; \quad X_L = Q \cdot R$$

Q qualità della bobina

R resistenza di perdita (soprattutto resistenza del filo)

X_L reattanza efficace induttiva

4.10 Trasformatori (senza perdite)

Premessa: $P_1 = P_2 = P$

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$N_1 = \ddot{u} \cdot N_2 = N_2 \cdot \frac{U_1}{U_2} = N_2 \cdot \frac{I_2}{I_1} = N_2 \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{\ddot{u}} = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} = N_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} = N_1 \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}$$

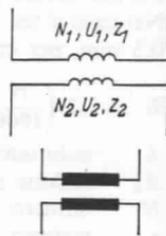


Fig. 36.

$$U_1 = U_2 \cdot \dot{u} = \frac{P}{I_1} = \sqrt{P \cdot Z_1}$$

$$U_2 = \frac{U_1}{\dot{u}} = \frac{P}{I_2} = \sqrt{P \cdot Z_2}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{\dot{u}} = I_2 \frac{N_2}{N_1} = \frac{P}{U_1} = \sqrt{\frac{P}{Z_1}}$$

$$I_2 = I_1 \cdot \dot{u} = I_1 \frac{N_1}{N_2} = \frac{P}{U_2} = \sqrt{\frac{P}{Z_2}}$$

$$Z_1 = Z_2 \cdot \dot{u}^2 = \frac{U_1^2}{P}$$

$$Z_2 = \frac{Z_1}{\dot{u}^2} = \frac{U_2^2}{P}$$

$$P = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

\dot{u}	rapporto di trasformazione
N_1	numero primario delle spire
N_2	numero secondario delle spire
U_1	tensione primaria
U_2	tensione secondaria
Z_1	resistenza primaria (resistenza induttiva)
Z_2	resistenza secondaria (resistenza induttiva)
P_1	potenza primaria
P_2	potenza secondaria

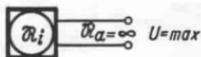
4.11 Adattamento

Adattamento di tensione:

R_a maggiore di R_i , valore di soglia: $R_a = \infty$

(morsetti aperti, funzionamento

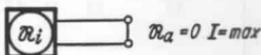
a vuoto: $U = \max$)



Adattamento di corrente:

R_a minore di R_i , valore di soglia: $R_a = 0$

(cortocircuito $I = \max$)



Adattamento di potenza:

$R_a = R_i$ dà un'erogazione di potenza massima: $P = \max$.



Fig. 37.

$$P = \frac{U^2 \cdot R_a}{(R_i + R_a)^2}$$

$$P_{max} = \frac{U^2}{4 \cdot R_i}$$

R_i resistenza interna del generatore
 R_a resistenza esterna
 P potenza erogata
 U tensione ai morsetti

4.12 Resistenza capacitiva

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C}$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}; \quad \omega = \frac{1}{X_C \cdot C}$$

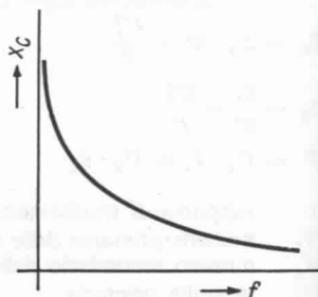


Fig. 38.

per C in μF , X_C in Ω e f in Hz vale:

$$X_C = \frac{10^6}{\omega \cdot C}; \quad C = \frac{10^6}{\omega \cdot X_C}; \quad f = \frac{10^6}{2\pi \cdot C \cdot X_C}$$

per C in nF, X_C in Ω e f in Hz vale:

$$X_C = \frac{10^9}{\omega \cdot C}; \quad C = \frac{10^9}{\omega \cdot X_C}; \quad f = \frac{10^9}{2\pi \cdot C \cdot X_C}$$

per C in pF, X_C in Ω e f in Hz vale:

$$X_C = \frac{10^{12}}{\omega \cdot C}; \quad C = \frac{10^{12}}{\omega \cdot X_C}; \quad f = \frac{10^{12}}{2\pi \cdot C \cdot X_C}$$

FORMULE DI LAVORO:

$X_C = \frac{159000}{f \cdot C}$ per	X_C	f	C
	in	in	in
	Ω	Hz	μF
	Ω	kHz	nF
	$k\Omega$	kHz	pF

$$X_C = \frac{159}{f \cdot C} \quad \text{per} \quad \left| \begin{array}{lll} \Omega & \text{kHz} & \mu\text{F} \\ \text{k}\Omega & \text{kHz} & \text{nF} \\ \text{k}\Omega & \text{MHz} & \text{pF} \end{array} \right.$$

Corrente reattiva capacitiva: ($\varphi = 90^\circ$):

$$I_C = \frac{U}{X_C} = U \cdot \omega \cdot C; \quad X_C = \frac{U}{I_C}; \quad \omega \cdot C = \frac{I_C}{U}$$

$$U = I_C \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} \quad C = \frac{I_C}{\omega \cdot U}$$

X_C reattanza efficace capacitiva (capacitanza)

C capacità

f frequenza

ω frequenza del circuito

I_C corrente reattiva capacitiva

φ angolo di sfasamento

U tensione al condensatore

4.13 Condensatori collegati in parallelo

(Corrispondentemente alle resistenze in serie)

$$C_g = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

C_g capacità totale

C_1, C_2, C_3, C_n singole capacità

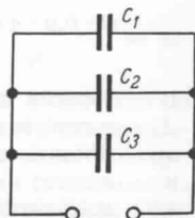


Fig. 39.

4.14 Condensatori collegati in serie

(corrispondentemente a resistenze collegate in parallelo)

$$\frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Nel caso di due condensatori in serie:

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}; \quad C_1 = \frac{C_2 \cdot C_g}{C_2 - C_g};$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_g}{C_1 - C_g}$$

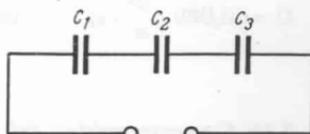


Fig. 40.

Nel caso di tre condensatori in serie:

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot C_3}$$

Nel caso di n condensatori uguali in serie: $C_g = \frac{C_1}{n}$

4.15 Capacità di componenti

CAPACITÀ E GRANDEZZA DELLE PIASTRE
(senza considerare il campo di dispersione)

Nel caso di un paio di piastre:

$$C = \frac{A \cdot \epsilon_r}{0,9 \cdot 4 \cdot \pi \cdot a} \quad \text{in pF}$$

$$C = 0,0885 \cdot \frac{A \cdot \epsilon_r}{a} \quad \text{in pF}$$

$$A = \frac{C \cdot 0,9 \cdot 4 \pi \cdot a}{\epsilon_r} = 11,3 \cdot \frac{C \cdot a}{\epsilon_r} \quad \text{in cm}^2$$

C capacità in pF

A superficie efficace di una piastra in cm^2

a distanza tra le piastre in cm

n numero di piastre

ϵ_r coefficiente di dielettricità

Nel caso di n piastre

$$C = 0,0885 \cdot \frac{A \cdot \epsilon_r}{a} (n - 1) \quad \text{in pF}$$

Nel caso di UN PAIO DI PIASTRE CIRCOLARI (con il diametro d in cm).

$$C = 0,069 \cdot \frac{d^2}{a} \cdot \epsilon_r \quad \text{in pF}$$

4.16 Corrente residua dei condensatori elettrolitici

$$I_R = 0,5 \cdot C \cdot U$$

I_R corrente residua massima ammessa in μA

- C capacità nominale in μF
 U tensione nominale (di funzionamento) in V

4.17 Reattanza efficace, corrente reattiva e potenza reattiva

Le reattanze efficaci capacitive ed induttive non sono resistenze reali come le resistenze ohmiche, nel senso che, nel primo caso, nessuna energia elettrica viene trasformata permanentemente in un'altra forma di energia. Poiché però viene limitato il flusso della corrente, il loro comportamento è paragonabile a quello di una resistenza. Correttamente una reattanza viene scritta col simbolo "j" (per $i = \text{immaginario}$, "esistente solo nell'immaginazione").

$$\begin{aligned} j &= \sqrt{-1} && \text{positivo immaginario} \\ j^2 &= -1 && \text{negativo reale} \\ j^3 &= -j = \frac{1}{j} && \text{negativo immaginario} \\ j^4 &= +1 && \text{positivo reale} \end{aligned}$$

$$\dot{X}_L = j \omega \cdot L \quad \dot{X}_C = \frac{1}{j \omega \cdot C} = -j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Nella forma di rappresentazione grafica normalizzata, si riportano sull'asse orizzontale i valori reali e sull'asse verticale i valori immaginari. +j sta a significare la direzione verso l'alto e -j quella verso il basso. Di ogni resistenza si può quindi stabilire la grandezza e la direzione. Le grandezze orientate di questo tipo si chiamano vettori (vedi anche 1.04).

Se si suppone come noto il fatto che le resistenze ohmiche sono reali e che le reattanze induttive sono positive immaginarie mentre le capacità sono negative immaginarie, allora si possono considerare fissate le direzioni. Il valore $X_L = \omega \cdot L$ e/o $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ determina poi il valore della reattanza efficace induttiva o capacitiva.

COLLEGAMENTO IN SERIE:

$$X = X_L - X_C \text{ oppure } X_C - X_L$$

(sottrarre il valore minore da quello maggiore)

$$X_L = X_C \pm X = \frac{1}{\omega \cdot C} \pm X$$

$$X_C = X_L \pm X = \omega \cdot L \pm X$$

$$I_B = \frac{U}{X}; \quad I_B = \frac{U_C}{X_C}; \quad I_B = \frac{U_L}{X_L}$$

$$U = I_B \cdot X; \quad U_C = I_B \cdot X_C; \quad U_L = I_B \cdot X_L$$

$$Q = U \cdot I_B$$

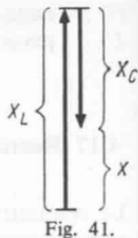


Fig. 41.

Le reattanze efficaci si sommano geometricamente (secondo grandezza e direzione).

Nel caso di valori efficaci puri:

per $\varphi = 90^\circ$ è $\cos \varphi = 0$

COLLEGAMENTO IN PARALLELO

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \quad \text{oppure} \quad \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}$$

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C \quad \text{oppure} \quad \omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}$$

$$I_B = U \cdot \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L} \right)$$

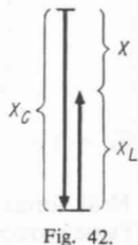


Fig. 42.

I valori della potenza reattiva si sommano geometricamente (secondo grandezza e direzione).

X	reattanza
X_C	reattanza capacitiva (capacitanza)
X_L	reattanza induttiva (induttanza)
I_B	corrente reattiva
Q	potenza reattiva
U_C	tensione al condensatore
U_L	tensione alla bobina
U	tensione applicata
φ	angolo di sfasamento (fi)
$\cos \varphi$	fattore di potenza (cosfi)

4.18 Collegamento in serie di R, L e C

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}} \quad \text{(Legge di Ohm per corrente alternata)}$$

$$U = I \cdot Z; \quad U_R = I \cdot R; \quad U_C = I \cdot X_C; \quad U_L = I \cdot X_L$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$Z = \frac{U}{I}; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{S}; \quad \tan \varphi = \frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R}$$

$$Z = \frac{R}{\cos \varphi}; \quad R = Z \cdot \cos \varphi; \quad \tan \delta = \frac{R}{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = U \cdot I;$$

$$P = S \cdot \cos \varphi = \dot{U} \cdot I \cdot \cos \varphi = U_R \cdot I$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$I = \frac{U \cdot \cos \varphi}{R}; \quad U = \frac{I \cdot R}{\cos \varphi};$$

$$R = \frac{U \cdot \cos \varphi}{I}$$

Z	impedenza
R	resistenza ohmica
X	reattanza efficace
X _C	reattanza capacitiva
X _L	reattanza induttiva
U	tensione applicata
U _C	tensione in C
U _L	tensione in L
U _R	tensione in R
I	corrente
P	potenza
Q	potenza reattiva
S	potenza apparente
cos φ	fattore di potenza
φ	angolo di sfasamento
δ	angolo di perdita
tan δ	fattore di perdita

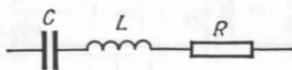


Fig. 43.

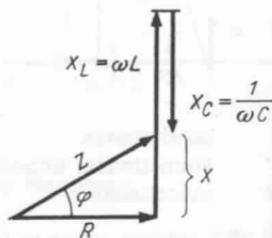


Fig. 44.

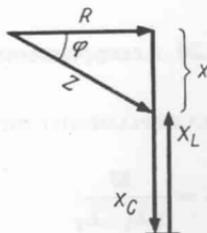


Fig. 45.

4.19 Collegamento in parallelo di R, L e C

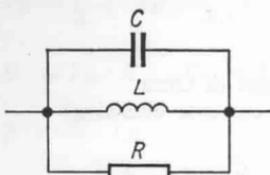


Fig. 46.

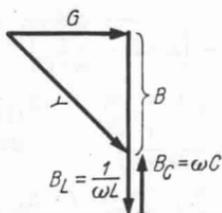


Fig. 47.

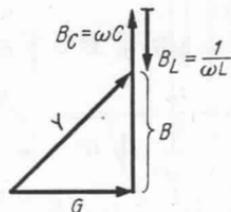


Fig. 48

$$I = \frac{U}{Z} = U \cdot Y; \quad Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$Y^2 = G^2 + B^2; \quad \frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}$$

$$Z = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2} \quad \text{oppure} \quad Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

$$I = U \cdot \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2} = U \cdot \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

$$Z = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}} \quad \tan \delta = \frac{1}{R \left[\omega C - \frac{1}{\omega L} \right]}$$

G conduttanza

Y ammettenza, impedenza reciproca

B suscettanza

$$\tan \varphi = R \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)$$

gli altri simboli come in (4.18)

4.20 Accoppiamento

ACCOPPIAMENTO INDUTTIVO

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

K fattore di accoppiamento

M induttanza mutua in H

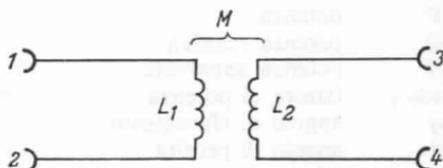


Fig. 49.

ACCOPIAMENTO INDUTTIVO DIRETTO:

$$K = \frac{L_m}{\sqrt{(L_1 + L_m) \cdot (L_2 + L_m)}}$$

indice 1 primario
 indice 2 secondario
 indice *m* accoppiamento

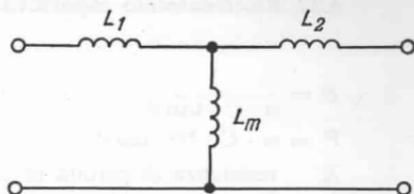


Fig. 50.

ACCOPIAMENTO OHMICO

$$K = \frac{R_m}{\sqrt{(R_2 + R_m) (R_1 + R_m)}}$$

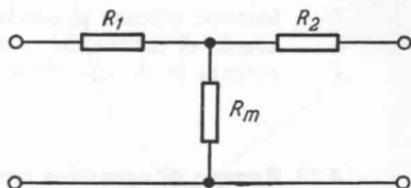


Fig. 51.

ACCOPIAMENTO CAPACITIVO

$$K = \frac{\sqrt{C_1 \cdot C_2}}{\sqrt{(C_1 + C_m) (C_2 + C_m)}}$$

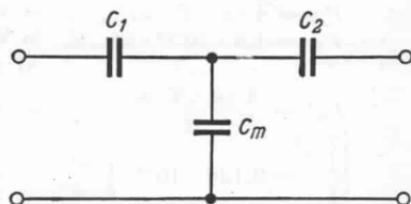


Fig. 52.

4.21 Riscaldamento induttivo mediante alta frequenza

Profondità di penetrazione (corrente caduta al 37%)

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^7}{f \cdot \mu_r \cdot \gamma}} = \frac{503}{\sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \gamma}}$$

δ profondità di penetrazione in mm
 γ conduttività
 f frequenza in Hz
 μ_r coefficiente di permeabilità

4.22 Riscaldamento capacitivo mediante alta frequenza

$$R = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot \tan \delta}$$

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \tan \delta$$

R resistenza di perdita in Ω

f frequenza in Hz

C capacità del dispositivo in F

U tensione efficace al condensatore in V

δ angolo di perdita del materiale da riscaldare

P potenza in W, che viene trasformata in calore

4.23 Rumore di agitazione termica

$$P_R = 4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \quad \text{in W, K e Hz}$$

$$P_R = 1,6 \cdot 10^{-14} \cdot \Delta f \quad \text{in W alla temperatura ambiente,}$$

Δf in MHz

$$I_R^2 = \frac{4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f}{R}$$

in A, K, Hz e Ω

$$I = 0,126 \cdot 10^{-8} \sqrt{\frac{\Delta f}{R}} \quad \text{in } \mu\text{A alla temperatura ambiente,}$$

Δf in kHz, R in k Ω

$$U_R^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f \quad \text{in V, K, } \Omega \text{ e Hz}$$

$$U_R = 0,126 \sqrt{R \cdot \Delta f} \quad \text{in } \mu\text{V alla temperatura ambiente,}$$

Δf in kHz, R in k Ω

$$kT_o = 4 \cdot 10^{-21} \text{ in } \frac{\text{W}}{\text{Hz}}$$

è la potenza di disturbo di una resistenza a $T = 290$ Kelvin (circa la temperatura ambiente) divisa per la larghezza di banda

$$4kT_o = 1,6 \cdot 10^{-20}$$

P_R potenza di disturbo

I_R corrente di disturbo

U_R tensione di disturbo

R resistenza

k costante di Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ in Ws/K

T temperatura assoluta in Kelvin, K

Δf larghezza di banda

5 Circuito oscillante

5.01 Calcolo della risonanza

Condizione per la risonanza

$$X_L = X_C$$

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}; \quad \omega^2 \cdot L \cdot C = 1$$

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C}; \quad C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

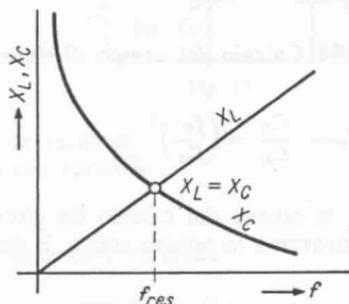


Fig. 53.

Formula di Thomson del circuito oscillante

- X_L reattanza induttiva in Ω
- X_C reattanza capacitiva in Ω
- f frequenza di risonanza in Hz
- L induttanza propria in H
- C capacità in F

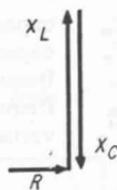


Fig. 54.

5.02 Calcolo del circuito oscillante con kHz, mH e pF

$$f = \frac{5033}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$f^2 = \frac{2,533 \cdot 10^7}{L \cdot C}; \quad L = \frac{2,533 \cdot 10^7}{f^2 \cdot C}; \quad C = \frac{2,533 \cdot 10^7}{f^2 \cdot L}$$

5.03 Calcolo del circuito oscillante con MHz, μH e pF

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$f^2 = \frac{25\,330}{L \cdot C}; \quad L = \frac{25\,330}{f^2 \cdot C}; \quad C = \frac{25\,330}{f^2 \cdot L}$$

5.04 Calcolo del campo di sintonizzazione

$$V_c = \frac{C_e}{C_a} = \left(\frac{f_o}{f_u}\right)^2$$

f_u si ottiene dal calcolo del circuito oscillante attraverso la bobina scelta. È quindi:

$$f_o = f_u \cdot \sqrt{V_c} = f_u \cdot \sqrt{\frac{C_e}{C_a}}$$

- C_a capacità iniziale del condensatore variabile
- C_e capacità finale del condensatore variabile
- f_o frequenza limite superiore, ottenuta con G_a
- f_u frequenza limite inferiore ottenuta con C_e
- V_c variazione di capacità

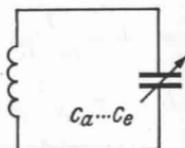


Fig. 55.

5.05 Frequenza dell'oscillatore e frequenza immagine

$$f_o = f_e + f_z = f_s - f_z$$

$$f_e = f_o - f_z = f_s - 2 \cdot f_z$$

$$f_z = f_o - f_e = f_s - f_o = \frac{f_s - f_e}{2}$$

$$f_s = f_e + 2 \cdot f_z = f_o + f_z \text{ (per } f_o > f_e)$$

- f_e frequenza di ricezione sintonizzata
- f_o frequenza dell'oscillatore ad f_e
- f_z frequenza intermedia
- f_s frequenza immagine

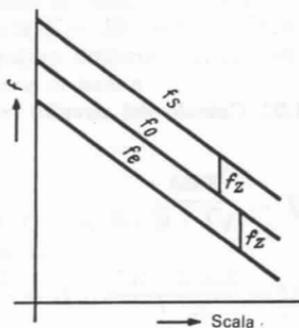


Fig. 56.

5.06 Allargamento della banda mediante condensatore in derivazione

$$\Delta C = C_e - C_a$$

$$V_c = \frac{C_e}{C_a}$$

$$V_c' = 1 + \frac{\Delta C}{C_p + C_a} = \left(\frac{f_o}{f_u}\right)^2$$

$$C_p = \frac{\Delta C}{V_c' - 1} - C_a$$

$$C_p = \frac{f_u^2 \cdot \Delta C}{f_o^2 - f_u^2} - C_a$$

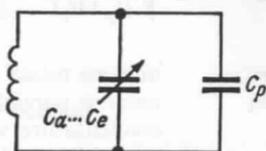


Fig. 57.

- C_e capacità finale del condensatore variabile
- C_a capacità iniziale del condensatore variabile
- C_p capacità in parallelo
- ΔC variazione di capacità
- V_c variazione di capacità del condensatore variabile
- V_c' variazione di capacità del circuito
- f_o frequenza limite superiore (ottenuta con $C_a + C_p$)
- f_u frequenza limite inferiore (ottenuta con $C_e + C_p$)

5.07 Allargamento della banda mediante condensatore in serie

$$V_c' = \frac{C_e}{C_a} \left(\frac{C_s + C_a}{C_s + C_e} \right) = V_c \left(\frac{C_s + C_a}{C_s + C_e} \right)$$

$$C_s = C_e \left(\frac{V_c' - 1}{V_c - V_c'} \right)$$

C_s capacità in serie

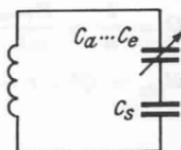


Fig. 58.

5.08 Allargamento della banda mediante derivazione di bobine

$$\ddot{u} = \frac{n}{n_1}$$

$$V_c' = 1 + \frac{\Delta C}{C_a + \ddot{u}^2 \cdot C_p}$$

$$C'_{max} = C_p + \frac{C_e}{\ddot{u}^2}$$

$$C_p = \frac{1}{\ddot{u}^2} \left(\frac{\Delta C}{V_{c'} - 1} - C_a \right)$$

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{1}{C_p} \left(\frac{\Delta C}{V_{c'} - 1} - C_a \right)}$$

- n numero totale di avvolgimenti
 n_1 numero parziale di avvolgimenti parallelamente al condensatore variabile
 C'_{max} capacità massima del circuito
 \ddot{u} rapporto di trasformazione

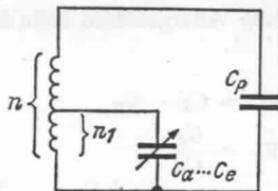


Fig. 59.

5.09 Qualità del circuito oscillante

Circuito in serie

$$Q = \frac{1}{d} \approx \frac{\omega L}{R_{res}} \approx \frac{1}{\omega C \cdot R_{res}} \approx \frac{1}{R_{res}} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_{res} = r$$

Circuito in parallelo

$$Q = \frac{1}{d} \approx \frac{R_{res}}{\omega L} \approx \omega C \cdot R_{res} \approx R_{res} \sqrt{\frac{C}{L}} = \sqrt{\frac{R_{res}}{r}}$$

$$R_{res} = Q^2 \cdot r = \frac{L}{C \cdot r}$$

Q rivela quale frazione di X_L o X_C è la resistenza di risonanza nel circuito in serie.

Q rivela quante volte maggiore di X_L o X_C è la resistenza di risonanza nel circuito in parallelo.

Utilizzando condensatori in ceramica e condensatori ad aria di buona qualità è determinante per lo smorzamento del circuito solo lo smorzamento della bobina.

Con il termine larghezza di banda si definisce la differenza tra le due fre-

quenze laterali, in cui la tensione si è ridotta alla $1/\sqrt{2}$ esima parte della tensione di risonanza, quindi allo $0,707 \approx 70\%$.

$$b = \frac{f_{res}}{Q} = d \cdot f_{res} = \frac{r}{2\pi \cdot L} = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot R_{res}}$$

$$Q = \frac{f_{res}}{b}$$

- Q qualità del circuito (\approx qualità della bobina)
 d smorzamento del circuito
 X_C reattanza della capacità del circuito oscillante
 X_L reattanza dell'autoinduttanza del circuito oscillante
 r resistenza di perdita
 R_{res} resistenza di risonanza
 b larghezza di banda

5.10 Resistenza di risonanza del circuito in serie

$$R_{res} = r = \frac{X_L}{Q} = \frac{X_C}{Q} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{res} \cdot C \cdot Q} = \frac{b}{2\pi \cdot f_{res}^2 \cdot C}$$

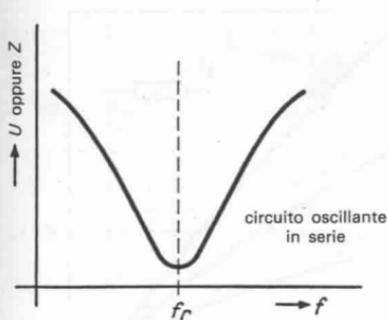


Fig. 60.

5.11 Resistenza di risonanza del circuito in parallelo

$$R_{res} = Q^2 \cdot r = Q \cdot X_L = Q \cdot X_C = \frac{Q}{2\pi \cdot f_{res} \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot b \cdot C}$$

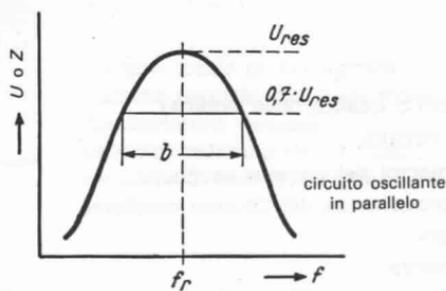


Fig. 61.

6 Diodi e resistenze a semiconduttori

(Componenti fotoelettronici, vedi Cap. 13)

6.01 Termistori (NTC)

$$R_T = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right) \quad [\exp x = e^x]$$

$$R_T = R_{T_0} \cdot \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

$$\alpha_T = -\frac{B}{T^2}$$

$$B = -\alpha_T \cdot T^2$$

R_T resistenza in Ω a T K

R_{T_0} resistenza in Ω a T_0 K

T temperatura ambiente in K

T_0 temperatura di riferimento in K
(generalmente $20^\circ\text{C} \cong 298$ K)

T in K = t in $^\circ\text{C} + 273$; t in $^\circ\text{C} = T$ in K - 273

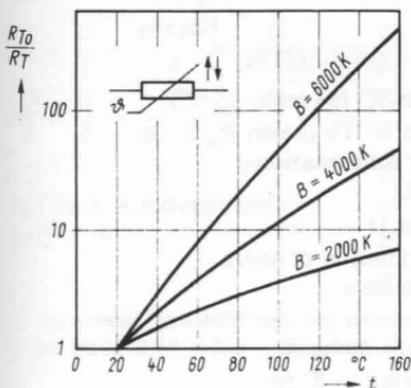


Fig. 62.

- A coefficiente di forma in Ω secondo le indicazioni del costruttore (anche rappresentata con R_{∞}). $A \equiv R_{\infty}$
- B costante di regolazione in K (più o meno tra 2000 e 6000 K)
- α_T coefficiente di temperatura dipendente dalla temperatura (TK) del termistore a T K

6.02 Conduttore a freddo (PTC)

$$R_N = 2 \cdot R_A$$

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}{\Delta t}$$

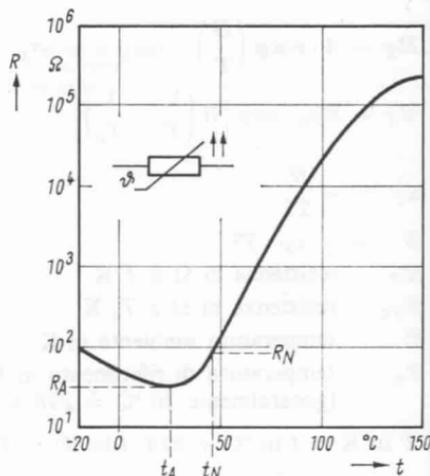


Fig. 63.

- t_A temperatura iniziale in $^{\circ}\text{C}$ (di solito 25°C)
- t_N temperatura nominale in $^{\circ}\text{C}$, presso R_N (anche temperatura di commutazione)
- R_A resistenza iniziale in Ω
- R_N resistenza nominale in Ω
- α coefficiente di temperatura al di sopra della temperatura nominale
- R_1, R_2 valori in Ω della resistenza per due punti al di sopra della temperatura nominale
- Δt differenza di temperatura in K per i due punti con R_1 e R_2

6.03 Resistenze dipendenti dalla tensione (VRD)

$$U = C \cdot I^\beta$$

$$I = K \cdot U^\gamma$$

$$\beta = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \tan \varphi$$

$$\gamma = \frac{1}{\beta} = \cot \varphi \quad K = \frac{1}{C^\gamma}$$

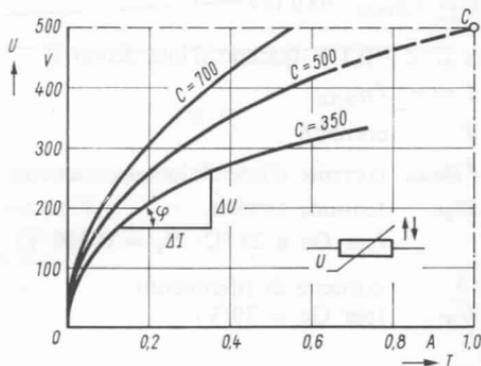


Fig. 64.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{C \cdot I^\beta}{I} = \frac{C}{I^{(1-\beta)}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{K \cdot U^\gamma} = \frac{1}{K \cdot U^{(\gamma-1)}} \quad C$$

a $I = 1 \text{ A}$ (estrapolato)

è $C = U$

U tensione in V

I corrente in A

R resistenza in Ω

C coefficiente di forma

β coefficiente del materiale

φ inclinazione della caratteristica

K valore reciproco di C

γ valore reciproco di β

C tra circa 15 e 1000

β tra circa 0,14 e 0,5

6.04 Diodi semiconduttori

GIUNZIONE IDEALE p-n

$$I = I_{Rmax} \left[\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right]$$

per il germanio

$$I = I_{Rmax} [\exp(39 \cdot U) - 1]$$

a $U > 0,1$ V (campo di conduzione):

$$I = I_{Rmax} \cdot \exp(39 \cdot U)$$

a $U < -0,1$ V (campo d'interdizione):

$$I = -I_{Rmax}$$

I corrente

I_{Rmax} corrente d'interdizione-saturazione

U_T tensione termica

(per Ge a 25 °C: $U_T = 0,026$ V)

$\frac{1}{U_T}$ costante di riferimento

(per Ge = 39/V)

U tensione

Indice F forward, senso di passaggio

Indice R reverse, senso di non conduzione

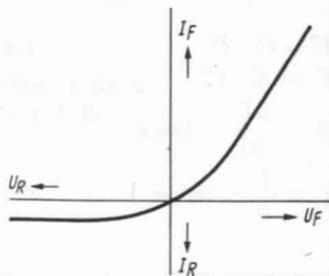


Fig. 65.

6.05 Diodi a capacità variabile (varicap, varactor)

CAPACITÀ DEL DIODO

$$C_D = C_0 \left(\frac{U_0}{U + U_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

C_D capacità del diodo in pF

C_0 capacità del diodo in pF per $U = 0$ V

n esponente della radice (secondo le indicazioni del costruttore)

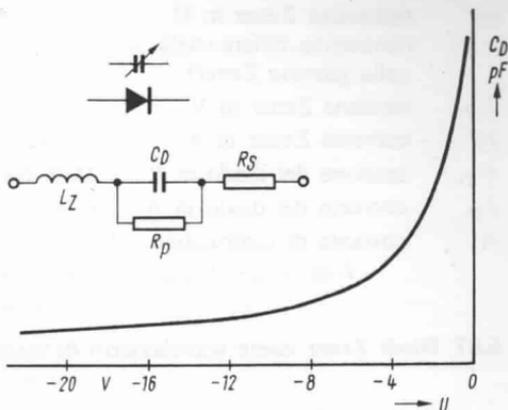


Fig. 66.

U tensione d'interdizione applicata in V

U_0 tensione di diffusione in V

per germanio $U_0 \approx 0,5$ V

per silicio $U_0 \approx 0,7$ V

6.06 Diodi Zener (diodi di riferimento)

RESISTENZA ZENER

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

per U_D inferiore a -20 V

$$r_Z = K \cdot U_D^2$$

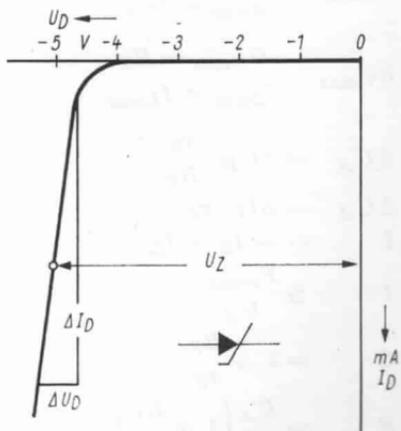


Fig. 67.

r_Z	resistenza Zener in Ω (resistenza differenziale nella gamma Zener)
U_Z	tensione Zener in V
I_Z	corrente Zener in A
U_D	tensione del diodo in V
I_D	corrente del diodo in A
K	costante di costruzione

6.07 Diodi Zener come stabilizzatori di tensione

$$R_V = \frac{U_B - U_A}{I_Z + I_L}$$

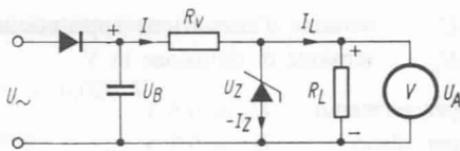


Fig. 68.

$$R_{Vmin} = \frac{U_{Bmax} - U_Z}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}$$

$$R_{Vmax} = \frac{U_{Bmin} - U_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

$$\Delta U_A = \Delta U_B \cdot \frac{r_Z}{R_V}$$

$$\Delta U_A = \Delta I_L \cdot r_Z$$

$$I = -I_Z + I_L$$

$$I \leq \frac{P_{vmax}}{U_A}$$

$$G = 1 + \frac{R_V}{r_Z}$$

$$S = \frac{U_A}{U_B} \left(1 + \frac{R_V}{r_Z} \right)$$

$$S = \frac{U_A}{U_B} \cdot G$$

- r_Z resistenza Zener in Ω
 R_V resistenza addizionale in Ω
 R_L resistenza di carico in Ω
 U_B tensione di esercizio in V
 U_Z tensione Zener in V
 U_A tensione di uscita sulla resistenza di carico in V
 I_Z corrente Zener in A
 I_L corrente di carico in A
 G fattore di livellazione
 S fattore di stabilizzazione

7 Transistori

7.01 Grandezze caratteristiche dei transistori

h_{11} resistenza di entrata nel caso di uscita cortocircuitata

$$h_{11} = \frac{u_1}{\mathfrak{I}_1} \text{ a } u_2 = 0$$

(h_{11} , h_{12} leggi: h uno uno, h uno due... I contrasegni sono ripresi dal calcolo matriciale.)

h_{12} reazione di tensione ad entrata aperta

$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \text{ a } \mathfrak{I}_1 = 0$$

h_{21} amplificazione di corrente ad uscita cortocircuitata

$$h_{21} = \frac{\mathfrak{I}_2}{\mathfrak{I}_1} \text{ a } u_2 = 0$$

h_{22} conduttanza di uscita ad entrata aperta

$$h_{22} = \frac{\mathfrak{I}_2}{u_2} \text{ a } \mathfrak{I}_1 = 0$$

$$u_1 = h_{11} \cdot \mathfrak{I}_1 + h_{12} \cdot u_2$$

$$\mathfrak{I}_2 = h_{21} \cdot \mathfrak{I}_1 + h_{22} \cdot u_2$$

$$\det h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{21} \cdot h_{12}$$

u_1 tensione di entrata

u_2 tensione di uscita

\mathfrak{I}_1 corrente di entrata

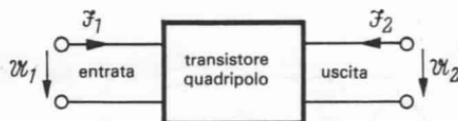


Fig. 69.

Allo scopo di una migliore visualizzazione, nel capitolo 7 gli indici (lettere che si trovano ai piedi dei simboli usati nelle formule) che si riferiscono agli elettrodi dei transistori, sono stati scritti in caratteri verticali, mentre di solito si usano caratteri obliqui (corsivo).

\mathcal{S}_2 corrente di uscita

$\det h$ determinante di h (per $\det h$ si usa anche Δh)

7.02 Circuiti base nei transistori

CIRCUITO DELLA BASE

Base come elettrodo comune per entrata e uscita.

$$u_1 = u_{be} \quad u_2 = u_{bc}$$

$$\mathcal{S}_1 = i_e \quad \mathcal{S}_2 = i_c$$

Indice per le correnti:

e per la corrente dell'emettitore

c per la corrente del collettore

b per la corrente della base

Indici per le tensioni:

be per la tensione tra la base e l'emettitore

bc per la tensione tra la base ed il collettore

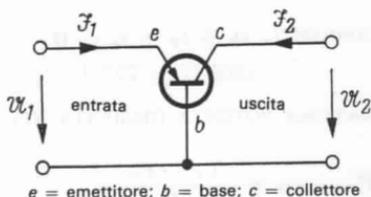


Fig. 70.

CIRCUITO DELL'EMETTITORE

Emettitore come elettrodo comune per l'entrata e l'uscita

$$u_1 = u_{eb} \quad u_2 = u_{ec}$$

$$\mathcal{S}_1 = i_b \quad \mathcal{S}_2 = i_c$$

Indici per le tensioni:

eb per la tensione tra l'emettitore e la base

ec per la tensione tra l'emettitore ed il collettore

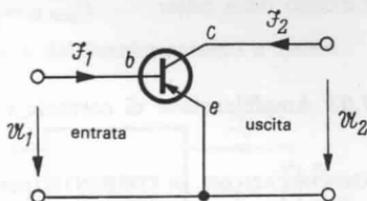


Fig. 71.

CIRCUITO DEL COLLETTORE

Collettore come elettrodo comune per l'entrata e l'uscita

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_1 &= u_{cb} & \mathcal{U}_2 &= u_{ce} \\ \mathcal{I}_1 &= i_b & \mathcal{I}_2 &= i_e \end{aligned}$$

Indici per le tensioni:
 cb per la tensione tra
 il collettore e la base
 ce per la tensione tra il
 collettore e l'emettitore

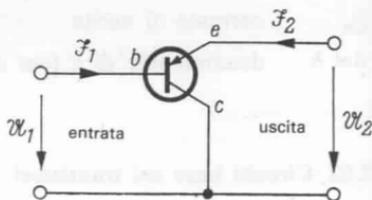


Fig. 72.

CORRENTI: $i_b + i_c + i_e = 0$

MASSIMA POTENZA DISSIPATA NEL COLLETTORE

$$P_{c \max} = \frac{T_i - T_a}{K}$$

$P_{c \max}$ max potenza dissipata nel collettore
 T_i max temperatura interna del cristallo
 T_a temperatura esterna dell'ambiente
 K resistività termica tra strato di sbarramento
 e ambiente

POTENZA COMPLESSIVA CONVERTITA NEL TRANSISTORE

Circuito dell'emettitore: $P_{ges e} = P_{ce} + P_{be}$

Circuito della base: $P_{ges b} = P_{cb} + P_{eb}$

7.03 Amplificazione di corrente e frequenza limite

AMPLIFICAZIONE DI CORRENTE (per piccoli segnali, con uscita cortocircuitata):

Per il circuito della base: $\alpha = \frac{i_c}{i_e}$ a $\mathcal{U}_2 = 0$

Per il circuito dell'emettitore: $\beta = \frac{i_c}{i_b}$ a $\mathcal{U}_2 = 0$

$$B = \frac{I_c}{I_b}$$

$$\beta \approx \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad \alpha \approx \frac{\beta}{1 + \beta}; \quad 1 - \alpha \approx \frac{1}{1 + \beta}$$

Per il circuito del collettore: $\gamma \approx \beta + 1$

FREQUENZA LIMITE:

Alla frequenza limite f_g l'amplificazione di corrente è calata al 70,7% del valore di 1 kHz.

α_g (ad f_g) = $0,707 \cdot \alpha$ (ad 1 kHz); $\beta_g = 0,707 \cdot \beta$ (1 kHz)

$$\frac{f_{gb}}{f_{ge}} = \frac{\alpha}{\beta}$$

i_b corrente della base

i_c corrente del collettore

i_e corrente dell'emettitore

α amplificazione di corrente nel circuito della base

β amplificazione di corrente nel circuito dell'emettitore

B amplificazione statica di corrente nel circuito dell'emettitore

γ amplificazione di corrente nel circuito del collettore

f_g frequenza limite

f_{gb} frequenza limite nel circuito della base

f_{ge} frequenza limite nel circuito dell'emettitore

7.04 Caratteristiche del cortocircuito e del funzionamento a vuoto

Per tutti i tre circuiti base in corrispondenza a segnali piccoli e basse frequenze

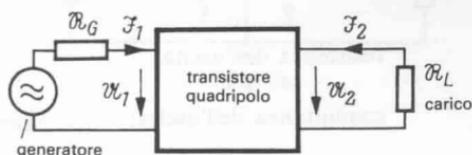


Fig. 73.

NEL CASO CHE L'USCITA SIA CORTOCIRCUITATA: $R_L = 0$ e $U_2 = 0$

resistenza dell'entrata: $\frac{U_1}{I_1} = h_{11}$

$$\text{conduttanza dell'entrata:} \quad \frac{\mathfrak{S}_1}{U_1} = \frac{1}{h_{11}}$$

$$\text{amplificazione di corrente:} \quad \frac{\mathfrak{S}_2}{\mathfrak{S}_1} = h_{21}$$

$$\text{conduttanza avanti:} \quad \frac{\mathfrak{S}_2}{U_1} = \frac{h_{21}}{h_{11}}$$

NEL CASO CHE L'USCITA SIA APERTA: $R_L = \infty$ e $\mathfrak{S}_2 = 0$

$$\text{resistenza all'entrata:} \quad \frac{U_1}{\mathfrak{S}_1} = \frac{\det h}{h_{22}}$$

$$\text{conduttanza all'entrata:} \quad \frac{\mathfrak{S}_1}{U_1} = \frac{h_{22}}{\det h}$$

$$\text{amplificazione di tensione:} \quad \frac{U_2}{U_1} = -\frac{h_{21}}{\det h}$$

$$\text{coefficiente di penetrazione:} \quad \frac{U_1}{U_2} = -\frac{\det h}{h_{21}}$$

$$\text{resistenza di trasformazione avanti:} \quad \frac{U_2}{\mathfrak{S}_1} = -\frac{h_{21}}{h_{22}}$$

NEL CASO L'ENTRATA SIA CORTOCIRCUITATA: $R_G = 0$ e $U_1 = 0$

$$\text{resistenza dell'uscita:} \quad \frac{U_2}{\mathfrak{S}_2} = \frac{h_{11}}{\det h}$$

$$\text{conduttanza dell'uscita:} \quad \frac{\mathfrak{S}_2}{U_2} = \frac{\det h}{h_{11}}$$

$$\text{resistenza di reazione:} \quad \frac{U_2}{\mathfrak{S}_1} = -\frac{h_{11}}{h_{12}}$$

$$\text{conduttanza di reazione:} \quad \frac{\mathfrak{S}_1}{U_2} = -\frac{h_{12}}{h_{11}}$$

NEL CASO CHE L'ENTRATA SIA APERTA: $R_G = \infty$ e $\mathfrak{I}_1 = 0$

resistenza dell'uscita:	$\frac{u_2}{\mathfrak{I}_2} = \frac{1}{h_{22}}$
conduttanza dell'uscita:	$\frac{\mathfrak{I}_2}{u_2} = h_{22}$
reazione di tensione:	$\frac{u_1}{u_2} = h_{12}$
resistenza di trasformazione indietro:	$\frac{u_1}{\mathfrak{I}_2} = \frac{h_{12}}{h_{22}}$

R_G	resistenza del generatore
R_L	resistenza di carico
u_1	tensione all'entrata
u_2	tensione all'uscita
\mathfrak{I}_1	corrente di entrata
\mathfrak{I}_2	corrente di uscita
h_{11}	ecc. vedi paragrafo 7.01

7.05 Formule di funzionamento per il circuito della base

AMPLIFICAZIONE DI CORRENTE:

$$v_{ib} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{h_{21b}}{1 + h_{22b} \cdot R_L}$$

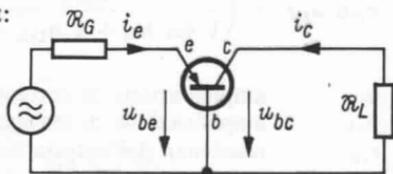


Fig. 74.

AMPLIFICAZIONE DI TENSIONE:

$$v_{ub} = \frac{u_{bc}}{u_{be}} = - \frac{h_{21b} \cdot R_L}{h_{11b} + \det h_b \cdot R_L}$$

RESISTENZA DELL'ENTRATA:

$$r_{ib} = \frac{u_{be}}{i_e} = \frac{h_{11b} + \det h_b \cdot R_L}{1 + h_{22b} \cdot R_L}$$

RESISTENZA DELL'USCITA:

$$r_{ob} = \frac{u_{bc}}{i_c} = \frac{h_{11b} + R_G}{\det h_b + h_{22b} \cdot R_G}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA:

$$\begin{aligned} v_{pb} &= v_{ib} \cdot v_{ub} = v_{ib}^2 \cdot \frac{R_L}{r_{ib}} = \\ &= \frac{h_{21b}^2 \cdot R_L}{(1 + h_{22b} \cdot R_L)(h_{11b} + \det h_b \cdot R_L)} \end{aligned}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA NEL CASO DI ENTRATA ADATTATA:

$$r_{ib} = R_G$$

$$v_{pb} = \frac{4 \cdot R_G \cdot R_L \cdot h_{21b}^2}{[R_G(1 + h_{22b} \cdot R_L) + (h_{11b} + \det h_b \cdot R_L)]^2}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA OTTIMALE:

$$\begin{aligned} \text{ad } R_{G \text{ opt}} &= \sqrt{\frac{h_{11b} \cdot \det h_b}{h_{22b}}} \quad \text{e} \quad R_{L \text{ opt}} = \sqrt{\frac{h_{11b}}{h_{22b} \cdot \det h_b}} \\ v_{pb \text{ opt}} &= \left(\frac{h_{21b}}{\sqrt{\det h_b} + \sqrt{h_{11b} \cdot h_{22b}}} \right)^2 \end{aligned}$$

v_{ib}	amplificazione di corrente nel circuito della base
v_{ub}	amplificazione di tensione nel circuito della base
r_{ib}	resistenza dell'entrata nel circuito della base
r_{ob}	resistenza dell'uscita nel circuito della base
v_{pb}	amplificazione di potenza nel circuito della base
R_G	resistenza del generatore
R_L	resistenza di carico

7.06 Formule di funzionamento per il circuito dell'emettitore

AMPLIFICAZIONE DI CORRENTE:

$$v_{ie} = \frac{i_c}{i_b} = \frac{h_{21e}}{1 + h_{22e} \cdot R_L}$$

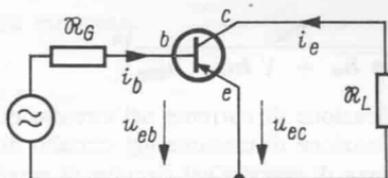


Fig. 75.

AMPLIFICAZIONE DI TENSIONE:

$$v_{ue} = \frac{u_{ec}}{u_{eb}} = - \frac{h_{21e} \cdot R_L}{h_{11e} + \det h_e \cdot R_L}$$

RESISTENZA DELL'ENTRATA:

$$r_{ie} = \frac{u_{eb}}{i_b} = \frac{h_{11e} + \det h_e \cdot R_L}{1 + h_{22e} \cdot R_L}$$

RESISTENZA DELL'USCITA:

$$r_{oe} = \frac{u_{ec}}{i_c} = \frac{h_{11e} + R_G}{\det h_e + h_{22e} \cdot R_G}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA:

$$\begin{aligned} v_{pe} &= v_{ie} \cdot v_{ue} = v_{ie}^2 \cdot \frac{R_L}{r_{ie}} = \\ &= \frac{h_{21e}^2 \cdot R_L}{(1 + h_{22e} \cdot R_L) (h_{11e} + \det h_e \cdot R_L)} \end{aligned}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA NEL CASO DI ENTRATA ADATTATA:

$$r_{io} = R_G$$

$$v_{pe} = \frac{4 \cdot R_G \cdot R_L \cdot h_{21e}^2}{[R_G (1 + h_{22e} \cdot R_L) + (h_{11e} + \det h_e \cdot R_L)]^2}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA OTTIMALE:

$$a \quad R_{Gopt} = \sqrt{\frac{h_{11e} \cdot \det h_e}{h_{22e}}} \quad e \quad R_{Lopt} = \sqrt{\frac{h_{11e}}{h_{22e} \cdot \det h_e}}$$

$$v_{pe \text{ opt}} = \left(\frac{h_{21e}}{\sqrt{\det h_e} + \sqrt{h_{11e} \cdot h_{22e}}} \right)^2$$

v_{ie}	amplificazione di corrente nel circuito di emettitore
v_{ue}	amplificazione di tensione nel circuito di emettitore
r_{ie}	resistenza di entrata nel circuito di emettitore
r_{oe}	resistenza di uscita nel circuito di emettitore
v_{pe}	amplificazione di potenza nel circuito di emettitore
R_G	resistenza del generatore
R_L	resistenza di carico
$\det h_e$	determinante h_e

7.07 Formule di funzionamento per il circuito di collettore

AMPLIFICAZIONE DI CORRENTE:

$$v_{ic} = \frac{i_e}{i_b} = \frac{h_{21c}}{1 + h_{22c} \cdot R_L}$$

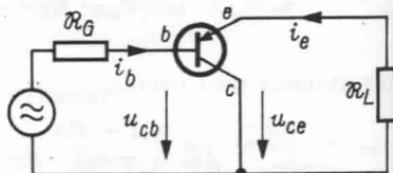


Fig. 76.

AMPLIFICAZIONE DI TENSIONE:

$$v_{uc} = \frac{u_{ce}}{u_{cb}} = - \frac{h_{21c} \cdot R_L}{h_{11c} + \det h_c \cdot R_L}$$

RESISTENZA DI ENTRATA:

$$r_{ic} = \frac{u_{cb}}{i_b} = \frac{h_{11c} + \det h_c \cdot R_L}{1 + h_{22c} \cdot R_L}$$

RESISTENZA DI USCITA:

$$r_{oc} = \frac{u_{ce}}{i_e} = \frac{h_{11c} + R_G}{\det h_c + h_{22c} \cdot R_G}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA:

$$v_{pc} = v_{ic} \cdot v_{uc} = v_{ic}^2 \cdot \frac{R_L}{r_{ic}} =$$

$$= \frac{h_{21c}^2 \cdot R_L}{(1 + h_{22c} \cdot R_L) (h_{11c} + \det h_c \cdot R_L)}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA NEL CASO DI ENTRATA ADATTATA:

$$r_{ic} = R_G$$

$$v_{pc} = \frac{4 \cdot R_G \cdot R_L \cdot h_{21c}^2}{[R_G (1 + h_{22c} \cdot R_L) + (h_{11c} + \det h_c \cdot R_L)]^2}$$

AMPLIFICAZIONE DI POTENZA OTTIMALE:

$$a \quad R_{G \text{ opt}} = \sqrt{\frac{h_{11c} \cdot \det h_c}{h_{22c}}} \quad e \quad R_{L \text{ opt}} = \sqrt{\frac{h_{11c}}{h_{22c} \cdot \det h_c}}$$

$$v_{pc \text{ opt}} = \left(\frac{h_{21c}}{\sqrt{\det h_c} + \sqrt{h_{11c} \cdot h_{22c}}} \right)^2$$

v_{ic}	amplificazione di corrente nel circuito di collettore
v_{uc}	amplificazione di tensione nel circuito di collettore
r_{ic}	resistenza di entrata nel circuito di collettore
r_{oc}	resistenza di uscita nel circuito di collettore
v_{pc}	amplificazione di potenza nel circuito di collettore
R_G	resistenza del generatore
R_L	resistenza di carico
$\det h_c$	determinante h_c

7.08 Transistore ad effetto di campo (FET)

CIRCUITO SOURCE-BASE

$$V_S = \frac{g \cdot r_{DS} \cdot R_L}{r_{DS} + R_L} \text{ sempre } > 1$$

a $r_{DS} \gg R_L$ diventa

$$V_S \approx g \cdot R_L$$

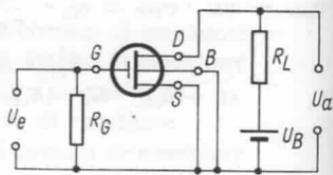


Fig. 77.

CIRCUITO DRAIN-BASE

$$V_D = \frac{g \cdot R_L}{1 + g \cdot R_L} \text{ sempre } < 1$$

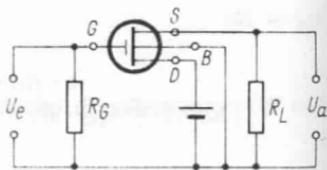


Fig. 78.

CIRCUITO GATE-BASE

$$V_G = \frac{R_L (1 + g \cdot r_{DS})}{r_{DS} + R_L + R_G (1 + g \cdot r_{DS})} \text{ circa } 1 \dots 2$$

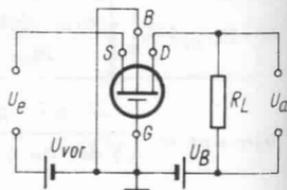


Fig. 79.

PENDENZA IN AVANTI

$$g = - \frac{2}{U_P} \sqrt{I_D \cdot I_{DSmax}}$$

V_S	amplificazione di tensione nel circuito source-base
V_D	amplificazione di tensione nel circuito drain-base
V_G	amplificazione di tensione nel circuito gate-base
g	pendenza in avanti in mA/V
r_{DS}	resistenza di uscita drain-source
R_L	resistenza di carico (di lavoro)
R_G	resistenza del gate
I_D	corrente del drain
I_{DSmax}	corrente drain-source per $U_{GS} = 0$ V
U_{GS}	tensione gate-source
U_P	tensione d'interdizione ($I_D = 0$)

7.09 Transistore unigiunzione (UJT)

$$U_P = U_D + \eta \cdot U_{BB}$$

$$U_D \approx 0,7 \text{ V}; \eta = 0,2 \dots 0,8$$

U_P tensione di punta ($U_p = U$ -peak, ingl. punta)

U_D caduta di tensione al diodo emettitore

U_{BB} tensione tra la base 1 e la base 2

η rapporto interno di tensione

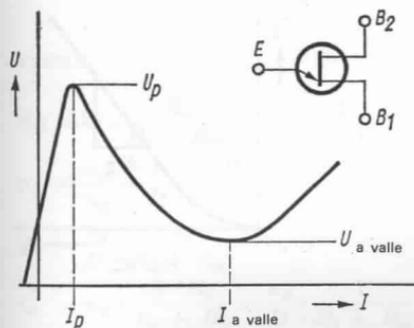


Fig. 80.

UJT NELL'OSCILLATORE A RILASAMENTO
FREQUENZA DI RILASAMENTO

$$f = \frac{1}{R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)}$$

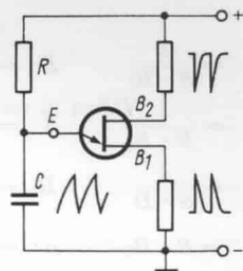


Fig. 81.

8 Valvole

8.01 Diodo a valvole

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$S \cdot R_i = 1$$

S pendenza in mA/V

R_i resistenza interna in $k\Omega$

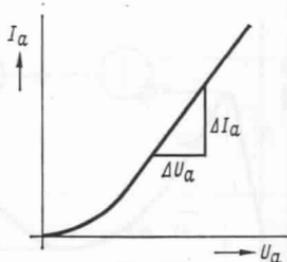


Fig. 82.

8.02 Formule statiche per le valvole (triodi)

$$D = \frac{1}{S \cdot R_i} \quad D = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \quad (\text{per } I_a = \text{cost})$$

$$S = \frac{1}{D \cdot R_i} \quad S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad (\text{per } U_a = \text{cost})$$

$$R_i = \frac{1}{S \cdot D} \quad R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad (\text{per } U_{g1} = \text{cost})$$

$$\mu = S \cdot R_i \quad \mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \quad (\text{per } I_a = \text{cost})$$

$$\mu = \frac{1}{D}; \quad D = \frac{1}{\mu}$$

$$D^{0/0} = D \cdot 100; \quad D = \frac{D^{0/0}}{100}$$

$$g = \frac{S}{D}$$

D coefficiente di penetrazione

S pendenza in mA/V

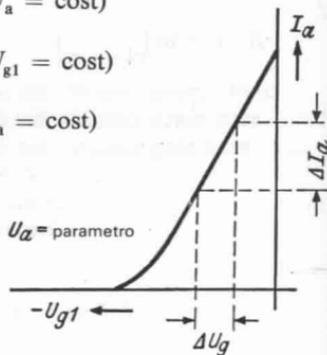


Fig. 83.

R_i	resistenza interna in $k\Omega$
μ	fattore di amplificazione
U_a	tensione dell'anodo in V
U_{g1}	tensione di griglia in V
I_a	corrente anodica in mA
Δ	coefficiente di variazione (delta)
g	* fattore di qualità

8.03 Formule dinamiche per le valvole

TRIODI:

$$S_d = S \cdot \frac{R_i}{R_i + R_a} = \frac{S}{1 + S \cdot D \cdot R_a}$$

$$v = \frac{u_a}{u_g} = \frac{1}{D} \cdot \frac{R_a}{R_i + R_a}$$

$$u_a = \frac{u_g}{D} \cdot \frac{R_a}{R_i + R_a}$$

$$i_a = u_g \cdot \frac{S \cdot R_i}{R_i + R_a} = \frac{u_g}{D} \cdot \frac{1}{R_i + R_a} = S_d \cdot u_g$$

PENTODI:

$$i_a = S \cdot u_g; \quad u_a = i_a \cdot R_a = R_a \cdot S \cdot u_g$$

$$v = S_d \cdot R_a = \frac{u_a}{u_g}$$

S_d pendenza dinamica, pendenza di lavoro in mA/V

S pendenza statica in mA/V

R_i resistenza interna in $k\Omega$

R_a resistenza esterna in $k\Omega$

v amplificazione

u_g tensione alternata di griglia in V

u_a tensione anodica alternata in V

i_a corrente anodica alternata in mA

8.04 Resistenza addizionale - Circuito termico

$$R_v = \frac{U - U_f}{I_f}$$

$$U = U_f + U_v$$

$$R_{ges} = R_f + R_v$$

$$I_f = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{U_f}{R_f} = \frac{U_v}{R_v}$$

$$P_v = U_v \cdot I_f = I_f^2 \cdot R_v = \frac{U_v^2}{R_v}$$

R_v resistenza addizionale in Ω

R_f resistenza di tutti i fili termici in Ω

R_{ges} resistenza complessiva del circuito termico in Ω

I_f corrente di riscaldamento in A

U_f tensione totale di filamento in V

U tensione di rete in V

U_v tensione alla resistenza addizionale in V

P_v potenza dissipata alla resistenza addizionale in W

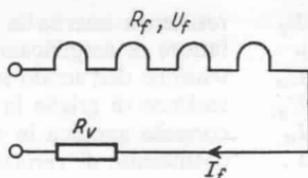


Fig. 84.

8.05 Fornitura di energia dei pentodi

$$U_a = U_B - I_a \cdot R_a - I_k \cdot R_k$$

$$U_{g2} = U_B - I_{g2} \cdot R_{g2} - I_k \cdot R_k$$

$$U_{g1} = I_k \cdot R_k$$

$$I_a = \frac{U_B - U_a}{R_a}$$

$$I_{g2} = \frac{U_B - U_{g2}}{R_{g2}}$$

$$I_k = I_a + I_{g2} = \frac{U_{g1}}{R_k}$$

$$R_a = \frac{U_B - U_a}{I_a}; \quad R_{g2} = \frac{U_B - U_{g2}}{I_{g2}};$$

$$R_k = \frac{U_{g1}}{I_k}$$

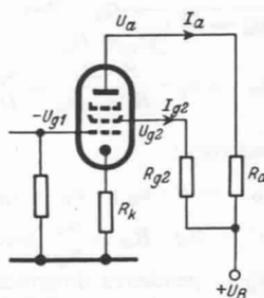


Fig. 85.

U_B tensione di esercizio in V

U_a tensione anodica in V

U_{g2} tensione di griglia-schermo in V

U_{g1} polarizzazione di griglia in V

R_a resistenza di lavoro in $k\Omega$

R_{g2} resistenza di polarizzazione di griglia-schermo in $k\Omega$

R_k resistenza catodica in $k\Omega$

I_a corrente anodica in mA

I_{g2} corrente di griglia-schermo in mA

I_k corrente catodica in mA

8.06 Divisore di tensione griglia-schermo

$$U_{g2} = R_q \cdot I_q = U_B - U_v$$

$$U_v = R_v \cdot (I_q + I_{g2}) = U_B - U_{g2}$$

$$I_{g2} = \frac{U_v}{R_v} - I_q$$

$$I_q = \frac{U_{g2}}{R_q} = \frac{U_v}{R_v} - I_{g2}$$

$$R_v = \frac{U_v}{I_q + I_{g2}} = \frac{U_B - U_{g2}}{I_q + I_{g2}}$$

$$R_q = \frac{U_{g2}}{I_q}$$

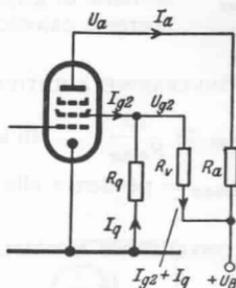


Fig. 86.

U_B	tensione di esercizio in V
U_{g2}	tensione di griglia-schermo in V
U_v	tensione in R_v in V
I_{g2}	corrente di griglia-schermo in mA
I_q	corrente trasversale in mA
R_v	resistenza di polarizzazione griglia-schermo in $k\Omega$
R_q	resistenza in derivazione in $k\Omega$

8.07 Resistenza al rumore equivalente

Il fruscio di una valvola viene riassunto in una resistività tale da produrre lo stesso fruscio. Questo è detto resistenza equivalente al rumore. Le formule sono formule di approssimazione.

TRIODI

$$R_{ae} \approx \frac{2,3}{S \cdot \sigma}$$

R_{ae} resistenza equivalente al rumore in $k\Omega$

S pendenza della valvola in mA/V

σ precisione di comando (di solito nelle valvole $\approx 0,7 \dots 0,8$)

PENTODI:

$$R_{ae} \approx \frac{2,5}{S \cdot \sigma} \cdot \frac{I_a}{I_k} + \frac{20 \cdot I_a \cdot I_{g2}}{S^2 \cdot I_k} \quad \text{in } k\Omega$$

$$I_k = I_a + I_{g2}$$

I_a corrente anodica in mA

I_{g2} corrente di griglia-schermo in mA

I_k corrente catodica in mA

CONVERSIONE ADDITIVA CON TRIODI:

$$R_{ae} \approx \frac{13}{S_{max}} \quad \text{in k}\Omega$$

S_{max} = pendenza alla massima tensione dell'oscillatore in mA/V

CONVERSIONE MULTIPLICATIVA (esodi, ottodi):

$$R_{ae} \approx 12 \frac{I_a}{S_c^2} \quad \text{in k}\Omega$$

S_c pendenza di conversione in mA/V

TENSIONE DI DISTURBO

$$u^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f$$

T temperatura assoluta in K

Δf larghezza di banda in Hz

R resistenza al rumore in Ω

k costante di Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K

8.08 Amplificatore ad accoppiamento catodico

$$v = \frac{\mu}{\mu + 1} \cdot \frac{(R_k + R)}{\frac{R_i}{\mu + 1} + (R_k + R)}$$

$$R_i' = \frac{1}{S} \cdot \frac{\mu}{\mu + 1}$$

v amplificazione
(sempre < 1)

μ fattore di amplificazione

$(R_k + R)$ resistenza
catodica complessiva

R_i resistenza interna
della valvola

R_i' resistenza interna complessiva

S pendenza della valvola

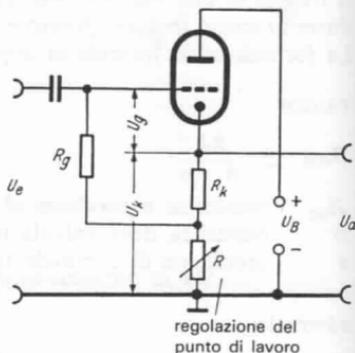


Fig. 87.

8.09 Triodi in circuito con griglia a massa

$$R_e = \frac{1}{S} \cdot \left(1 + \frac{R_a}{R_i}\right)$$

Per calcoli di massima

$$R_e = \frac{1}{S}$$

$$V = S \cdot \frac{R_a \cdot R_i}{R_a + R_i}$$

(se la conduttanza anodica $\ll S$)

R_e è molto più bassa che nel circuito con catodo a massa. U è circa altrettanto grande. Non è necessaria neutralizzazione.

- R_e resistenza all'entrata
 S pendenza
 R_a resistenza esterna
 R_i resistenza interna
 V amplificazione

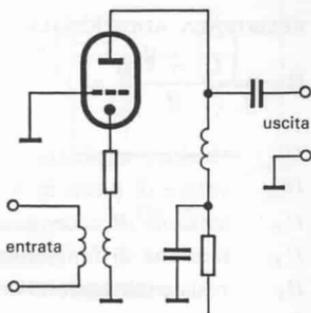


Fig. 88.

8.10 Tubi a raggi elettronici

VELOCITÀ DEL RAGGIO ELETTRONICO NEL VUOTO

$$v = 5,93 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U}$$

U tensione anodica in V

v velocità in m/s

COEFFICIENTI DI DEFLESSIONE

AF coefficiente di deflessione in V/cm

AE sensibilità di deflessione in mm/V

DF fattore di deflessione in V/inch (in GB e USA)

$$AF = \frac{10}{AE} = \frac{DF}{2,54}$$

$$AE = \frac{10}{AF} = \frac{25,4}{DF}$$

$$DF = \frac{25,4}{AE} = 2,54 \cdot AF$$

8.11 Valvole a luminescenza

Premessa: $U_{sp} > U_Z$

RESISTENZA ADDIZIONALE

$$R_V = \frac{U - U_B}{I}$$

- U tensione applicata
- U_{sp} valore di picco in V
- U_Z tensione di accensione
- U_B tensione di funzionamento
- R_V resistenza aggiuntiva
- I corrente ammessa

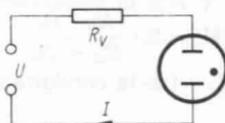


Fig. 89.

9 Circuiti

9.01 Accoppiamento in reazione

$$v_R = \frac{U_g}{U_{g0}}$$

$$v_R \approx \frac{1}{1 - \frac{k}{k_{gr}}}$$

$$U_g = U_{g0} \cdot \frac{1}{1 - \frac{k}{k_{gr}}}$$

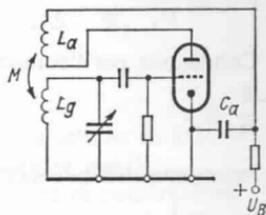


Fig. 90.

(Vale quando la pendenza viene assunta come costante)

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_g \cdot L_a}}$$

$$k_{gr} = \frac{d_0}{S_0} \cdot \sqrt{\frac{L_g}{L_a}} \cdot \frac{1}{\omega \cdot L_g} \cdot \frac{1}{\alpha}$$

$$d_0 = \frac{R}{\omega \cdot L_g}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{b}{R_i}\right)^2} \quad \text{con } b = \omega \cdot L_a - \frac{1}{\omega \cdot C_a}$$

U_g tensione di griglia in presenza di reazione

U_{g0} tensione di griglia in assenza di reazione

v_R amplificazione di reazione

k fattore di reazione

k_{gr} fattore di reazione per inserire l'autoeccitazione

M coefficiente di mutua induzione

L_g autoinduttanza della bobina di griglia

L_a autoinduttanza della bobina dell'anodo

- d_o smorzamento del circuito oscillante senza reazione
 R resistenza di perdita del circuito di griglia
 S_o pendenza quando la tensione alternata di griglia è $u_g = 0$

9.02 Oscillatore

$$v = \frac{U_2}{U_1}$$

Condizione per l'autoeccitazione:

$$\frac{1}{k} \cong v$$

Inserzione dell'autoeccitazione

$$k = \frac{1}{v}$$

$$k \cdot v = 1$$

v amplificazione dello stadio

k fattore di accoppiamento

U_1 tensione di entrata

U_2 tensione di uscita

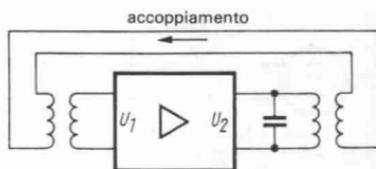


Fig. 91.

9.03 Controreazione

FATTORE DI CONTROREAZIONE

$$g = \frac{v'}{v}$$

$$v' = \frac{v}{1 + \alpha \cdot v}$$

g fattore di controreazione

v fattore di amplificazione senza controreazione

v' fattore di amplificazione con controreazione

α frazione della tensione di uscita utilizzata per la controreazione

CONTROREAZIONE DI CORRENTE:

La resistenza interna R_i aumenta.
 La pendenza S diminuisce.
 Il coefficiente di penetrazione D
 rimane costante.

$$v' = \frac{1}{D} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i (1 + S \cdot R_k) + \mathfrak{R}_a}$$

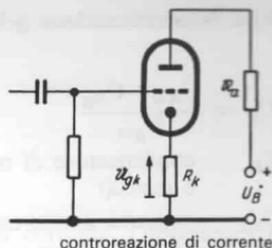


Fig. 92.

Per valvole a griglia-schermo, se $R_i \gg \mathfrak{R}_a$ e $v \approx S \cdot \mathfrak{R}_a$

$$v' = \frac{S \cdot \mathfrak{R}_a}{1 + S \cdot R_k}$$

$$D' = D$$

$$R'_i = R_i (1 + S \cdot R_k)$$

$$S' = \frac{S}{1 + S \cdot R_k}$$

R_i resistenza interna in $k\Omega$
 S pendenza in mA/V
 D coefficiente di penetrazione
 \mathfrak{R}_a resistenza esterna in $k\Omega$
 R_k resistenza catodica in $k\Omega$

CONTROREAZIONE DI TENSIONE

$$v' = \frac{1}{D+k} \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{R_i \cdot \frac{D}{D+k} + \mathfrak{R}_a}$$

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \text{fattore di accoppiamento}$$

Per tubi griglia-schermo, se

$R_i \gg \mathfrak{R}_a$ und $v \approx S \cdot \mathfrak{R}_a$

$$v' = \frac{S \cdot \mathfrak{R}_a}{1 + k \cdot S \cdot \mathfrak{R}_a}$$

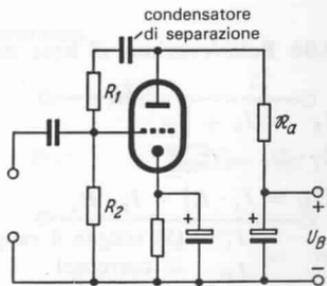


Fig. 93.

$D' = D + k$ Il coefficiente di penetrazione aumenta.

$R'_i = R_i \cdot \frac{D}{D+k}$ La resistenza interna diminuisce.

$S' = S$ La pendenza rimane costante.

R_1, R_2 Resistenze del divisore di tensione

9.04 Neutralizzazione griglia-schermo

$$C_s = \frac{C_{ak} \cdot C_{sg}}{C_{ga}}$$

C_s condensatore di neutralizzazione (tra griglia-schermo e massa)

C_{ak} capacità anodo-catodo

C_{sg} capacità griglia-griglia/schermo

C_{ga} capacità griglia-anodo

9.05 Neutralizzazione del transistoro

$$C_N = C_{BC} \cdot \frac{L_1}{L_2}$$

C_N condensatore di neutralizzazione

C_{BC} capacità base-collettore

L_1, L_2 induttanze delle bobine

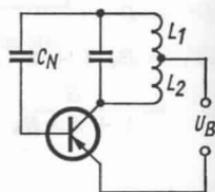


Fig. 94.

9.06 Polarizzazione di base mediante divisore di tensione

$$I_2 = I_1 + I_B$$

$$I_1 \cdot R_1 = U_{BE}$$

$$U_B = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$$

$$m = \frac{I_1}{I_B} \quad (\text{Si sceglie il rapporto di corrente})$$

$$R_1 = \frac{1}{m} \cdot \frac{U_{BE}}{I_B}$$

$$R_2 = \frac{U_B - U_{BE}}{(1 + m) \cdot I_B}$$

R_1, R_2 resistenze del divisore di tensione

I_1, I_2 correnti in R_1 e R_2

U_B tensione di esercizio

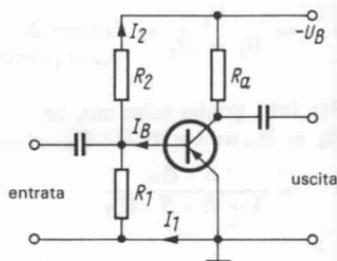


Fig. 95.

U_{BE} tensione base-emettitore
 I_B corrente della base
 m rapporto di corrente

9.07 Condensatore catodico

Per evitare una sensibile controeazione di corrente, l'impedenza del condensatore catodico deve essere circa 1/10 della resistenza catodica, calcolata sotto alla frequenza di taglio inferiore.

$$R_C = 0.1 \cdot R_k$$

$$C_k = \frac{1590}{f_u \cdot R_k}$$

Per $f_u = 50$ Hz diventa

$$C_k \approx \frac{30}{R_k}$$

R_k resistenza catodica in $k\Omega$

C_k condensatore catodico in μF

f_u frequenza di taglio inferiore in Hz

R_C resistenza capacitiva in C_k in $k\Omega$

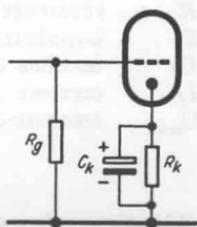


Fig. 96.

9.08 Condensatore di carica per alimentatori

$$C_L = k \cdot \frac{I}{U_B}$$

$$U_B = k \cdot \frac{I}{C_L}$$

A 50 Hz:

raddrizzatore a diodo ad una via

raddrizzatore a semiconduttore ad una via

diodi a due vie

semiconduttore a due vie

C_L capacità in μF

U_B tensione di ronzio in V

I corrente prelevata in mA

k costante del circuito

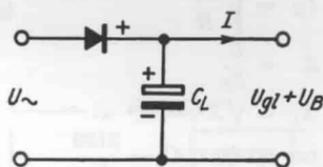


Fig. 97.

$$k = 4$$

$$k = 4,8$$

$$k = 1,5$$

$$k = 1,8$$

Filtri vedi pag. 10.

9.09 Condensatore di circuito termico per 50 Hz

$$R = \frac{U_f}{I_f}; \quad Z = \frac{U_{rete}}{I_f}$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$C = \frac{10^6}{\omega \cdot X_C} \quad \text{in } \Omega, \text{ Hz e } \mu\text{F}$$

$$\text{a } 50 \text{ Hz: } C = \frac{3180}{\sqrt{Z^2 - R^2}} \text{ in } \mu\text{F}$$

R resistenza nei filamenti caldi
 Z impedenza del circuito termico
 U_f tensione di accensione
 I_f corrente di accensione
 U_{rete} tensione di rete

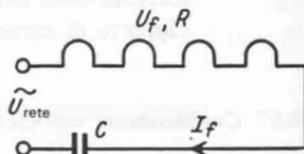


Fig. 98.

9.10 Precondensatore per la riduzione della potenza

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P}$$

$$I_S = \sqrt{\frac{P_v}{R}}$$

$$Z = \frac{U}{I_S}$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$\text{per } 50 \text{ Hz: } C = \frac{3180}{X_C} \text{ in } \mu\text{F}$$

R resistenza ohmica dell'utilizzatore
 Z impedenza
 P potenza nominale dell'utilizzatore
 P_v potenza ridotta desiderata
 I corrente a carico puramente ohmico
 I_S corrente a potenza ridotta
 U tensione di rete

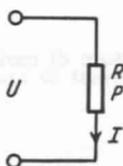


Fig. 99.

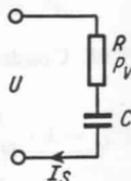


Fig. 100.

9.11 Caricabilità degli avvolgimenti

$$A = \frac{I}{J} = \frac{d^2 \pi}{4}$$

$$J = \frac{I}{A} = \frac{4 \cdot I}{d^2 \cdot \pi}$$

$$I = J \cdot A = \frac{J \cdot d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot I}{\pi \cdot J}} = 1,13 \sqrt{A}$$

J densità di corrente in A/mm²

I corrente nell'avvolgimento in A

A sezione del filo in mm²

d diametro del filo in mm

Per $J = 1$ A/mm² è $d = 1,13 \sqrt{I}$

$$J = 2 \quad d = 0,8 \sqrt{I}$$

$$J = 2,55 \quad d = \sqrt{\frac{I}{2}}$$

$$J = 3 \quad d \approx \sqrt{0,4 \cdot I}$$

$$J = 4 \quad d \approx \sqrt{0,3 \cdot I}$$

9.12 Numero e volume degli avvolgimenti

$$d_m = \frac{d + D}{2} \quad \text{in mm}$$

$$w = d_m \cdot \pi \quad \text{in mm}; \quad l = \frac{w \cdot N}{1000} \quad \text{in m}$$

$$N = \frac{A_w \cdot q}{A}; \quad q = \text{circa } 0,6$$

$$A_w = \left(\frac{D - d}{2} \right) \cdot l_w$$

A_w sezione dell'avvolgimento in mm²

q fattore di riempimento

N numero degli avvolgimenti

A sezione del filo in mm²

d diametro del nucleo in mm

D diametro esterno in mm

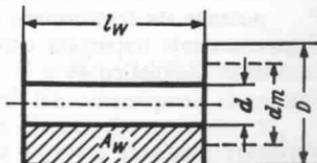


Fig. 101.

d_m	di diametro medio dell'avvolgimento in mm
w	lunghezza media di un avvolgimento in mm
l	lunghezza del filo in m
l_w	lunghezza dell'avvolgimento in mm

9.13 Trasformatore di rete

(Formula approssimativa per un primo calcolo di massima)

$$A \approx 1,2 \sqrt{P}$$

$$U = 4,44 \cdot N \cdot \mathfrak{B} \cdot f \cdot A$$

Avvolgimento primario ($f = 50$ Hz):

$$N_1 = 37,5 \cdot \frac{U}{A}$$

a 220 V e 50 Hz:

$$N_1 = \frac{8240}{A} = \frac{6860}{\sqrt{P}}$$

Avvolgimento secondario ($f = 50$ Hz):

$$N_2 = 40 \cdot \frac{U}{A}$$

A sezione minima del ferro in cm^2

f frequenza in Hz

U tensione in V

N numero degli avvolgimenti

\mathfrak{B} densità di flusso magnetico in Wb/cm^2

P potenza da trasformare in VA

\mathfrak{B} generalmente impiegata con $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2 = 1,2$ Tesla

Lamierino magnetico IV

Fattore di riempimento del ferro 0,90

Verificare mediante controlli sui calcoli se la sezione della finestra del nucleo scelto è sufficiente per gli avvolgimenti e gli isolamenti.

9.14 Bobine a bassa frequenza

$$L = N^2 \cdot \frac{1,26 \cdot 10^{-8} \cdot A \cdot \mu_r}{l} \quad (\text{senza traferro})$$

Considerando il traferro:

$$L = N^2 \cdot \frac{1,26 \cdot A \cdot 10^{-8}}{d} \quad \text{con } d = 0,8 s + \frac{l}{\mu_r}$$

$$N = \sqrt{\frac{L \cdot d \cdot 10^8}{1,26 \cdot A}}$$

Nel lamierino magnetico IV si deve assumere $\mu_r = 600$.

L'induttanza deve essere quanto più possibile grande, quanto più piccola è la resistenza ohmica.

- L induttanza in H
- N numero di avvolgimenti
- A sezione del ferro in cm^2
- s traferro in cm
- l lunghezza del percorso del ferro in cm
- μ_r coefficiente di permeabilità
- d percorso ridotto in cm

9.15 Trasformatore di uscita

Nel caso che il nucleo non sia premagnetizzato (trasformatore in controfase)

$$A \approx 10 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P}{f_u}}; \quad \text{per } f_u = 50 \text{ Hz diventa } A \approx 1 \dots 3 \sqrt{P}$$

Se il nucleo è stato premagnetizzato (trasformatore disimmetrico):

$$N_p \approx \frac{\sqrt{P \cdot \mathfrak{R}_a}}{4,44 \cdot B \cdot f_u \cdot A}$$

$$N_p \approx 90 \cdot \frac{\sqrt{P \cdot \mathfrak{R}_a}}{A} \quad \text{per } f_u = 50 \text{ Hz e } B = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2$$

$$L_p \approx 0,16 \dots 0,2 \cdot \frac{\mathfrak{R}_a}{f_u}; \quad \text{per } f_u = 50 \text{ Hz diventa } L_p \approx 0,004 \cdot \mathfrak{R}_a$$

$$\delta \approx 0,4 \sqrt{A}$$

$$N_p \approx 3200 \cdot \sqrt{\frac{L_p \cdot \delta}{A}}; \quad \text{a } f_u = 50 \text{ Hz} \quad N_p \approx 200 \sqrt{\frac{\mathfrak{R}_a \cdot \delta}{A}}$$

- A sezione del ferro in cm^2
- P potenza nominale in W
- f_u frequenza di taglio inferiore in Hz
- N_p numero di avvolgimenti primari
- \mathfrak{R}_a resistenza di adattamento in Ω

B densità di flusso magnetico in Wb/cm^2
 L_p induttanza primaria in H
 δ lunghezza complessiva del traferro in mm

Traferro effettivo nella sezione- $M = 1 \cdot \delta$, nella sezione- $EI = \frac{\delta}{2}$

9.16 Adattamento degli altoparlanti

ALTOPARLANTE SINGOLO:

$$u_a = \sqrt{P \cdot R_a} = \frac{P}{S_a}$$

$$u_L = \sqrt{P \cdot Z_L} = \frac{P}{S_L}$$

$$\dot{u} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{u_a}{u_L} = \sqrt{\frac{R_a}{Z_L}} = \frac{S_L}{S_a}$$

$Z_L \approx R_L \cdot 1,25$ (Formola approssimativa)

$$Z_L = \frac{R_a}{\dot{u}^2}; R_a = \dot{u}^2 \cdot Z_L$$

$$N_p = N_s \cdot \dot{u}; N_s = \frac{N_p}{\dot{u}}$$

$$u_a = u_L \cdot \dot{u}; u_L = \frac{u_a}{\dot{u}}$$

$$S_a = \frac{S_L}{\dot{u}} = \frac{P}{u_a} = \sqrt{\frac{P}{R_a}}$$

$$S_L = S_a \cdot \dot{u} = \frac{P}{u_L} = \sqrt{\frac{P}{Z_L}}$$

A volume normale $P = 0,05 \text{ W} = 50 \text{ mW}$

$$u_a = \sqrt{0,05 \cdot R_a}$$

$$u_L = \sqrt{0,05 \cdot Z_L}$$

R_a resistenza esterna del diodo finale in Ω

R_L resistenza ohmica della bobina oscillante in Ω

Z_L impedenza della bobina oscillante a 1000 Hz in Ω

\dot{u} rapporto di trasformazione

N_p numero di avvolgimenti primari

N_s numero di avvolgimenti secondari

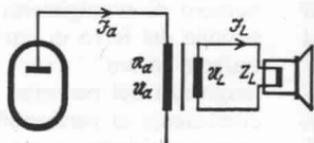


Fig. 102.

- P potenza vocale in W
 u_a tensione alternata anodica in V
 u_L tensione alla bobina oscillante in V
 \mathfrak{I}_a corrente alternata anodica in A
 \mathfrak{I}_L corrente nella bobina oscillante in A

9.17 Adattamento negli amplificatori di potenza

$$u_L = \sqrt{P_L \cdot Z_L}$$

$$\ddot{u} = \frac{100}{\sqrt{P_L \cdot Z_L}} = \frac{u_a}{u_L} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\mathfrak{R}_a = \frac{u_a^2}{P_a}; P_a \cdot \mathfrak{R}_a = 10\,000$$

$$N_s = \frac{N_p}{\ddot{u}} = N_p \cdot \frac{\sqrt{P_L \cdot Z_L}}{100} = \frac{N_p \cdot u_L}{100}$$

- u_a normalizzato con 100 V
 P_a potenza dell'amplificatore in W
 P_L potenza del singolo altoparlante in W
 \mathfrak{R}_a resistenza di uscita dell'amplificatore in Ω
 Z_L impedenza della bobina oscillante in Ω

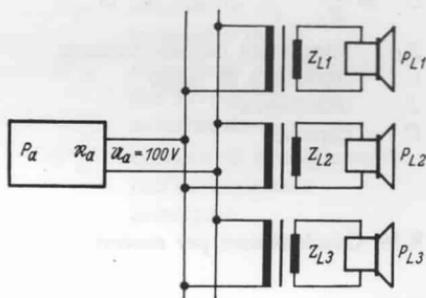
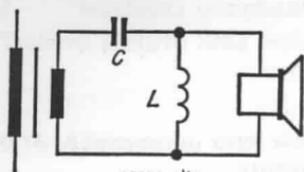


Fig. 103.

Condizione:

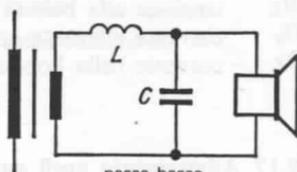
Tutti gli altoparlanti insieme devono prelevare la potenza dell'amplificatore.

9.18 Passa alto, passa basso per altoparlanti



passa alto

Fig. 104.



passa basso

Fig. 105.

$$X_L = X_C = Z_L$$

$$L = \frac{Z_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \text{ in H, } \Omega \text{ e Hz} \quad L = 0,159 \cdot \frac{Z_L}{f} \text{ in H, } \Omega \text{ e Hz}$$

$$C = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z_L} = \frac{159000}{f \cdot Z_L} \quad \text{in } \mu\text{F, Hz e } \Omega$$

per 1000 Hz di frequenza di taglio:

$$L = 0,159 \cdot Z_L \cdot 10^{-3} \quad \text{in H e } \Omega$$

$$C = \frac{159}{Z_L} \quad \text{in } \mu\text{F e } \Omega$$

Z_L impedenza dell'altoparlante

f frequenza di taglio

L induttanza

C capacità

9.19 Condensatori per motori

Per motori ad induzione a corrente alternata monofase

CONDENSATORE DI RIFASAMENTO

per campo rotante simmetrico

$$\text{ed } M_A \approx 0,5 \cdot M_B$$

$$C_B = \frac{P \cdot 10^6}{2 \cdot U^2 \cdot \eta \cdot \dot{u} \cdot \omega}$$

$$\dot{u} = \frac{W_A}{W_H}$$

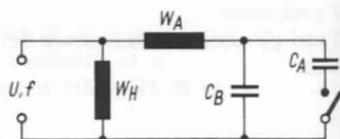


Fig. 106.

per 220 V e 50 Hz

$$C_B = \frac{P}{30,4 \cdot \eta \cdot \ddot{u}}$$

tensione in C_B al carico nominale

$$U_{CN} = U \sqrt{1 + \ddot{u}^2}$$

tensione in C_B nel funzionamento a vuoto

$$U_{CL} = 1,15 \cdot U_{CN} = 1,15 \cdot U \sqrt{1 + \ddot{u}^2}$$

CONDENSATORE DI AVVIAMENTO (disinseribile)

per $M_A \approx 3 \cdot M_B$

e $I_A \approx 4,5 \cdot I_B$

$$C_A \approx 3 \cdot C_B$$

C_B capacità mutua in μF
 C_A capacità di avviamento in μF

P potenza nominale del motore in W

U tensione di rete in V

f frequenza di rete in Hz

M_A momento di avviamento in kpm

M_B momento torcente di esercizio in kpm

I_A corrente di avviamento in A

I_B corrente (nominale) di esercizio in A

η rendimento del motore

\ddot{u} rapporto del numero di avvolgimenti dall'avvolgimento di avviamento all'avvolgimento principale

U_C tensione in C_B (maggiore di U)

W_A numero di avvolgimenti dell'avvolgimento di avviamento

W_H numero di avvolgimenti dell'avvolgimento principale

9.20 Circuito AND

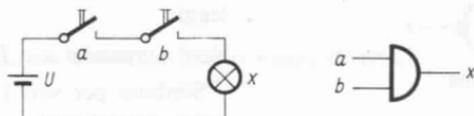


Fig. 107.

Esempio elettromeccanico:

La lampadina x si accende se vengono azionati gli interruttori a e (**AND**) b .

$$x = a \wedge b$$

leggi:

x quando a o b

\wedge Simbolo per "e"

9.21 Circuito OR

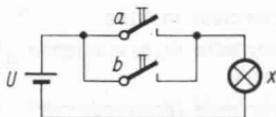


Fig. 108.

Esempio elettromeccanico:

La lampadina x si accende se si aziona l'interruttore a o (**OR**) l'interruttore b .

$$x = a \vee b$$

leggi:

x quando a o b

\vee Simbolo per OR

9.22 Circuito NAND

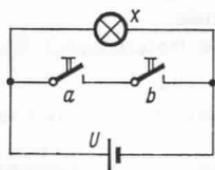


Fig. 109.

Esempio elettromeccanico:

La lampadina x non (**NOT**) si accende, se vengono azionati gli interruttori a e (**AND**) b .

$$\bar{x} = a \wedge b$$

leggi:

Non x quando a o b

\bar{x} Simbolo per NOT (negazione)

9.23 Circuito NOR

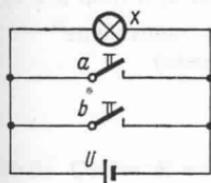


Fig. 110.

Esempio elettromeccanico:

La lampadina x non (NOT) si accende, se viene azionato l'interruttore a o (OR) l'interruttore b .

$$\bar{x} = a \vee b$$

leggi:

Non x se a o b

9.24 Circuito di equivalenza

L'uscita ha L, se le entrate hanno uguali valori.

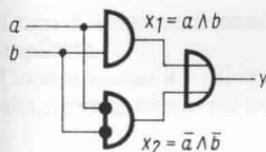


Fig. 111.

$$y = a \equiv b = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b})$$

leggi:

y quando a è equivalente a b uguale (a e b) o (non a e non b)

\equiv simbolo per "equivalente" (con lo stesso valore)

9.25 Circuito antivalente

L'uscita ha L, se le entrate hanno valori diversi.

$$y = a \neq b = (a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b)$$

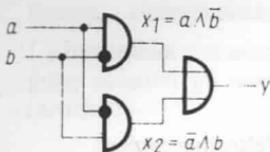


Fig. 112.

leggi:

y quando a è antivalente a b
 uguale (a e non b) o (non a e b)

\equiv simbolo per "antivalente"
 (di valore opposto)

10 Filtri

10.01 Carica di un condensatore; costante di tempo

$$u_C = U \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

$$\tau = C \cdot R$$

$$R = \frac{\tau}{C}; C = \frac{\tau}{R}$$

$$R = \frac{\tau}{C}; C = \frac{\tau}{R}$$

$$q_C = C \cdot u_C$$

$$q_C = C \cdot U \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

$$\exp x = e^x$$

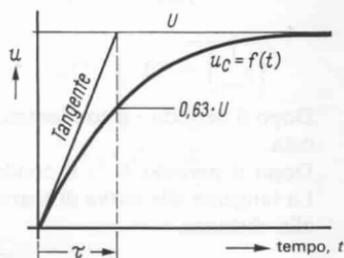


Fig. 113.

Dopo il tempo τ il condensatore è caricato dello 0,63 della tensione applicata.

Dopo il tempo $4 \cdot \tau$ il condensatore è caricato di $0,98 \cdot U$. La tangente alla curva di carico nel punto di uscita taglia la retta 100% alla distanza τ .

τ .

u_C valore istantaneo della tensione sul condensatore

U tensione continua applicata

t tempo dall'inizio della carica

τ costante di tempo della rete RC

C capacità

R resistenza

q_C quantità di elettricità nel condensatore al tempo t
in Coulomb

τ in s = C in F per R in Ω

τ in s = C in μF per R in $\text{M}\Omega$

τ in ms = C in μF per R in $\text{k}\Omega$

τ in ms = C in nF per R in $\text{M}\Omega$

τ in μs = C in nF per R in $\text{k}\Omega$

τ in μs = C in pF per R in $\text{M}\Omega$

10.02 Scarica di un condensatore

$$u_C = U \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

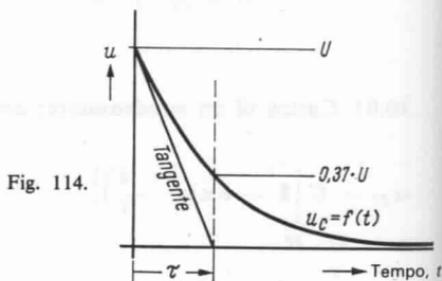
$$\exp x = e^x$$

$$\tau = C \cdot R$$

$$R = \frac{\tau}{C}; C = \frac{\tau}{R}$$

$$q_C = C \cdot u_C$$

$$q_C = C \cdot U \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$



Dopo il periodo τ il condensatore è scaricato di 0,37 della tensione applicata.

Dopo il periodo $4 \cdot \tau$ il condensatore è scaricato di $0,02 \cdot U$.

La tangente alla curva di scarica nel punto di uscita taglia la retta dello 0 alla distanza τ .

- u_C valore istantaneo della tensione sul condensatore
- U tensione del condensatore caricato
- t tempo dall'inizio della scarica
- τ costante di tempo nel circuito CR
- C capacità
- R resistenza
- q_C quantità di elettricità nel condensatore al tempo t in Coulomb

$$\tau \text{ in s} = C \text{ in F per } R \text{ in } \Omega$$

$$\tau \text{ in s} = C \text{ in } \mu\text{F per } R \text{ in } \text{M}\Omega$$

$$\tau \text{ in ms} = C \text{ in } \mu\text{F per } R \text{ in } \text{k}\Omega$$

$$\tau \text{ in ms} = C \text{ in nF per } R \text{ in } \text{M}\Omega$$

$$\tau \text{ in } \mu\text{s} = C \text{ in nF per } R \text{ in } \text{k}\Omega$$

$$\tau \text{ in } \mu\text{s} = C \text{ in pF per } R \text{ in } \text{M}\Omega$$

10.03 Rete RC

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{X_C}{Z}$$

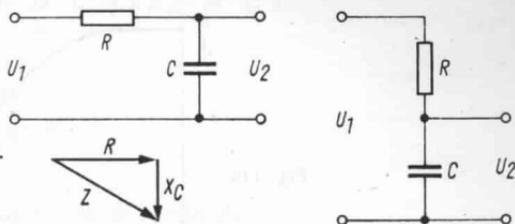


Fig. 115.

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{X_C}{Z} = U_1 \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{U_1}{\omega C \cdot \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{Z}{X_C} = U_2 \cdot \frac{\sqrt{R^2 + X_C^2}}{X_C} = U_2 \cdot \omega C \cdot \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} ; X_C = Z \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z}{s} ; \omega C = \frac{U_1}{U_2 \cdot Z} = \frac{s}{Z}$$

$$f = \frac{U_1}{U_2 \cdot 2\pi \cdot C \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} ; Z = X_C \cdot \frac{U_1}{U_2} = s \cdot X_C$$

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z}{X_C}$$

U_1 tensione alternata applicata in V

U_2 tensione parziale sul condensatore in V

R resistenza filtro in Ω

C capacità filtro in F

f frequenza della tensione alternata applicata in Hz

X_C reattanza efficace capacitiva in Ω

Z impedenza in Ω

s fattore filtro

10.04 Curva di conduzione della rete RC

banda passante: $f < f_g$

banda di soppressione: $f > f_g$

frequenza di taglio: f_g a $R = X_C$

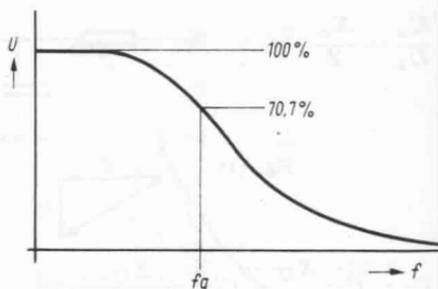


Fig. 116.

$$R = \frac{1}{\omega_g \cdot C} ; \quad \omega_g \cdot C \cdot R = 1 ; \quad \omega_g = \frac{1}{C \cdot R}$$

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

Tensione di uscita alla frequenza limite
(per $R = X_C$)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{X_C}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + R^2}} = \frac{R}{\sqrt{2} R^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

$$U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_1$$

$$U_1 = \sqrt{2} \cdot U_2 = 1,414 \cdot U_2$$

f frequenza della tensione alternata applicata in Hz

f_g frequenza di taglio in Hz

R resistenza filtro in Ω

C capacità filtro in F

X_C reattanza efficace capacitiva in Ω

U_1 tensione alternata applicata in V

U_2 tensione parziale sul condensatore in V

Z induttanza in Ω

10.05 Fattore filtro della rete RC

Premessa: $X_C \ll R$

poi vale

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{R}{X_C} = \omega \cdot R \cdot C = 2\pi f \cdot R \cdot C$$

$$U_2 = \frac{U_1}{s} = \frac{U_1}{\omega \cdot R \cdot C}$$

$$U_1 = s \cdot U_2 = U_2 \cdot \omega \cdot R \cdot C$$

per $f = 50$ Hz (rettificazione di semionda):

$$s = \omega \cdot R \cdot C = 2\pi \cdot 50 \cdot R \cdot C = 314 \cdot R \cdot C$$

per R in $k\Omega$ e C in μF :

$$s = \mathbf{0,314} \cdot R \cdot C$$

$$R = \frac{s}{0,314 \cdot C}; \quad C = \frac{s}{0,314 \cdot R}$$

per $f = 100$ Hz (rettificazione di onda intera):

$$s = \omega \cdot R \cdot C = 2\pi \cdot 100 \cdot R \cdot C = 628 \cdot R \cdot C$$

per R in $k\Omega$ e C in μF :

$$s = \mathbf{0,628} \cdot R \cdot C$$

$$R = \frac{s}{0,628 \cdot C}; \quad C = \frac{s}{0,628 \cdot R}$$

R resistenza filtro in Ω oppure $k\Omega$

C capacit  filtro in F o μF

X_C reattanza efficace capacitiva in Ω

f frequenza della tensione alternata applicata in Hz

U_1 tensione alternata in V

U_2 tensione parziale sul condensatore in V

s fattore filtro

10.06 Frequenza limite inferiore nell'accoppiamento RC

$$f_u = \frac{159\,000}{C_k \cdot R_g} \quad \text{in Hz, pF e } M\Omega$$

$$f_u = \frac{159}{C_k \cdot R_g} \quad \text{in Hz, nF e } M\Omega$$

$$C_k = \frac{159}{f_u \cdot R_g} \quad \text{in Hz, nF e } M\Omega$$

(vale per uno stadio!)

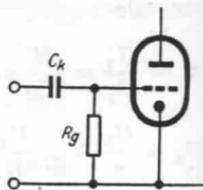


Fig. 117.

f_u frequenza limite inferiore in Hz (caduta al 70% della tensione)

C_k condensatore di accoppiamento in pF, nF
 R_g resistenza di griglia (di griglia) in $M\Omega$

10.07 Rete LC

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{X_C}{Z}$$

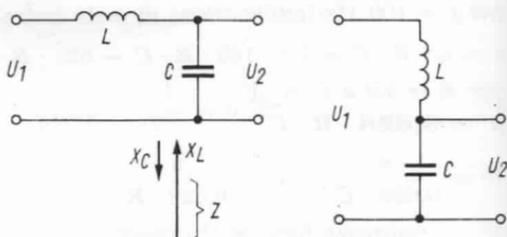


Fig. 118.

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{X_C}{Z} = U_1 \cdot \frac{X_C}{X_L - X_C} = U_1 \cdot \frac{1}{\omega L - \frac{1}{\omega C}} =$$

$$= \frac{U_1}{\omega C \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} = \frac{U_1}{\omega^2 LC - 1}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{Z}{X_C} = U_2 \cdot \frac{X_L - X_C}{X_C} = U_2 \cdot (\omega^2 \cdot L \cdot C - 1)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}; \quad X_C = Z \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z}{s}; \quad \omega C = \frac{U_1}{U_2 \cdot Z} = \frac{s}{Z}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L,$$

$$f = \frac{U_1}{U_2 \cdot 2\pi \cdot C \cdot Z}$$

$$Z = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}; \quad Z = X_C \cdot \frac{U_1}{U_2} = s \cdot X_C$$

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z}{X_C}$$

U_1 tensione alternata applicata in V

U_2 tensione parziale sul condensatore in V

L induttanza filtro in H

C capacità filtro in F

f frequenza della tensione alternata applicata in Hz

X_L reattanza efficace induttiva in Ω

X_C reattanza efficace capacitiva in Ω

Z impedenza in Ω

s fattore filtro

10.08 Frequenza limite della rete LC

banda passante: $f < f_g$

banda d'interdizione: $f > f_g$

Premessa necessaria è l'esatto adattamento, cioè:

$$Z_e = Z_a = Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

La frequenza limite è la frequenza di risonanza per L e C :

$$f_g = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

$$l. = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_g}$$

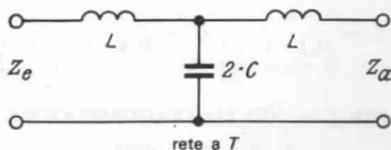


Fig. 119.

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_g \cdot Z}$$

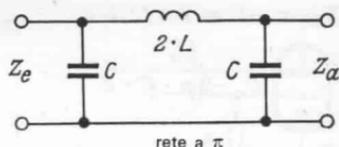


Fig. 120.

Le stesse formule valgono per una rete a T con 2 singole bobine, ognuna di L Henry ed un condensatore di $2 \cdot C$ Farad e per una rete a π con una bobina di $2 \cdot L$ e due singoli condensatori ognuno di C .

Z_e resistenza di entrata in Ω
 Z_a resistenza di uscita in Ω
 L induttanza filtro in H

C capacità filtro in F
 f_g frequenza limite in Hz

10.09 Fattore filtro della rete LC

Premesso che $X_C \ll X_L$
 vale poi

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{X_L}{X_C} = \frac{\omega L}{\frac{1}{\omega C}} = \omega^2 \cdot L \cdot C$$

$$U_2 = \frac{U_1}{s} = \frac{U_1}{\omega^2 \cdot L \cdot C}$$

$$U_1 = s \cdot U_2 = U_2 \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C$$

PER $f = 50$ Hz (RADDRIZZATORE DI SEMIONDA)

$$s = \omega^2 \cdot L \cdot C = 314^2 \cdot L \cdot C = 98696 \cdot L \cdot C \approx 10^5 \cdot L \cdot C$$

per L in H e C in μF :

$$s = 0,1 \cdot L \cdot C$$

$$L = \frac{s}{0,1 \cdot C}; \quad C = \frac{s}{0,1 \cdot L}$$

PER $f = 100$ Hz (RADDRIZZATORE DI ONDA INTERA):

$$s = \omega^2 \cdot L \cdot C = 628^2 \cdot L \cdot C = 394784 \cdot L \cdot C \approx 4 \cdot 10^5 \cdot L \cdot C$$

per L in H e C in μF

$$s = 0,4 \cdot L \cdot C$$

$$L = \frac{s}{0,4 \cdot C} ; C = \frac{s}{0,4 \cdot L}$$

L induttanza filtro in H

C capacità filtro in F o μF

X_L reattanza induttiva efficace in Ω

X_C reattanza efficace capacitiva in Ω

f frequenza della tensione alternata applicata in Hz

U_1 tensione alternata applicata in V

U_2 tensione parziale sul condensatore in V

s fattore filtro

10.10 Rete CR

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R}{Z}$$

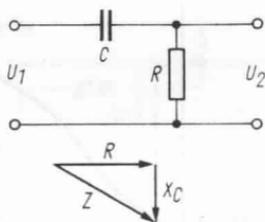
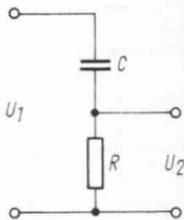


Fig. 121.



$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R}{Z} = \frac{U_1 \cdot R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{U_1 \cdot R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{Z}{R} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2}}{R} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}{R}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} ; Z = R \cdot \frac{U_1}{U_2} = s \cdot R$$

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z}{R}$$

U_1	tensione alternata applicata in V
U_2	tensione parziale sulla resistenza in V
C	capacità filtro in F
R	resistenza filtro in Ω
f	frequenza della tensione alternata applicata in Hz
X_C	reattanza efficace capacitiva in Ω
Z	impedenza in Ω
s	fattore filtro

10.11 Curva di conduzione della rete CR

banda passante: $f > f_g$

banda d'interdizione: $f < f_g$

frequenza limite: f_g bei $X_C = R$

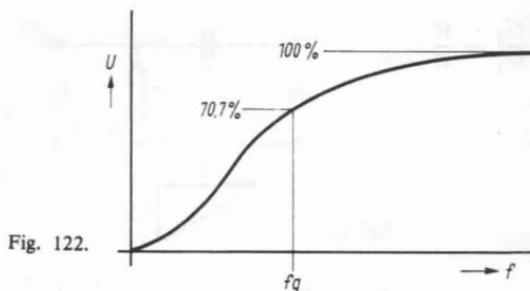


Fig. 122.

$$\frac{1}{\omega_g \cdot C} = R ; \omega_g \cdot C \cdot R = 1 ; \omega_g = \frac{1}{C \cdot R}$$

$$f_g = \frac{1}{2 \pi \cdot R \cdot C}$$

TENSIONE DI USCITA ALLA FREQUENZA LIMITE (per $X_C = R$)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + R^2}} = \frac{R}{\sqrt{2} R^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

$$U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_1$$

$$U_1 = \sqrt{2} \cdot U_2 = 1,414 \cdot U_2$$

f	frequenza della tensione alternata applicata in Hz
f_g	frequenza limite in Hz
C	capacità filtro in F
R	resistenza filtro in Ω
X_C	reattanza efficace capacitiva in Ω
U_1	tensione alternata applicata in V
U_2	tensione parziale sulla resistenza in V
Z	impedenza in Ω

10.12 Rete CL

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{X_L}{Z}$$

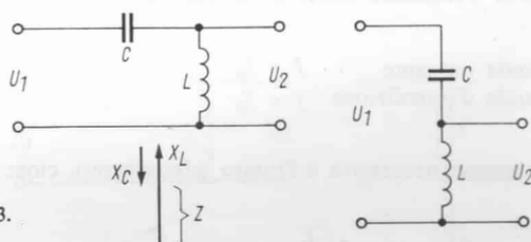


Fig. 123.

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{X_L}{Z} = U_1 \cdot \frac{X_L}{X_L - X_C} = U_1 \cdot \frac{\omega L}{\omega L - \frac{1}{\omega C}}$$

$$U_1 = U_2 \frac{Z}{X_L} = U_2 \cdot \frac{X_L - X_C}{X_L} = U_2 \cdot \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{\omega L}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L; \quad X_L = Z \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z}{s}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C}; \quad X_C = X_L - Z$$

$$Z = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}; \quad Z = X_L \cdot \frac{U_1}{U_2} = s \cdot X_L$$

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z}{X_L}$$

U_1	tensione alternata applicata in V
U_2	tensione parziale sull'induttanza in V
C	capacità filtro in F
L	induttanza filtro in H
f	frequenza della tensione alternata applicata in Hz
X_C	reattanza efficace capacitiva in Ω
X_L	reattanza efficace induttiva in Ω
Z	impedenza in Ω
s	fattore filtro

10.13 Frequenza limite della rete CL

banda passante	$f > f_g$
banda d'interdizione	$f < f_g$

Premessa necessaria è l'esatto adattamento, cioè:

$$Z_e = Z_a = Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

La frequenza limite è la frequenza di risonanza per L e C .

$$f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

$$L = \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_g}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_g \cdot Z}$$

Le stesse formule valgono per una rete a T con due condensatori ognuno di C farad ed una bobina con $L/2$ henry e per una rete a π con un condensatore di $C/2$ e due bobine ognuna di L .

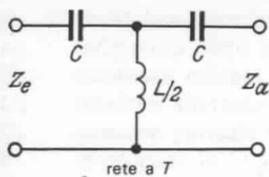


Fig. 124.

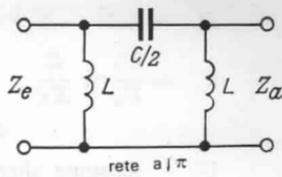


Fig. 125.

Z_e resistenza di entrata in Ω
 Z_a resistenza di uscita in Ω
 L induttanza filtro in H

C capacità filtro in F
 f_y frequenza limite in Hz

10.14 Rete RL

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{X_L}{Z}$$

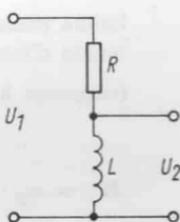
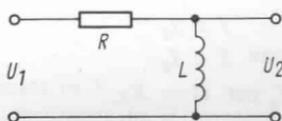
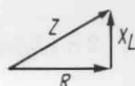


Fig. 126.



$$U_2 = U_1 \cdot \frac{X_L}{Z} = U_1 \cdot \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U_1 \cdot \omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{Z}{X_L} = U_2 \cdot \frac{\sqrt{R^2 + X_L^2}}{X_L} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{\omega L}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L ; \quad X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$X_L = Z \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z}{s}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} ; \quad Z = X_L \cdot \frac{U_1}{U_2} = s \cdot X_L$$

$$R = \sqrt{Z^2 - X_L^2} = \sqrt{Z^2 - (\omega L)^2}$$

$$s = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z}{X_L}$$

- U_1 tensione alternata applicata in V
 U_2 tensione parziale sull'induttanza in V
 R resistenza filtro in Ω
 L induttanza filtro in H
 f frequenza della tensione alternata applicata in Hz
 X_L reattanza efficace induttiva in Ω
 Z impedenza in Ω
 s fattore filtro

10.15 Curva di conduzione della rete RL

banda passante $f > f_g$

banda d'interdizione $f < f_g$

frequenza limite f_g per $R = X_L$

$$R = \omega_g \cdot L ; \omega_g = \frac{R}{L} ; 2\pi \cdot f_g = \frac{R}{L}$$

$$f_g = \frac{R}{2\pi \cdot L}$$

TENSIONE DI USCITA ALLA FREQUENZA LIMITE
(per $R = X_L$)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{X_L}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + R^2}} = \frac{R}{\sqrt{2} R} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

$$U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_1$$

$$U_1 = \sqrt{2} \cdot U_2 = 1,414 \cdot U_2$$

- f frequenza della tensione alternata applicata in Hz
 f_g frequenza limite in Hz

- R resistenza filtro in Ω
- L induttanza filtro in H
- X_L reattanza efficace induttiva in Ω
- U_1 tensione alternata applicata in V
- U_2 tensione parziale sull'induttanza in V
- Z impedenza in Ω

10.16 Differenziatore

Premessa:

$$\tau \ll T$$

$$U_2 = R \cdot C \cdot \frac{dU}{dt} ; R \cdot C = \tau$$

$$U_2 = \tau \cdot \frac{dU}{dt}$$

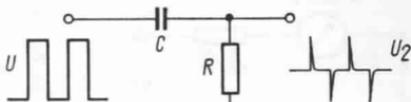


Fig. 127.

- U tensione applicata in V
- U_2 tensione sulla resistenza in V
- R resistenza in Ω
- C capacità in F
- τ costante di tempo in s
- T periodo in s

10.17 Integratore

Premessa

$$\tau \gg T$$

$$U_2 = \frac{1}{R \cdot C} \int U \cdot dt ; R \cdot C = \tau$$

$$U_2 = \frac{1}{\tau} \int U \cdot dt$$

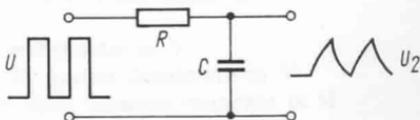


Fig. 128.

U	tensione applicata in V
U_2	tensione sul condensatore in V
R	resistenza in Ω
C	capacità in F
τ	costante di tempo in s
T	periodo in s

11 Misurazioni

11.01 Campi di misura della tensione

$$R_i = \frac{U_i}{I_i}; \quad I_i = \frac{U_i}{R_i}; \quad U_i = I_i \cdot R_i$$

$$R_i = E \cdot U_i; \quad I_i = \frac{1}{E}; \quad U_i = \frac{R_i}{E}$$

$$E = \frac{R_i}{U_i} = \frac{1}{I_i} = \frac{R_g}{U_g}$$

$$U_g = R_g \cdot I_i = \frac{R_g}{E} = U_v + U_i$$

$$R_g = \frac{U_g}{I_i} = U_g \cdot E = R_v + R_i$$

$$U_v = R_v \cdot I_i = U_g - U_i = \frac{R_v}{E}$$

$$R_v = \frac{U_v}{I_i} = R_g - R_i = \frac{U_g - U_i}{I_i} = E \cdot U_g - R_i = \frac{U_g}{I_i} - R_i$$

$$n = \frac{U_g}{U_i} = \frac{R_i + R_v}{R_i}; \quad U_g = U_i \frac{R_i + R_v}{R_i} = U_i \cdot n$$

$$R_v = (n - 1) \cdot R_i = E (U_g - U_i)$$

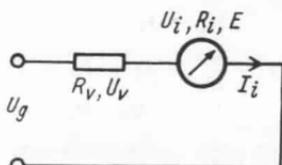


Fig. 129.

- U_i tensione sul sistema con fondo scala in V
- I_i corrente attraverso il sistema con fondo scala in A
- R_i resistenza interna del sistema di misurazione in Ω
- R_v resistenza addizionale in Ω
- U_v tensione sulla resistenza addizionale in V
- U_g tensione totale = campo di misura desiderato in V
- R_g resistenza totale = carico della tensione misurata in Ω
- E sensibilità in Ω/V
- n fattore di moltiplicazione

11.02 Campi di misura della corrente

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = E \cdot U_i$$

$$I_i = \frac{U_i}{R_i} = \frac{1}{E}$$

$$U_i = I_i \cdot R_i = \frac{R_i}{E}$$

$$E = \frac{R_i}{U_i} = \frac{1}{I_i}$$

$$I_g = \frac{U_i}{R_g} = I_i + I_n = I_i \frac{R_i + R_n}{R_n}$$

$$R_g = \frac{U_i}{I_g} = \frac{R_n \cdot R_i}{R_n + R_i}$$

$$I_n = \frac{U_i}{R_n} = I_g - I_i = I_g - \frac{1}{E} = U_i \left[\frac{1}{R_g} - \frac{1}{R_i} \right]$$

$$R_n = \frac{U_i}{I_n} = \frac{R_i \cdot R_g}{R_i - R_g} = \frac{U_i}{I_g - I_i} = \frac{R_i \cdot I_i}{I_g - I_i}$$

$$n = \frac{I_g}{I_i} = \frac{R_i}{R_g}; \quad R_n = \frac{R_i}{n-1}$$

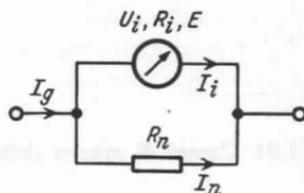


Fig. 130.

I_n	corrente attraverso la resistenza in parallelo in A
I_g	corrente totale = campo di misura desiderato in A
R_g	resistenza in parallelo in Ω
U_i	tensione sul sistema con fondo scala in V
I_i	corrente attraverso il sistema con fondo scala in A
R_i	resistenza interna del sistema in Ω
E	sensibilità in Ω/V
R_n	resistenza totale in Ω
n	fattore di moltiplicazione

11.03 Errore di lettura negli strumenti di misura

$$F = \frac{B \cdot G}{100} \quad G = \frac{F \cdot 100}{B}$$

$$p = \frac{F \cdot 100}{a} = \frac{B \cdot G}{a} \text{ in } \text{‰}; \quad F = \frac{a \cdot p}{100}$$

- G* classe di precisione
B valore di fondo scala
a valore indicato
F grandezza dell'errore
p errore in percentuale di *a*

Classi di precisione normalizzate:

0,1	}	Errore percentuale, riferito al valore di fondo scala.
0,2		
0,5		
1,0		
1,5		
2,5		

11.04 Determinazione della resistenza attraverso misurazioni della corrente e della tensione

- a) Circuito per la misurazione di resistenze alte (Fig. 131):
 Il misuratore di tensione indica un valore troppo alto, e precisamente maggiore dell'ammontare della caduta di tensione sullo strumento di misura della corrente.

$$\text{Formula di correzione: } R_x = \frac{U - U_a}{I} = \frac{U - I \cdot R_a}{I}$$

La correzione non è necessaria se R_x è grande rispetto a R_a .

$$R_x = \frac{U}{I}$$

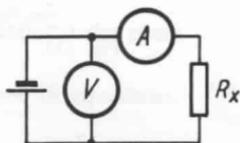


Fig. 131.

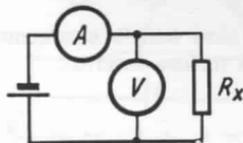


Fig. 132.

- b) Circuito per la misurazione di resistenze basse (Fig. 132):
 L'ampmetro indica valori troppo alti, e precisamente dell'importo dell'assorbimento di corrente del voltmetro.

Formula di correzione:
$$R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

La correzione non è necessaria, se R_x è piccola in confronto a R_v ,

$$R_x = \frac{U}{I}$$

R_x	resistenza da determinare in Ω
U	tensione indicata in V
I	corrente indicata in A
U_a	caduta di tensione sull'amperometro in V
R_a	resistenza totale dell'amperometro in Ω
I_v	assorbimento di corrente del voltmetro in A
R_v	resistenza totale del voltmetro in Ω

11.05 Misurazioni sui divisori di tensione

a) Valori effettivi, senza strumento di misura inserito:

$$I_g = \frac{U_g}{R_g} = \frac{U_g}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = I_g = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = U_g - U_2$$

$$U_2 = I_1 \cdot R_2 = U_g - U_1$$

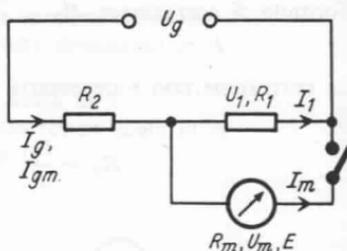


Fig. 133.

b) Valori con lo strumento di misura inserito:

$$I_{gm} = I_g + I_m = \frac{U_g}{R_{1m} + R_2}$$

$$I_1 = I_{gm} - I_m = \frac{U_m}{R_1}$$

$$U_2 = I_{gm} \cdot R_2 = U_g - U_m$$

$$U_m = I_m \cdot R_m = (I_{gm} - I_m) R_1 = I_{gm} \cdot R_{1m} = I_{gm} \cdot \frac{R_1 \cdot R_m}{R_1 + R_m}$$

$$R_{1m} = \frac{R_1 \cdot R_m}{R_1 + R_m}$$

$$U_m = \frac{U_g \cdot R_{1m}}{R_{1m} + R_2}$$

U_g	tensione totale in V
I_g	corrente totale senza strumento di misura in A
I_{gm}	corrente totale durante la misurazione in A
R_1	resistenza parziale, su cui si misura, in Ω
R_2	seconda resistenza parziale in Ω
I_1	corrente attraverso R_1 in A
I_m	corrente attraverso lo strumento in A
R_m	resistenza dello strumento in Ω
U_m	tensione misurata in V
E	sensibilità in Ω/V
U_1	tensione su R_1 senza strumento in V
U_2	tensione su R_2 in V
R_{1m}	resistenza combinata di R_1 e R_m in Ω

11.06 Misurazioni di ponti

$$R_x = R_v \cdot \frac{a}{b}$$

$$L_x = L_v \cdot \frac{a}{b}$$

$$C_x = C_v \cdot \frac{a}{b}$$

(Collegamento di C_v e C_x scambiato rispetto a R_v e R_x)

$\frac{a}{b}$ = rapporto dei ponti

condizione di equilibrio: $\frac{R_x}{R_v} = \frac{a}{b}$

R_x	resistenza da determinare
C_x	capacità da determinare
L_x	induttanza da determinare
R_v	resistenza di confronto
C_v	capacità di confronto
L_v	induttanza di confronto

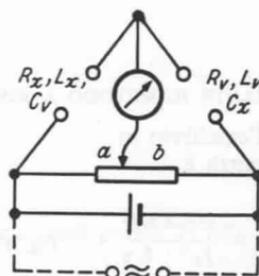


Fig. 134.

a resistenza parziale a sinistra
 b resistenza parziale a destra

11.07 Misurazione della capacità

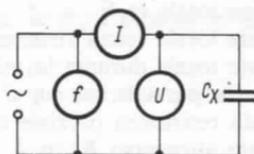
MEDIANTE MISURAZIONE DI CORRENTE E TENSIONE in tensione alternata
per

$$C_X = \frac{159}{f} \cdot \frac{I}{U}$$

a $f = 50 \text{ Hz}$

$$C_X = \frac{3,18 \cdot I}{U}$$

Fig. 135.



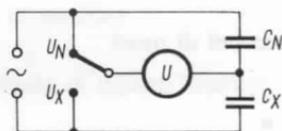
C_X capacità da determinare in μF
 f frequenza in Hz
 U tensione in V
 I corrente in mA

MEDIANTE CONFRONTO DI TENSIONI con capacità normale:

$$\frac{C_X}{C_N} = \frac{U_N}{U_X}$$

$$C_X = \frac{C_N \cdot U_N}{U_X}$$

Fig. 136.



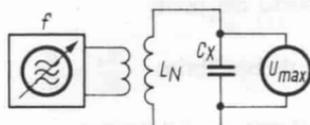
C_X capacità da determinare
 C_N capacità normale
 U_X tensione in C_X
 U_N tensione in C_N

MEDIANTE IL METODO A RISONANZA:

Per l'equilibrio in
risonanza è:

$$C_X = \frac{25330}{f_r^2 \cdot L_N}$$

Fig. 137.



C_X capacità da determinare in nF
 f_r frequenza di risonanza in kHz
 L_N induttanza normale in mH
 (o anche in F, Hz e H)

MEDIANTE MISURAZIONI SUI PONTI (vedi anche 11.06)

$$\frac{C_X}{C_N} = \frac{a}{b}$$

$$C_X = C_N \cdot \frac{a}{b}$$

11.08 Misurazione dell'induttanza

Mediante due MISURAZIONI DI CORRENTE E DI TENSIONE

a) con corrente continua	R	resistenza ohmica in Ω
$R = \frac{U_g}{I_g}$	U_g	tensione continua in V
	I_g	corrente continua in A

b) con corrente alternata	Z	impedenza in Ω
$Z = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}}$	U_{\sim}	tensione alternata in V
	I_{\sim}	corrente alternata in A
$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$	ω	$2\pi f =$ frequenza del circuito
$L_X = \frac{X_L}{\omega}$	L_X	induttanza da determinare
	X_L	reattanza efficace induttiva in Ω

se $Z > 10 \cdot R$, allora è

$$L_X = \frac{Z}{\omega} = \frac{U}{\omega \cdot I}$$

MEDIANTE IL PROCEDIMENTO A RISONANZA (vedi anche 11.07)

Nel caso di equilibrio in risonanza è:

$$L_X = \frac{25330}{f_r^2 \cdot C_N}$$

C_N capacità normale in nF
 fr frequenza di risonanza in kHz
 L_X induttanza da determinare in mH
 (o anche in H, Hz e μ F)
 o in μ H, MHz e pF

MEDIANTE MISURAZIONI DI PONTI (vedi anche 11.06)

$$\frac{L_X}{L_N} = \frac{a}{b}$$

$$L_X = L_N \cdot \frac{a}{b}$$

11.09 Misurazione dello smorzamento

$$a = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} \quad \text{in dB}$$

$$a = 20 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} \quad \text{in dB}$$

$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \quad \text{in dB}$$

$$a = \ln \frac{U_1}{U_2} \quad \text{in Np}$$

$$a = \ln \frac{I_1}{I_2} \quad \text{in Np}$$

$$a = 0,5 \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \text{in Np}$$

Rapporto di tensione
o di corrente

20 dB $\hat{=}$ 1:10

40 dB $\hat{=}$ 1:100

60 dB $\hat{=}$ 1:1000

80 dB $\hat{=}$ 1:10000

100 dB $\hat{=}$ 1:100000

120 dB $\hat{=}$ 1:1000000

10 dB $\hat{=}$ 1 Bel

$$1 \text{ dB} = 0,1151 \text{ Np} ; \quad 1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB}$$

a smorzamento (o amplificazione)

dB decibel

Np neper

U_1 tensione di entrata

U_2 tensione di uscita

I_1, I_2 corrente all'entrata e all'uscita

P_1, P_2 potenza all'entrata e all'uscita

11.10 Disco stroboscopico

$$n = \frac{f_b \cdot 60}{z} \quad \text{in U/min}$$

$$z = \frac{f_b \cdot 60}{n}$$

Negli oscilloscopi a tubo con due elettrodi visibili: f_b = due volte la frequenza di rete.

f_b numero dei flash al secondo

z numero dei segmenti

n numero di giri al minuto

12 Acustica

12.01 Lunghezza delle onde acustiche

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}; \quad c = f \cdot \lambda$$

λ lunghezza dell'onda acustica in m

c velocità del suono in m/s

f frequenza acustica in Hz

nell'aria $c \approx 343$ m/s a $+20$ °C e 1013,25 mbar

nell'acqua $c \approx 1470$ m/s a $+20$ °C

nel cemento $c \approx 1660$ m/s

nel ferro $c \approx 5100$ m/s

12.02 Pressione acustica

$$p = v \cdot z$$

$$v = \frac{p}{z}; \quad z = \frac{p}{v}$$

$$z = c \cdot \rho \cdot \cos \varphi \quad \tan \varphi = \frac{\lambda}{2 \pi r}$$

p pressione acustica in μbar $1 \mu\text{bar} = 0,1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}^2}$

v velocità acustica in cm/s

z impedenza acustica caratteristica in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$

c velocità del suono in cm/s

ρ densità in g/cm^3

- φ angolo di sfasamento tra p e v
 λ lunghezza dell'onda acustica in m
 r distanza dalla sorgente acustica in m
(per un'onda piana è $\cos \varphi = 1$)

12.03 Livello di pressione acustica

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} = 20 \cdot \lg (5000 \cdot p)$$

L livello di pressione acustica in dB (decibel)

p pressione acustica in μbar

p_0 pressione acustica di riferimento normalizzata

$p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar} = 1/5000 \mu\text{bar}$

12.04 Volume

$$A = 20 \cdot \lg \frac{\tilde{p}}{\tilde{p}_0}$$

A (lambda maiuscolo) volume in phon

\tilde{p} pressione acustica di frequenza a piacere in μbar

\tilde{p}_0 pressione acustica di riferimento = $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$

Il volume viene stabilito mediante confronto acustico con il suono normalizzato di 1000 Hz.

A $f = 1000$ Hz il valore del livello della pressione acustica corrisponde ai valori in phon.

$1 \mu\text{bar} \hat{=} 74$ phon a 1000 Hz

12.05 Trasmettitore di suoni (altoparlante)

Fattore di trasmissione elettroacustica per trasmettitori

$$B_s = \frac{p_r}{U}$$

Misura di trasmissione elettroacustica per trasmettitori

$$G_s = 20 \cdot \lg \frac{B_s}{B_{s0}}$$

- p_r pressione acustica nell'asse a distanza di 1 m in μbar
 U valore reale della tensione alternata applicata all'altoparlante in V
 B_s fattore di trasmissione elettroacustica in $\mu\text{bar/V}$
 B_{s0} (BS zero) valore di riferimento; $B_{s0} = 1 \mu\text{bar/V}$
 G_s misura di trasmissione elettroacustica in dB

12.06 Sensibilità degli altoparlanti

$$\bar{E}_k = \bar{B}_s \cdot \sqrt{Z} \cdot \frac{r}{r_0}$$

- \bar{E}_k sensibilità caratteristica in $\mu\text{bar}/\sqrt{\text{VA}}$
fattore di trasmissione per la radice dell'impedenza riferita alla distanza $r_0 = 1 \text{ m}$
 \bar{B}_s valore medio del fattore di trasmissione per una gamma di frequenza (preferibilmente 0,25 - 4 kHz) in $\mu\text{bar/V}$
 Z impedenza dell'altoparlante in Ω
 r distanza del punto in cui si effettua la misurazione dall'altoparlante in m

12.07 Raggio di azione degli altoparlanti

$$r = \frac{E_k}{B_s \cdot \sqrt{Z}} = \frac{E_k \cdot \sqrt{P}}{p}$$

- r raggio di azione per la pressione acustica desiderata in m
 E_k sensibilità caratteristica in $\mu\text{bar}/\sqrt{\text{VA}}$
 B_s fattore di trasmissione in $\mu\text{bar/V}$
 Z impedenza dell'altoparlante in Ω
 P potenza elettrica apparente assorbita in VA
 p pressione acustica desiderata in μbar

12.08 Ricevitori acustici (microfoni)

fattore di trasmissione elettroacustica per ricevitori

$$B_E = \frac{U}{p_r}$$

misura di trasmissione elettroacustica per ricevitori

$$G_E = 20 \cdot \lg \frac{B_E}{B_{E_0}}$$

p_r pressione acustica nell'asse a distanza di 1 m in μbar

U valore reale della tensione alternata prodotta al microfono in V

B_E fattore di trasmissione elettroacustica in $\text{V}/\mu\text{bar}$

B_{E_0} (BE zero) valore di riferimento; $B_{E_0} = 1 \text{ V}/\mu\text{bar}$

G_E misura di trasmissione elettroacustica in dB

12.09 Sensibilità dei microfoni

$$E_M = \frac{\sqrt{P}}{p}$$

E_M sensibilità del microfono in $\sqrt{\text{VA}}/\mu\text{bar}$

P potenza elettrica apparente applicata in VA

p pressione acustica in μbar

12.10 Riproduzione stereofonica

$$S = L + R$$

$$D = L - R$$

$$S + D = L + R + L - R = 2L$$

$$S - D = L + R - L + R = 2R$$

S segnale somma

D segnale differenza

L segnale sinistro
R segnale destro

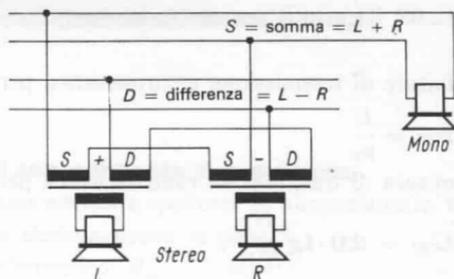


Fig. 138.

12.11 Radio stereo

$$f_M = 30 \text{ Hz} \dots 15 \text{ kHz}$$

$$f_H = 38 \text{ kHz}$$

$$f_S = f_H \pm f_M$$

$$f_{So} = f_H + f_M = 38,03 \dots 53 \text{ kHz}$$

$$f_{Su} = f_H - f_M = 23 \dots 37,97 \text{ kHz}$$

f_M frequenza del segnale principale (somma, mono)

f_H frequenza della portante ausiliaria

f_S frequenza aggiuntiva stereofonica

f_{Su} banda laterale inferiore

f_{So} banda laterale superiore

12.12 Quadrifonia

Sistema matriciale SQ (4 microfoni, 2 canali di trasmissione, 4 altoparlanti: sistema 4-2-4).

Segnali di trasmissione codificati, contemporaneamente segnali stereo

$$LK = ALV + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (ARH - jALH)$$

$$RK = ARV + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (jARH - ALH)$$

Segnali di riproduzione per quadrifonia

$$WLW = ALV + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (ARH - jALH) = LK$$

$$WRV = ARV + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (jARH - ALH) = RK$$

$$WLH = ALH + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (jALV - ARV) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (j \cdot LK - RK)$$

$$WRH = ARH + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (ALV - jARV) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} (LK - j \cdot RK)$$

L sinistro

R destro

V davanti

H dietro

SQ stereo-quadrifonia

A segnali di ricezione

W segnali di riproduzione

K segnali di trasmissione codificati

13 Luce, colore, fotoelettronica

13.01 Lunghezza delle onde luminose

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f} \text{ in m e Hz}$$

$$\lambda = \frac{300\,000}{f} \text{ in nm e THz}$$

$$f = \frac{300\,000}{\lambda} \text{ in THz e nm}$$

$$1 \text{ Terahertz} = 1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$$

$$1 \text{ Nanometro} = 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

λ lunghezza dell'onda luminosa

f frequenza della luce

c velocità della luce

c nel vuoto = $2,997925 \cdot 10^8$ m/s

$c \approx 300\,000$ km/s

λ in precedenza misurata anche in Å, Ångstrom

$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-1} \text{ nm}$

LUCE VISIBILE

limite di frequenza inferiore:

rosso: $\lambda = 780 \text{ nm}$; $f = 385 \text{ THz}$;

media frequenza:

verde: $\lambda = 555 \text{ nm}$; $f = 790 \text{ THz}$;

frequenza superiore:

violetto: $\lambda = 380 \text{ nm}$; $f = 790 \text{ THz}$;

$\lambda > 780 \text{ nm}$: infrarosso, IR

$\lambda < 380 \text{ nm}$: ultravioletto, UV

13.02 Corrente luce, intensità e quantità di luce

CORRENTE LUCE

$$\Phi = I \cdot \omega \quad \text{in lm}$$

$$\omega = 4 \pi \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

INTENSITÀ LUMINOSA

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \text{in cd}$$

QUANTITÀ DI LUCE

$$Q = \Phi \cdot t \quad \text{in lmh}$$

Φ corrente luce in lumen (lm)

I intensità luminosa in candele (cd)

ω angolo solido in steradiani (sr)

(angolo solido intero = 4π)

α angolo di apertura del cono luminoso

Q quantità di luce in lumen all'ora (lmh) o lms

t tempo in ore (h) o secondi (s)

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$$

$$1 \text{ cd} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$$

13.03 Illuminamento e quantità di illuminamento

ILLUMINAMENTO

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I}{r^2} \quad \text{in lx}$$

nel caso di illuminamento obliquo con angolo φ rispetto all'asse verticale

$$E = \frac{I \cdot \cos \varphi}{r^2} \quad \text{in lx}$$

$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

$$10^4 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{cm}^2}$$

QUANTITÀ DI ILLUMINAMENTO

$$H = E \cdot t \quad \text{in lx s}$$

E illuminamento in lux (lx)

Φ corrente luce in lumen (lm)

A superficie illuminata in m^2 o cm^2

r distanza dalla sorgente luminosa in m

φ angolo rispetto all'asse verticale sulla superficie

H quantità di illuminamento in luxsecondi (lx s)

t tempo in secondi

13.04 Luminanza

Luminanza nel caso di irraggiamento perpendicolare

$$L = \frac{I}{A} = \frac{\Phi}{\omega \cdot A} \quad \text{in cd/cm}^2$$

In caso di irraggiamento obliquo con angolo ε rispetto all'asse verticale

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \varepsilon} = \frac{\Phi}{\omega \cdot A \cdot \cos \varepsilon}$$

L luminanza di una superficie autoilluminante o riflettente luce in cd/cm^2

I intensità luminosa in cd

A superficie in cm^2

Φ corrente luce in lm

ω angolo solido in sr

ε angolo rispetto all'asse verticale sulla superficie

in precedenza 1 Stilb = 1 sb = 1 cd/cm^2

$$1 \text{ Apostilb} = 1 \text{ asb} = \frac{1}{10^4 \pi} \text{ sb}$$

13.05 Unità cromatiche

Un. cromatiche primarie	Lunghezza d'onda λ	Densità di potenza irradiata relativa
Rosso \underline{R}	700,0 nm	73,0420
Verde \underline{G}	546,1 nm	1,3971
Blu \underline{B}	435,8 nm	1,0000

UNITÀ CROMATICA

$$\underline{F} = R \cdot \underline{R} + G \cdot \underline{G} + B \cdot \underline{B}$$

Quote di colori (numeri puri)

R quota di rosso; V quota di verde; B quota di blu

VALENZE NORMALIZZATE

$$\underline{X} = 2,36460 \cdot \underline{R} - 0,51515 \cdot \underline{G} + 0,00520 \cdot \underline{B}$$

$$\underline{Y} = -0,89653 \cdot \underline{R} + 1,42640 \cdot \underline{G} - 0,01441 \cdot \underline{B}$$

$$\underline{Z} = -0,46807 \cdot \underline{R} + 0,08875 \cdot \underline{G} + 1,00921 \cdot \underline{B}$$

Valenze cromatiche

$$\underline{F} = X \cdot \underline{X} + Y \cdot \underline{Y} + Z \cdot \underline{Z}$$

Quote di valori cromatici normalizzate di un irraggiamento luminoso a piacere:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} ; y = \frac{Y}{X + Y + Z} ; z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Incolore (bianco)

$$x = y = z = 0,333 \dots$$

Vedi anche DIN 5033

13.06 Segnali cromatici nelle televisioni a colori

Ripresi dalla telecamera:

U_R segnale rosso

U_G segnale verde

U_B segnale blu

Da questi si formano:

Segnale di luminanza U_Y

$$U_Y = 0,30 \cdot U_R + 0,59 \cdot U_G + 0,11 \cdot U_B$$

SEGNALI CROMATICI DIFFERENZA:

$$(U_R - U_Y) = 0,70 \cdot U_R - 0,59 \cdot U_G - 0,11 \cdot U_B$$

$$(U_G - U_Y) = -0,30 \cdot U_R + 0,41 \cdot U_G - 0,11 \cdot U_B$$

$$(U_B - U_Y) = -0,30 \cdot U_R - 0,59 \cdot U_G + 0,89 \cdot U_B$$

Per trasmettere sono sufficienti due segnali cromatici ed il segnale di luminanza.

Per riprodurre viene riprodotto nel ricevitore il terzo segnale cromatico differenza.

Dal segnale di luminanza e dai tre segnali cromatici differenza vengono formati i segnali cromatici:

$$U_Y + (U_R - U_Y) = U_R$$

$$U_Y + (U_G - U_Y) = U_G$$

$$U_Y + (U_B - U_Y) = U_B$$

13.07 Componenti fotoelettrici

CORRENTE FOTOELETTRICA

$$I_F = I_a - I_0$$

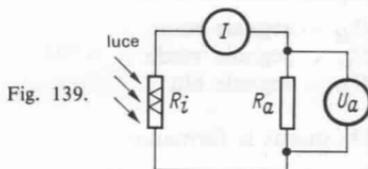
$$I_a = I_F + I_0$$

I_F corrente fotoelettrica di cortocircuito ($R_a = 0$)

I_a corrente di illuminazione di cortocircuito ($R_a = 0$)
(corrente che si ha quando agisce la luce)

I_0 corrente di non illuminazione di cortocircuito
(corrente che si ha quando non vi è azione della luce) ($R_a = 0$)

U_a tensione alla resistenza di lavoro



SENSIBILITÀ

$$s = \frac{I_F}{\Phi} = \frac{I_F}{E \cdot A}$$

s sensibilità della corrente luce in ampere/lumen (A/lm) o in $\mu\text{A}/\text{lm}$

$$I_F = s \cdot \Phi = s \cdot E \cdot A$$

$$e = \frac{I_F}{E} = \frac{I_F \cdot A}{\Phi}$$

$$I_F = e \cdot E = \frac{e \cdot \Phi}{A}$$

$$s = \frac{e}{A}; \quad e = s \cdot A$$

e

A

Φ

E

sensibilità dell'illuminamento in ampere/lux (A/lx) o in $\mu\text{A/lx}$
 superficie sensibile alla luce in cm^2
 corrente luce in lumen (lm)
 intensità di illuminazione in lux (lx)

13.08 Fotoelementi

$$R_i = \frac{U_L}{I_k} (E = \text{cost})$$

$$s = \frac{I_F}{\Phi} = \frac{e}{A}$$

I_F

U_F

U_L

corrente fotoelettrica
 tensione fotoelettrica (tensione durante l'azione della luce)
 tensione a vuoto (tensione a morsetti aperti; $R_a = \infty$)

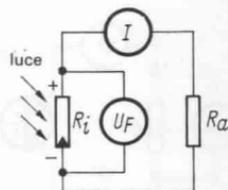


Fig. 140.

$$e = \frac{I_F}{E} = s \cdot A$$

$$I_F = e \cdot E = s \cdot \Phi$$

$$U_a = \frac{U_L \cdot R_a}{R_i + R_a}$$

$$U_F = U_a$$

Se $R_i = R_a$

è $P = \text{massimo}$

$$U_a = \frac{U_L}{2}$$

$$I = \frac{U_a}{R_a} = \frac{U_L}{2 \cdot R_a}$$

R_i

R_a

I_k

E

Φ

A

s

e

P

resistenza interna (dipendente dall'illuminazione)
 resistenza esterna
 corrente di cortocircuito (per $R_a = 0$)
 illuminamento in lx
 corrente luce in lm
 superficie sensibile alla luce in cm^2
 sensibilità della corrente luce in mA/lx
 sensibilità dell'illuminamento in mA/lx
 potenza applicata

13.09 Fotoresistenze

$$I_F = \frac{n \cdot e \cdot \tau}{T}$$

$$I_D = \frac{U_b}{R_D}$$

$$P_v = I_F^2 \cdot R_i = \frac{U_F^2}{R_i}$$

$$I_{Fmax} = \sqrt{\frac{P_v}{R_i}}$$

$$U_F = I_F \cdot R_i$$

$$U_a = U_b - U_F$$

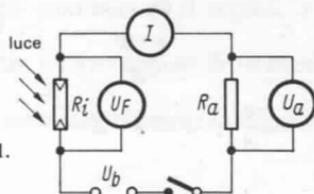


Fig. 141.

- I_F corrente fotoelettrica (dipendente dall'illuminamento) in A
- I_D corrente di non illuminazione (senza azione della luce) in A o mA o μ A (corrente di cortocircuito)
- n numero dei portatori di carica al secondo (s)
- e carica elementare in As
- τ durata di vita del portatore di carica in s
- T tempo di transito delle cariche da un elettrodo all'altro in s
- U_b tensione di funzionamento in V (polarizzazione equivalente)
- R_a resistenza esterna in Ω
- R_i resistenza interna in Ω
- R_D resistenza di non illuminazione (senza azione della luce) in Ω
- P_v potenza di perdita massima ammessa del fotoresistore in W
- U_a tensione sulla resistenza esterna in V
- U_F tensione sul fotoresistore in V

13.10 Fotodiodi

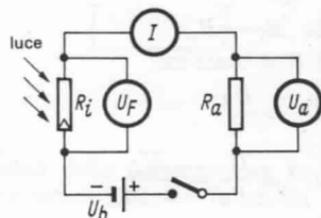


Fig. 142.

$$U_F = I_F \cdot R_i$$

$$U_a = U_b - U_F$$

$$I_D = \frac{U_b}{R_D}$$

$$P_v = I_F^2 \cdot R_i = \frac{U_F^2}{R_i}$$

$$I_{Fmax} = \sqrt{\frac{P_v}{R_i}}$$

$$U_{Fmax} = \sqrt{P_v \cdot R_i}$$

U_b	tensione di funzionamento in V (attenti alla polarizzazione)
U_F	tensione sul fotodiiodo in V
U_a	tensione sulla resistenza esterna in V
I_F	corrente fotoelettrica (dipendente dall'illuminamento) in A, mA o μ A
I_D	corrente di non illuminazione di cortocircuito in A, mA o μ A
R_i	resistenza interna in Ω
R_D	resistenza di non illuminazione in Ω
R_a	resistenza esterna in Ω
P_v	potenza di perdita massima ammessa in W

13.11 Fototransistori

$$I_C = (1 + B) \cdot I_{CB0}$$

$$s = \frac{I_C}{\Phi}$$

$$e = \frac{I_C}{E}$$

$$s = \frac{e}{A} ; e = s \cdot A$$

$$U_{CE} = U_b - U_a$$

$$U_{CE} = U_b - I_C \cdot R_a$$

$$P_v = U_{CE} \cdot I_C$$

I_C	corrente di collettore
I_{CB0}	corrente residua di collettore
B	amplificazione di corrente continua nel circuito emettitore
s	sensibilità alla corrente luce in mA/lm
e	sensibilità all'illuminamento in mA/lx
Φ	corrente luce in lm
E	illuminamento in lx
U_b	tensione di funzionamento in V
U_a	tensione sulla resistenza esterna in V
U_{CE}	tensione tra collettore ed emettitore in V
P_v	potenza di perdita in W

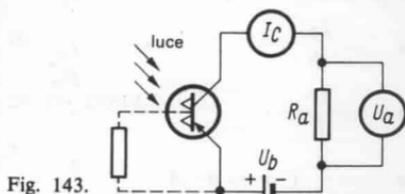


Fig. 143.

13.12 Fotocellule a vuoto

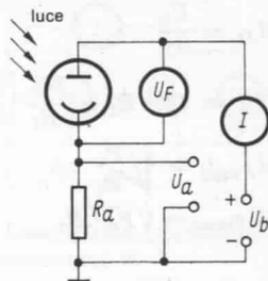


Fig. 144.

$$I_F = I_a - I_0$$

$$I_a = I_F + I_0$$

$$U_a = I_a \cdot R_a$$

$$U_F = U_b - U_a$$

$$s = \frac{I_F}{\Phi}$$

$$e = \frac{I_F}{E}$$

$$s = \frac{e}{A} ; e = s \cdot A$$

U_b

U_F

U_a

I_F

I_0

I_a

R_a

s

e

Φ

E

A

tensione di funzionamento

tensione sulla fotocellula

tensione di uscita

corrente fotoelettrica

corrente di non illuminazione

(senza azione della luce)

corrente di illuminazione

resistenza di lavoro

sensibilità alla corrente luce in

A/lm o μ A/lm

sensibilità all'illuminamento in

A/lx o μ A/lx

corrente luce in lm

illuminamento in lx

superficie fotosensibile in cm^2

14 Antenne e cavi

14.01 Impedenza caratteristica

IMPEDENZA CARATTERISTICA DI UN'ANTENNA A CAVO

$$Z = 60 \ln \left(\frac{4 \cdot h_e}{d} \right) \quad \text{in } \Omega$$

$$l_{opt} = 0,0178 \cdot \lambda \cdot \sqrt{R} \quad \text{in m}$$

Z impedenza caratteristica in Ω

R resistenza ohmica dell'antenna in Ω

h_e altezza efficace dell'antenna in m

d diametro del cavo in m

l_{opt} lunghezza ottimale in m

IMPEDENZA CARATTERISTICA DI UN DIPOLO $\lambda/2$:

$$Z = 120 \left[\ln \frac{l_w}{d} - 0,55 \right] \quad \text{in } \Omega$$

$$l_w = \frac{2}{\pi} \cdot l \quad \text{in m}$$

l_w lunghezza efficace del dipolo in m

l lunghezza del dipolo in m

LUNGHEZZA PRATICAMENTE USATA:

$$= 0,95 \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\pi}{2} \quad \text{in m}$$

0,95 è il fattore di accorciamento, dipendente dalla forma λ/d

VALORI DELL'ANTENNA SINTONIZZATA IN RISONANZA:

$$C_d = \frac{2}{\pi} \cdot C$$

C capacità statica in F

C_d capacità dinamica in F

$$L_d = \frac{2}{\pi} \cdot L$$

L induttanza statica in H

L_d induttanza dinamica in H

$$\lambda_o = 2 \pi \sqrt{L_d \cdot C_d \cdot 3 \cdot 10^8}$$

λ_o onda naturale dell'antenna in m

14.02 Intensità di campo di un dipolo $\frac{\lambda}{2}$

$$E = U \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \approx 6,283 \cdot \frac{U}{\lambda}$$

$$E = U \cdot f \cdot \frac{2\pi}{300} \approx 0,021 \cdot U \cdot f$$

E intensità del campo in $\mu\text{V}/\text{m}$
 U tensione dell'antenna in μV
 λ lunghezza d'onda in m
 f frequenza in MHz

14.03 Valori indicativi per la misurazione dei dipoli

Per frequenze oltre i 55 MHz.

Lunghezza del dipolo nel dipolo ad asta

$$l = 0,47 \cdot \lambda = \frac{141}{f}$$

λ lunghezza d'onda in m
 f frequenza in MHz

Distanza dell'asta del dipolo a telaio

$$a \approx \frac{\lambda}{60} \approx \frac{5}{f}$$

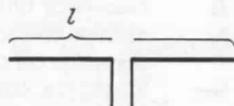


Fig. 145.

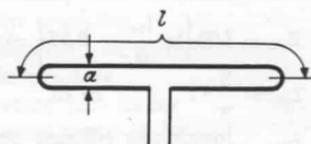


Fig. 146.

Per il massimo guadagno dell'antenna, la lunghezza del direttore è:

$$l_{dir} = 0,46 \cdot \lambda = \frac{138}{f} \quad \text{in m}$$

lunghezza del riflettore:

$$l_{refl} = 0,5 \cdot \lambda = \frac{150}{f} \quad \text{in m}$$

distanza dal dipolo al direttore

$$a_{dd} = 0,1 \cdot \lambda = \frac{30}{f} \quad \text{in m}$$

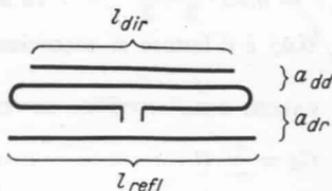


Fig. 147.

distanza dal dipolo al riflettore

$$a_{dr} = 0,15 \cdot \lambda = \frac{45}{f} \quad \text{in m}$$

interspazio verticale tra i due piani del dipolo:

$$d_s = 0,5 \cdot \lambda = \frac{150}{f} \quad \text{in m}$$

Tutti i valori possono in pratica venire fortemente variati nell'interesse di maggiori larghezze di banda o più alta impedenza di base.

14.04 Visibilità

(Raggio d'azione dei ponti radio ad onde decimetriche)

$$s = 3,6 (\sqrt{H} + \sqrt{h})$$

Antenna ricevente in vicinanza del terreno:

$$s = 3,6 \sqrt{H}; H = \frac{s^2}{13}$$

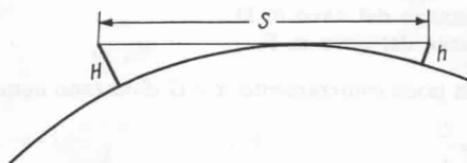


Fig. 148.

s visibilità in km

H altezza del pilone dell'antenna emettitrice in m

h altezza del pilone dell'antenna ricevente in m

14.05 Adattamento del dipolo con derivazione $\frac{\lambda}{4}$

$$Z^2 = Z_d \cdot Z_k$$

$$Z = \sqrt{Z_d \cdot Z_k} \quad \text{in } \Omega$$

- Z_d impedenza caratteristica del dipolo
 Z_k impedenza caratteristica del cavo
 Z impedenza caratteristica della derivazione

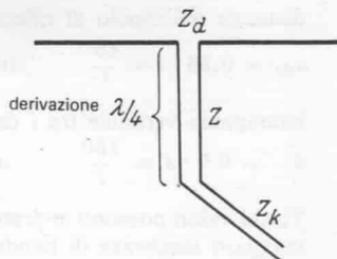


Fig. 149.

14.06 Impedenza caratteristica dei cavi

L'impedenza caratteristica è il rapporto tra tensione e corrente di un'onda progressiva sulla linea.

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R_1 + j \omega L_1}{G_1 + j \omega C_1}} = \frac{U}{I}$$

- \mathfrak{Z}, Z impedenza caratteristica in Ω
 R_1 impedenza longitudinale in Ω
 G_1 conduttanza in derivazione in S
 L_1 induttanza del cavo in H
 C_1 capacità del cavo in F

Per cavi con poco smorzamento R e G diventano uguali a 0. Quindi è:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \frac{U}{I}$$

$$Z = 1000 \sqrt{\frac{L'}{C'}} \text{ in } \Omega; \quad L' \text{ in } \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \quad C' \text{ in } \frac{\text{pF}}{\text{m}}$$

$$L' = \frac{Z^2 \cdot C'}{10^6} \quad C' = \frac{L' \cdot 10^6}{Z^2} \quad Z' \text{ in } \Omega, \quad L' \text{ in } \frac{\mu\text{H}}{\text{m}}, \quad C' \text{ in } \frac{\text{pF}}{\text{m}}$$

- L' induttanza per ogni unità di lunghezza
 C' capacità del cavo per ogni unità di lunghezza

14.07 Cavi coassiali

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \lg \frac{D}{d} \quad \text{in } \Omega$$

$$C = 0,24 \frac{\epsilon_r \cdot l}{\lg \frac{D}{d}} \quad \text{in pF}$$

$$L = 0,0046 \cdot \mu_r \cdot l \cdot \lg \frac{D}{d} \quad \text{in } \mu\text{H}$$

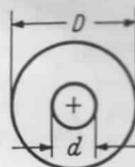


Fig. 150.

- Z impedanza caratteristica in Ω
 D diametro interno del cavo esterno in cm
 d diametro esterno del cavo interno in cm
 ϵ_r costante dielettrica, nell'aria $\epsilon_r = 1$
 l lunghezza del cavo in cm
 C capacit  in pF
 L induttanza in μH
 μ_r costante di permeabilit , in materiale non ferromagnetico: $\mu_r = 1$

14.08 Cavo a nastro, cavo piatto

$$Z = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \lg \frac{2 \cdot a}{d} \quad \text{in } \Omega$$

(se $a : d > 2,5$)

$$C = 0,12 \frac{\epsilon_r \cdot l}{\lg \frac{2 \cdot a}{d}} \quad \text{in pF}$$

$$L = 0,009 \cdot \mu_r \cdot l \cdot \lg \frac{2 \cdot a}{d} \quad \text{in } \mu\text{H}$$

- d diametro del cavo in cm
 a distanza media dei cavi in cm

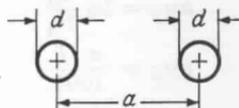


Fig. 151.

14.09 Adattamento con circuito π

(Vedi anche circuito LC, 10.08)

Per il circuito asimmetrico π con $Z_1 \neq Z_2$ e $C_1 \neq C_2$ vale:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^2 ; \quad Z_1 = Z_2 \cdot \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^2$$

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{C_1}{C_2} \right)^2$$

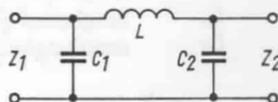


Fig. 152.

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C_g}}$$

Z_1	impedenza di entrata
Z_2	impedenza di uscita
C_1	capacità di entrata
C_2	capacità di uscita
C_g	capacità totale
L	induttanza della bobina
f_{res}	frequenza di risonanza

14.10 Smorzamento dei cavi

$$a_{dB} = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} \quad \text{in dB}$$

$$a_{Np} = \ln \frac{U_1}{U_2} \quad \text{in Np}$$

$$a_{Np} = \frac{\alpha \cdot l}{1000} \quad \text{in Np}$$

LUNGHEZZA LIMITE

$$l_{gr} = \frac{350}{\alpha} \quad \text{in m}$$

SEMILUNGHEZZA

$$l_H = \frac{700}{\alpha} \quad \text{in m}$$

a_{dB} smorzamento in decibel in dB

a_{Np} smorzamento in neper in Np

U_1 tensione di entrata in V

U_2 tensione di uscita in V

α smorzamento per chilometro in N/km

l lunghezza del cavo in m

l_{gr} lunghezza limite (caduta al 70% di U_1) in m

l_H semilunghezza (caduta al 50% di U_1) in m

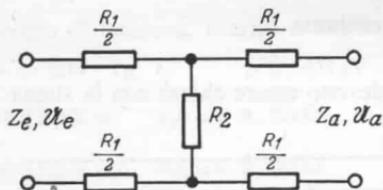
14.11 Attenuatori

Cellula a T , simmetrica

Cellula a T , asimmetrica

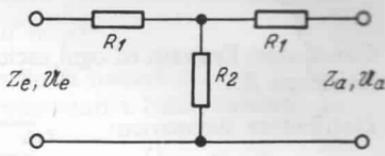
Cellula a π , simmetrica

Cellula a π , asimmetrica



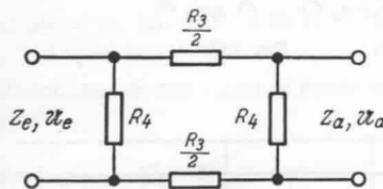
cellula a T, simmetrica

Fig. 153.



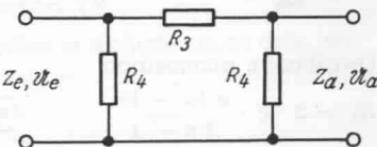
cellula a T asimmetrica

Fig. 154.



cellula a π , simmetrica

Fig. 155.



cellula a π , asimmetrica

Fig. 156.

$$d = \frac{U_e}{U_a}$$

Premessa:

$$Z_e = Z_a = Z$$

Allo scopo si ha: $R_1 = Z \cdot \frac{d-1}{d+1}$

$$R_3 = Z \cdot \frac{d^2-1}{2d}$$

$$R_2 = Z \cdot \frac{2d}{d^2-1}$$

$$R_4 = Z \cdot \frac{d+1}{d-1}$$

- d rapporto di tensione desiderato
- U_e tensione di entrata in V
- U_a tensione di uscita in V
- R_1 resistenza longitudinale della cellula a T
- R_2 resistenza in derivazione della cellula a T
- R_3 resistenza longitudinale della cellula a π
- R_4 resistenza in derivazione della cellula a π
- Z_e resistenza di entrata
- Z_a resistenza di uscita

14.12 Distributore ad adattamento costante

Condizione: l'entrata ed ogni uscita devono essere chiuse con la stessa resistenza Z .

Distributore simmetrico:

$$R_l = Z \cdot \frac{n \cdot (n - 1)}{2 \cdot n - 1}$$

$$R_q = Z \cdot \frac{n}{n - 1}$$

$$d = \frac{U_e}{U_a} = 2 \cdot n - 1$$

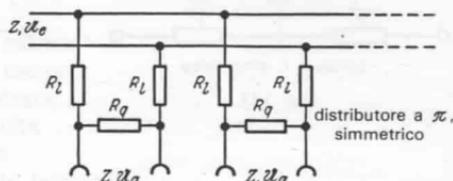


Fig. 157.

Distributore asimmetrico:

$$R_l = 2 \cdot Z \cdot \frac{n(n - 1)}{2n - 1}$$

$$R_q = Z \cdot \frac{n}{n - 1}$$

n numero delle uscite
 Z impedenza caratteristica dell'entrata e delle uscite in Ω

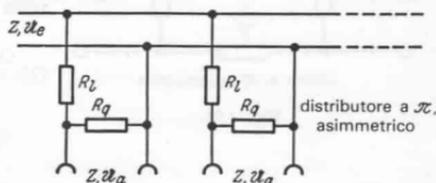


Fig. 158.

R_l resistenze longitudinali in Ω
 R_q resistenze in derivazione in Ω
 d smorzamento di tensione
 U_e tensione di entrata in V
 U_a tensione di uscita in V

14.13 Valori di livello per antenne

VALORE DI RIFERIMENTO: $1 \mu\text{V}$ a 60Ω

$0 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 1 \mu\text{V}$ a $60 \Omega \cong 2 \mu\text{V}$ a 240Ω

$\text{dB}\mu\text{V}$ significa livello in dB riferito a $1 \mu\text{V}$ a 60Ω

LIVELLO DI TENSIONE, in generale:

$$a = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ in decibel, dB}$$

Livello di tensione, riferito a $1 \mu\text{V}$ a 60Ω

$$p = 20 \cdot \lg U \quad p \text{ in dB}\mu\text{V}; U \text{ in } \mu\text{V}$$

$$4 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 1,6 \mu\text{V a } 60 \Omega$$

Livello di rumore di
amplificatori a basso rumore

$$10 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 3,2 \mu\text{V a } 60 \Omega$$

$$14 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 5 \mu\text{V a } 60 \Omega$$

$$20 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 10 \mu\text{V a } 60 \Omega$$

$$40 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 100 \mu\text{V a } 60 \Omega$$

$$54 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 0,5 \text{ mV a } 60 \Omega$$

livello minimo per
ricevitori TV

$$83 \text{ dB}\mu\text{V} \cong 15 \text{ mV a } 60 \Omega$$

livello massimo per
ricevitori TV

L'addizione di due valori di livello significa la moltiplicazione delle tensioni.

$$p_1 + p_2 = U_1 \cdot U_2$$

15 Appendice

15.01 Unità legali

UNITÀ FONDAMENTALI

Unità	Segno	Per la grandezza
Metro	m	Lunghezza
Chilogrammo	kg	Massa
Secondo	s	Tempo
Ampere	A	Intensità di corrente elettrica
Kelvin	K	Temperatura termodinamica
Candela	cd	Intensità luminosa
Mole	mol	Quantità di materia

UNITÀ DI FISICA ATOMICA

Unità di massa

Atomica	u	Massa della particella
Voltelettrone	eV	Energia

UNITÀ (coerenti) DERIVATE (estratto)

Metro quadrato	m^2	Superficie
Metro cubo	m^3	Volume
Radiante	rad	Angolo piatto
Steradiante	sr	Angolo solido
Grammo, tonnellata	g, t	Massa
Chilogrammo per metro cubo	kg/m^3	Densità
Minuto, ora, giorno	min, h, d	Tempo
Hertz	Hz	Frequenza
Metro al secondo	m/s	Velocità
Metro al secondo quadrato	m/s^2	Accelerazione
Newton	N	Forza
Pascal	Pa	Pressione
Joule	J	Energia, lavoro, quantità di calore
Watt	W	Potenza
Volt	V	Tensione elettrica
Ohm	Ω	Resistenza elettrica
Siemens	S	Impedenza elettrica
Coulomb	C	Quantità di elettricità
Farad	F	Capacità elettrica
Volt per metro	V/m	Intensità di campo elettrico
Weber	Wb	Flusso magnetico
Tesla	T	Densità di flusso magnetico
Henry	H	Induttanza
Ampere per metro	A/m	Intensità di campo magnetico
Gradi Celsius	$^{\circ}C$	Temperatura
Candela per metro quadrato	cd/m^2	Luminanza
Lumen	lm	Corrente luce
Lux	lx	Illuminamento

15.02 Unità transitoriamente ammesse e loro abbreviazioni

Estratto delle unità ed abbreviazioni ammesse nel traffico commerciale ed ufficiale ancora fino al 31.12.1977.

Angström	Å	Lunghezza
Atmosfera tecnica	at	Pressione
Atmosfera fisica	atm	Pressione
Caloria	cal, anche kcal, Mcal, ecc.	Quantità di calore
Dyn	dyn	Forza
Erg	erg	Energia
Chilogrammo peso	kp, anche p, Mp, ecc.	Forza
Colonna d'acqua di un m	mWS anche cm WS mmWS, ecc.	Pressione
Millimetri di mercurio	mmHg	Pressione
Minuto centesimale	(^c)	Angolo
Secondo centesimale	(^{cc})	Angolo
Cavallo	PS	Potenza
Torricelli	Torr	Pressione

manuali
di
elettronica
applicata

collana diretta da mauro boscarol

libri pubblicati

- 1 Pelka - Il libro degli orologi elettronici (2ª ed.) L. 4.400
- 2 Renardy/Lumier - Ricerca dei guasti nei radiorecettori (2ª ed.) L. 4.000
- 3 Pelka - Cos'è un microprocessore (2ª ed.) L. 4.000
- 4 Büscher/Wiegelmann - Dizionario dei semiconduttori (2ª ed.) L. 4.400
- 5 Böhm - L'organo elettronico L. 4.400
- 6 Kühne/Horst - Il libro dei circuiti HiFi L. 4.400
- 7 Bochum/Dögl - Guida illustrata al TVcolor service (2ª ed.) L. 4.400
- 8 Schneider - Il circuito RC L. 3.600
- 9 Sehrig - Alimentatori con circuiti integrati L. 3.600
- 10 Mende - Il libro delle antenne: la teoria L. 3.600
- 11 Horst - Elettronica per film e foto L. 4.400
- 12 Sutaner/Wissler - Il libro dell'oscilloscopio L. 4.400
- 13 Wirsum - Il libro dei miscelatori L. 4.800
- 14 Link - Metodi di misura per radioamatori L. 4.000
- 15 Mende - Il libro delle antenne: la pratica L. 3.600
- 16 Lewandowski - Progetto e analisi di sistemi L. 3.600
- 17 Kleemann - Esperimenti di algebra dei circuiti L. 4.800
- 18 Ratheiser/Pichler - Manuale di optoelettronica L. 4.800
- 19 Benda - Manuale dei circuiti a semiconduttori L. 4.800
- 20 Limann/Pelka - Il libro del voltmetro elettronico L. 4.800
- 21 Praetzel/Warneke - Il libro dei microfoni L. 3.600
- 22 Köhler - Il libro degli strumenti ad indicatore L. 4.000
- 23 Jungmann - Elettronica per il ferromodellismo L. 3.600
- 24 Gerzelka - Manuale dell'operatore DX L. 4.000
- 25 Wuschek - Dizionario dell'organo elettronico L. 4.800
- 26 Klinger - Il libro delle casse acustiche L. 4.000
- 27 Benda - Come si legge un circuito L. 4.000
- 28 Hirschmann - Il libro dell'amplificatore operazionale L. 4.800
- 29 Rose - Prontuario di elettronica: formule L. 4.800

libri di prossima pubblicazione

- Strauss - Il libro della saldatura
Goddijn - Elettronica nella musica pop
Nührmann - Il libro dei componenti elettronici

ISBN 88 - 7021 - 121 - 5



tecniche di misurazione

radioamatori

elettronica professionale

componenti

elettroacustica

radio tv

elettronica generale

modellismo

prontuario di elettronica: formule

Georg Rose

29