Legge di OHM

La legge di OHM spiega che: La corrente che scorre in un conduttore è direttamente proporzionale alla tensione applicata ai suoi capi e inversamente proporzionale alla sua resistenza.

$$I = \frac{V}{R}$$

Dove: I = Intensità di corrente in Ampere, V = valore della tensione in Volt, R = valore della resistenza in Ohm.

A seconda dell'elemento incognito si ha:

$$V = R \times I \qquad R = \frac{V}{I}$$

Legge di OHM energetica.

Esprime la potenza elettrica "P" in Watt.

$$P = V \times I$$

Inversamente:

$$V = \frac{P}{I} \qquad I = \frac{P}{V}$$

Esemplificazioni:

$$P = \frac{V^2}{R} \qquad R = \frac{V^2}{P} \qquad P = R \times I^2$$

$$V = \sqrt{P \times R} \qquad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \qquad R = \frac{P}{I^2}$$

Le formule enunciate valgono esclusivamente per la corrente continua, o per correnti alternate sinusoidali su carichi puramente resistivi. In regime sinusoidale la corrente ha un valore medio efficace "Vm" (misurabile con un comune tester), per il quale valgono le formule precedenti, ed un valore di picco "Vp" che vale circa 1,41 ($\sqrt{2}$) volte il valore medio. Pertanto, per conoscere i valori di picco su carichi puramente resistivi, le normali formule della legge di OHM vanno modificate così:

$$V_p = V_m \times \sqrt{2}$$

$$I_p = I_m \times \sqrt{2}$$

$$P_p = V_p \times I_p = (V_m \times P_m) \times 2$$

Alcune formule inverse

$$P_p = \frac{V_p^2}{R} \qquad P_m = \frac{V_p^2}{2R} \qquad V_p = \frac{P_p}{I_p} \qquad V_m = \frac{P_m}{I_m}$$

Resistenza

La resistenza “R” che un conduttore offre al passaggio della corrente è una caratteristica fisica dei materiali conduttori. Dipende dalle dimensioni fisiche, dalla temperatura e dalla resistività specifica “ρ“ del materiale. Per una data temperatura vale:

$$R = \rho \times \frac{\lambda}{S}$$

Dove “R” si esprime in Ω, λ in metri, “s” in mm² e “ρ” in Ωmm²/m.

Ma ρ varia con la temperatura secondo il coefficiente "α" detto “coefficiente di temperatura”. Per i metalli "α" è positivo e costante tra circa -100 e 150°C e varia secondo la formula:

$$\rho t^{II} = \rho t^{I}\left[1 + \alpha t^{I} \times \left(t^{II} - t^{I}\right)\right]$$ dove “t” è in °C.

Essendo ρ un coefficiente positivo della formula per determinare R, anche R varierà secondo la stessa formula:

$$R^{II} = R^{I}\left[1 + \alpha t^{I} \times \left(t^{II} - t^{I}\right)\right]$$ dove “R” in Ω, “t” in °C.

Oppure:

$$R^{II} = R^{I} + \alpha \times R^{I}\left(t^{II} - t^{I}\right)$$

In generale si può considerare α positivo per i metalli, piccolissimo e praticamente trascurabile per alcune leghe appositamente studiate, mentre diventa negativo per gli isolanti, per il carbone e per le soluzioni elettrolitiche. Le formule non sono comunque valide in prossimità del punto di fusione dei metalli, e dello zero assoluto, dove si verifica il fenomeno della superconduzione, in virtù del quale una corrente elettrica una volta indotta in un conduttore a bassissima temperatura potrebbe circolare per un tempo praticamente illimitato senza l'intervento di alcuna forza elettromotrice esterna, come hanno dimostrato esperimenti fatti sul piombo e sul tallio prossimi allo zero assoluto.
In molti casi invece della resistività si usa la "conducibilità", indicata con "γ", che non è altro che l'inverso della resistività, e che perciò si può scrivere:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{\lambda}{R \times s} = \frac{1}{R} \times \frac{\lambda}{s}$$

Ma il risultato di $\frac{1}{R}$ si chiama "conduttanza", indicata con "G", che si misura in "Siemens", e perciò si può scrivere anche:

$$\gamma = \frac{G \times \lambda}{s}$$ = Sm/mm² (Siemens per metro su millimetro quadrato)

Si deduce allora, che se un conduttore ad una data temperatura ha una resistività di 0.02 Ωmm²/m, ha anche una conducibilità di 50 Sm/mm².
È da tempo stabilito che il "rame campione internazionale", alla temperatura 20°C ha le seguenti caratteristiche:

Resistività assoluta "ρ" = 0,017241 Ωmm²/m
Conducibilità assoluta "γ" = 50 Sm/mm²
Densità = 8,89 Kg/dm³
Coefficiente di temperatura "α" = 0,00393°C $^{-1}$
Coefficiente di dilatazione lineare = 0,000017°C $^{-1}$

COLLEGAMENTO DI RESISTENZE

Collegando più resistenze in serie la resistenza totale "Rt" varrà:

$$Rt = R1 + R2 + R3 + \ldots$$

La tensione ai capi di ogni resistenza sarà direttamente proporzionale al suo valore, mentre la corrente sarà uguale per tutte.
Collegandole in parallelo la Rt sarà:

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \ldots$$

Nel caso di due sole resistenze:

$$Rt = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

La tensione sarà uguale per tutte, mentre la corrente sarà inversamente proporzionale al valore di ognuna. (Maggiore resistenza = minore corrente).

Legge di Joule

Il trasferimento di energia elettrica nei conduttori dà luogo a delle perdite irreversibili in calore. Esse dipendono dalla resistenza "R" dei conduttori e dalla corrente "I" che li attraversa, secondo la formula:

$$P = R \times I^2 \qquad \text{(Watt)}$$

L'energia dispersa in calore (o consumata) è data da:

$$P = R \times I^2 \times t$$

Dove se "t" è in secondi sono W/sec. oppure Joule, se in ore si hanno W/ora (o Kw/h)

Questa energia corrisponde al calore sviluppato:

$C = 0{,}238 \times R \times I^2 \times t$ (cal) calorie se "t" in secondi

$C = 0{,}86 \times R \times I^2 \times t$ (Cal o Kcal) Kilocalorie se "t" in ore.

Una caloria equivale a 4,1868 Joule.

IL CONDENSATORE

Il condensatore è costituito da due armature collegate ai morsetti di una sorgente di F.E.M., fra le quali sia interposto un dielettrico nel quale si forma un campo elettrico.
La differenza di potenziale esistente tra le due armature si chiama "Tensione del condensatore" e corrisponde alla tensione in Volt che si deve applicare fra le armature per accumularvi una carica "Q".
Il rapporto tra la carica Q e la tensione V necessaria per mantenerla si chiama "Capacità del condensatore" "C" e si misura in "Farad" : "F".

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{(Q = Qoulomb, V = Volt, F = Farad)}$$

La capacità è strettamente legata alle dimensioni geometriche del condensatore ed alla natura del dielettrico impiegato. In un condensatore piano, con armature di superficie affacciata "S", a distanza "d", separate da un dielettrico di costante "ε", la capacità è data da:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} \quad \text{(F, F/m, m², m)}$$

Per cui: <u>La capacità è direttamente proporzionale alla costante dielettrica, alla superficie affacciata delle armature, e inversamente proporzionale alla distanza.</u>
In un condensatore cilindrico costituito da due armature coassiali, aventi raggio maggiore "R" e raggio minore "r", di lunghezza "l", separate da un dielettrico di spessore costante, la capacità è data da:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon}{\log R / r} \quad \text{(F, F/m, m², m)}$$

Il Farad è una unità di misura molto grande, è la capacità di un corpo isolato che raggiunga il potenziale di un Volt con una carica elettrostatica di un Coulomb. Nella pratica si usano suoi sottomultipli molto piccoli: il "µF" = un milionesimo di Farad, il "nF" = un miliardesimo di Farad e il "pF" = un milionesimo di µF.
Nel caso più semplice: il calcolo della capacità di un condensatore con armature piane e parallele e con dielettrico in aria, la formula è così semplificata:

$$C = 0{,}885 \frac{S}{d} \qquad \text{Dove: C = pF, S = cm², d = mm}$$

COSTANTE DIELETTRICA

L'intensità del campo elettrico "*F* " si può considerare la causa che provoca l'induzione "*D* " e fra le due grandezze esiste una proporzionalità:

$D = \varepsilon F$

Dove: ε = la costante dielettrica del mezzo nel quale si sviluppa il campo elettrostatico.
Essa indica l'attitudine di un dielettrico a formare un campo elettrico, e si misura in F/m (Farad/metro).
Nell'aria e nel vuoto la costante dielettrica vale $8{,}85 \times 10^{-12}$ F/m, e si chiama <u>Costante dielettrica assoluta</u> "ε_0". Negli altri mezzi ha valori variabili ottenuti valutando la costate dielettrica relativa "ε_r" riferita a quella del vuoto:

$\varepsilon = \varepsilon_0 * \varepsilon_r$

FORMULE PER ILCALCOLO DI CONDENSATORI IN SERIE E IN PARALLELO

Collegando più condensatori in parallelo, la capacità totale sarà data dalla formula:

$$Ct = C1 + C2 + C3 + \ldots\ldots$$

Per cui sarà uguale alla somma aritmetica delle singole capacità e la tensione applicata sarà uguale per tutti i condensatori. Collegando più condensatori in serie, la capacità totale sarà data dalla formula:

$$\frac{1}{Ct} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \ldots\ldots$$

Nel caso di due sole capacità in serie:

$$Ct = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

Da cui si vede che la capacità totale sarà sempre inferiore alla capacità più piccola della serie, mentre la tensione ai capi di ciascun condensatore avrà un valore inversamente proporzionale al valore della capacità. (Capacità più grande = tensione più bassa, capacità più piccola = tensione più alta)

REATTANZA CAPACITIVA

Il condensatore in corrente alternata si comporta come una resistenza, di valore tanto più alto quanto è più bassa la capacità. Mentre in corrente continua, dopo caricato, la presenza del dielettrico isolante impedisce il passaggio della corrente, in corrente alternata a causa della continua inversione della polarità della tensione, c'è un trasporto continuo di cariche da un elettrodo all'altro tramite il circuito esterno. Vera corrente alternata, di valore tanto maggiore quanto maggiore è la capacità del condensatore e quanto più alta è la frequenza. Questa resistenza è detta "Reattanza Capacitiva", indicata con "Xc", e si esprime in Ohm. Si calcola con la formula:

$$Xc = \frac{1}{\omega \times C} = \frac{1}{2\pi f \times C} \qquad \text{(C in Farad, f in Hertz)}$$

Caratteristiche principali di alcuni materiali dielettrici

Materiale	Rigidità dielettrica Kv / mm	Costante dielettrica ε_r
Aria (Secca)	2,1 -- 3	1
Ardesia	0,2 -- 0,5	6
Apirolio	20 -- 25	4,5 -- 5
Asfalto	12 -- 16	2,5
Bachelite	10 -- 28	5,5 -- 9
Carta	6 -- 11	1,6 -- 4,5
Carta bachelizzata	5 -- 15	5
Carta oleata	40 -- 50	2,5 -- 4
Cellonite	8 -- 10,5	4,5
Ebanite	5 -- 25	1,4
Gomma vulcanizz.	8 -- 20	2,5 -- 3
Gomma lacca	10 -- 30	1
Fibra di vetro	46 -- 50	4,5
Mica	60 -- 160	5,2 --5,5
Micalex	13 -- 16	7,8
Micanite	20 -- 42	3 -- 3,5
Olio di lino	8 -- 18	3,5
Olio minerale	10 -- 16	2 -- 2,5
Pirex	30 -- 150	5
Porcellana	20 -- 42	4,6 -- 6
Presspan	8 -- 11	2,5 -- 4
Steatite	14 -- 16	5,7 -- 6,6
Tela bachelizzata	10 -- 20	4,5 -- 6
Tela sterlingata	25 -- 30	3,5 -- 5,6

ELETTROMAGNETISMO

Si produce col passaggio della corrente in un conduttore, con un campo elettromagnetico circolare intorno al conduttore stesso. Il campo elettromagnetico si rafforza con l'avvolgimento a spirale del conduttore. L'insieme di più spire forma un "Solenoide".
L'intensità del campo magnetico "H" in un solenoide è proporzionale alla corrente "I" che lo percorre e al numero di spire avvolte "N", ed inversamente proporzionale alla sua lunghezza "λ". Si misura in Amperspire/metro "As/m".

$$H = \frac{N \times I}{\lambda}$$

Per un conduttore rettilineo è:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Dove: "r" misura la distanza al quale si valuta l'intensità.

Il flusso magnetico "Φ" si misura in Weber, indicato "We". Un We equivale ad un flusso magnetico che annullandosi in una spira in un secondo produce ai suoi capi una differenza di potenziale di un volt:

$$V = \frac{\Phi}{t} \quad \text{(t in secondi)}$$

Si chiama induzione magnetica "B" la quantità di flusso che attraversa in un determinato punto la superficie unitaria di un nucleo magnetico, secondo la formula:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad \text{(S = m}^2\text{) Si misura in We/m}^2$$

Ma l'induzione magnetica "B" è data anche dal prodotto dell'intensità del campo magnetico H per il coefficiente di permeabilità magnetica "μ" secondo la relazione:

$$B = \mu \times H \quad \text{"}\mu\text{" si misura in Henry/metro (H/m)}$$

Nel vuoto o nell'aria la permeabilità magnetica vale:

$$\mu_0 = 1{,}256 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

Viene chiamata permeabilità assoluta, si indica con “ μ_0 ”. Nei materiali ferromagnetici la permeabilità non è più costante, ma varia al variare dell’induzione magnetica e delle caratteristiche del materiale. Viene chiamata permeabilità relativa e si indica con “ μ_r ” riferita a quella del vuoto. Di solito si forniscono in tabelle i valori di permeabilità dei materiali:

$$\mu = \mu_0 \times \mu_r$$

Per avere la permeabilità effettiva di un nucleo:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Da quanto sopra si può ricavare la formula di Hopckinson, molto simile ad una legge di Ohm per circuiti magnetici:

$$\Phi = B \times S = \mu \times H \times S = \mu \times \frac{N \times I}{l} \times S \qquad (\text{ We })$$

Il flusso magnetico esce da un lato del solenoide, detto convenzionalmente “Polo Nord”, e rientra dal lato opposto detto “Polo Sud”, per similitudine con le polarità magnetiche dei poli terrestri. Per individuare il polo nord si applica la “Regola del cavatappi”: il polo nord si trova dal lato della punta di un immaginario cavatappi che avanzi ruotando nel senso della corrente.

INDUTTORI

Per una bobina (solenoide) di “N” spire, il cui circuito magnetico abbia sezione “S” e lunghezza “ λ ”, l’induttanza magnetica“L” vale:

$$L = \mu_0 \times \mu_r \times \frac{N^2 \times S}{\lambda}$$

Si esprime in Henry (H) se μ_0 è espressa: $1{,}256 \times 10^{-12}$ Henry/m, oppure in µH se μ_0 vale $1{,}256$ µH/m (permeabilità assoluta).

REATTANZA INDUTTIVA

Al passaggio della corrente alternata ogni induttanza oppone una resistenza detta "Reattanza induttiva", indicata con "Xl", tanto più alta quanto maggiore è l'induttanza e quanto più alta è la frequenza. Si esprime in Ohm e si calcola con la formula:

$$Xl = \omega \times L = 2\pi f \times L \quad \text{(L in Henry, f in Hertz)}$$

IMPEDENZA

Una bobina è composta di filo avvolto a spirale, con più o meno spire a seconda dell'uso. Dalle bobine con pochissime spire degli induttori per alte frequenze, agli avvolgimenti con migliaia di spire per trasformatori di bassa frequenza, Il filo presenta comunque una resistenza ohmica alla corrente. La combinazione della resistenza ohmica "R" e della reattanza "Xl" è detta "Impedenza", si indica con la lettera "Z", si esprime in "Ω" ed è data dalla formula:

$$Z = \sqrt{R^2 \times Xl^2} \qquad (\Omega\,,\ \Omega)$$

La stessa cosa è valida per i condensatori:

$$Z = \sqrt{R^2 \times Xc^2} \qquad (\Omega\,,\ \Omega)$$

Ma le due reattanze sono di segno opposto, difatti:

$$Xl = 2\pi f \times L \qquad \text{Invece:} \quad Xc = \frac{1}{2\pi f \times C}$$

Mentre la reattanza induttiva produce uno sfasamento della corrente in ritardo, la reattanza capacitiva produce uno sfasamento della corrente in anticipo. Perciò in un circuito in cui siano presenti entrambe le reattanze, la impedenza risultante sarà data da:

$$Z = \sqrt{R^2 \times \left(Xl - Xc\right)^2} \qquad (\Omega\,,\ \Omega)$$

Essendo entrambe le reattanze funzione della frequenza, esisterà sempre una frequenza al quale le due reattanze si annullano, e l'impedenza sarà soltanto funzione della resistenza. Questa si chiama <u>Condizione di risonanza.</u>

Risonanza

In un circuito in cui ci sia un'induttanza "L" e una capacità "C", la frequenza di risonanza "f_0" viene data dalla formula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

Dove f_0 = Hertz, L = Henry, C = Farad.

Un circuito così costruito si chiama "Risonatore".

La pulsazione di risonanza è data da:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad \text{(rad/s, H, F)}$$

La frequenza di risonanza è data da:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}} \quad \text{(Hz, H, F)}$$

La lunghezza d'onda di risonanza è data da:

$$\lambda = 1884 \times \sqrt{L \times C} \times 10^6 \quad \text{(m, H, F)}$$

Per calcolare un circuito risonante su una data frequenza "f_0", stabilito L si ha:

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 \times L} \quad \text{(F, rad/s, H)}$$

Stabilito C si ha:

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 \times C} \quad \text{(H, rad/s, F)}$$

Formule pratiche per ottenere i valori di L - C - fo

f_0 in Mhz = $\dfrac{159}{\sqrt{L \times C}}$ Dove L = μH C = pF

f_0 in Khz = $\dfrac{159 \times 10^3}{\sqrt{L \times C}}$ Dove L = μH C = pF

f_0 in Hz = $\left(\dfrac{5033}{\sqrt{L \times C}}\right) \times 10^3$ Dove L = mH C = pF

L in μH = $\dfrac{25330}{C \times f_0^2}$ Dove C = pF f_0 = Mhz

L in mH = $\dfrac{25,33}{C \times f_0^2}$ Dove C = μF f_0 = Khz

C in pF = $\dfrac{25330}{L \times f_0^2}$ Dove L = μH f_0 = Mhz

C in μF = $\dfrac{25,33}{L \times f_0^2}$ Dove L = mH f_0 = Khz

Formula approssimativa per calcolare il numero di spire di una bobina avvolta in aria conoscendo l'induttanza

$$N = \sqrt{L \div D^2 \times (100 \times l + 45 \times D)}$$

Dove L = μH, D = diametro in cm, l = lunghezza in cm.

Formula inversa per calcolare l'induttanza conoscendo il numero di spire

$$L = \frac{D^2 \times N^2}{100 \times l + 45 \times D}$$

Dove L = μH, D = Diametro in cm, l = lunghezza in cm.

Fattore di merito

Se le perdite resistive fossero nulle, caricando la capacità con una corrente continua e scaricandola sull'induttore, si avrebbe un'oscillazione di corrente tra L e C di frequenza f_0 per un tempo praticamente infinito. Ma l'esistenza di R limita l'oscillazione, nel migliore dei casi, a pochi periodi. Tanto maggiore è il rapporto tra la resistenza e le reattanze, tanto maggiore è il fattore di merito "Q" del risonatore e altrettanto maggiore la stabilità delle oscillazioni. Il fattore di merito "Q" di una bobina è dato dalla formula:

$$Q = \frac{Xl}{R} = \frac{2\pi f_0 \times L}{R}$$

Per frequenze lontane dalla f_0 prevalgono le varie reattanze, pertanto il Q perde importanza. A degradare il Q aumentando la R dell'induttanza concorre lo "Effetto pellicolare": all'aumentare della frequenza la corrente tende a scorrere sulla superficie dei conduttori, penetrando sempre più scarsamente. Diminuisce così la sezione effettivamente impegnata del conduttore, tanto che per frequenze anche di qualche Mhz e per potenze modeste si ricorre a conduttori argentati, piattine e tubetti di notevole superficie. Per il rame la penetrazione "s" è data da:

$$s = \frac{6{,}62}{\sqrt{f}}$$

Dove "s" in cm se "f" in Hz. (ad esempio 0,02 mm già a 100 Khz)

In pratica anche con bobine per alte frequenze, con poche spire di grossa sezione, un Q = 1000 è eccezionale, un Q = 300 è notevole, un Q = 100 è fattibile.