



ANGET Sezione di Milano

1° Reggimento Trasmissioni - Training di aprile 2019

Appunti per i partecipanti

Indice

1- NOZIONI GENERALI DI ELETTROTECNICA

1a - La corrente elettrica	pag. 2
1b - La forza elettromotrice	pag. 2
1c - La resistenza	pag. 3
1d - La potenza (in c.c. e in c.a.)	pag. 5
1e - La corrente alternata (c.a.)	pag. 6
1f - La capacità	pag. 7
1g - Induttanza	pag. 7
1h - Impedenza	pag. 9
1i - I filtri	pag. 10
1l - Trasformatori	pag. 10
1m- Strumenti di misura	pag. 11

2- NOZIONI DI RADIOTECNICA

2a – Onde elettromagnetiche	pag. 12
2b - Il circuito oscillante	pag. 13
2c - Oscillatore pilota	pag. 14
2d - La modulazione	pag. 14
2e - Emissione di onde radio	pag. 15
2f - Lo stadio amplificatore	pag. 15
2g - Lo stadio convertitore di frequenza	pag. 16
2h - La ricezione	pag. 16
2i - La rivelazione	pag. 17
2l - L'antenna	pag. 18
2m- Schema a blocchi di un trasmettitore	pag. 20
2n - Schema a blocchi di un ricevitore	pag. 21
2o - La valvola termoionica	pag. 22
2p - I semiconduttori	pag. 23

3- FORMULARIO	pag. 24
----------------------	---------

1 NOZIONI GENERALI DI ELETTROTECNICA

1a- La corrente elettrica (I)

unità di misura: ampere, pronuncia “ampère”
simbolo: A

La corrente elettrica è un flusso d’elettroni che si sposta in un conduttore con velocità pari a quella della luce (300.000 km/secondo) per effetto di una causa esterna.

L’intensità di questo flusso dipende dalla quantità di elettroni. L’unità di misura della carica elettrica è il **Coulomb**, il cui simbolo è “**Q**”, pronunciato “culòmb”.

L’intensità del flusso, è definita **corrente (I)** e per motivi pratici non si misura in Coulomb, perché richiederebbe un numero troppo elevato, ma in **ampere (A)** con i relativi multipli o sottomultipli, secondo la seguente definizione:

$$1A = 1Q / 1secondo$$

Ossia, l’intensità di corrente (A) indica la quantità d’elettroni che passa attraverso la sezione del conduttore nell’unità di tempo.

1b- La forza elettromotrice

unità di misura: volt, pronuncia “volt”
simbolo: V

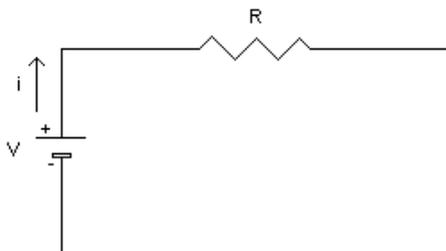
Per far circolare corrente elettrica in un circuito chiuso è necessaria una differente concentrazione d’elettroni tra due punti del circuito.

Questo crea una forza tendente a riequilibrare gli addensamenti d’elettroni.

Un generatore elettrico (pila) presenta uno squilibrio di cariche localizzate sui suoi terminali; è perciò in grado di esercitare una forza che mette in movimento le cariche elettriche (**forza elettromotrice**, simbolo “f.e.m.”).

La forza che fa scorrere la corrente, una sorta di “pressione elettrica”, è chiamata **forza elettromotrice o differenza di potenziale** e la sua unità di misura è il volt (**V**). Il generatore elettrico ha funzione analoga a una pompa in un condotto d’acqua.

Il circuito elettrico più semplice



1c- La resistenza R

unità di misura: ohm, pronuncia “om”
simbolo: Ω

La corrente elettrica che scorre in un circuito per effetto della tensione V è limitata dalla **resistenza (R)** presentata dal circuito stesso.

Qualsiasi materiale conduttore presenta una piccola resistenza elettrica che dipende dalla sezione, dalla lunghezza e dalla resistenza specifica del materiale indicato con “ ρ ”. In un conduttore deve essere la minima possibile, mentre è elevata nei materiali usati per costruire resistenze e tende all’infinito per i materiali isolanti.

Il legame tra la corrente I misurata in ampere (**A**), la tensione V misurata in volt (**V**) e la resistenza R misurata in ohm (Ω) è definito dalla legge di Ohm;

$$V = R \cdot I$$

oppure $R = V/I$

oppure $I = V/R$

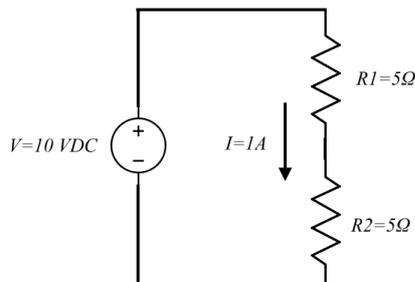
Si nota che in un circuito elettrico, a pari tensione d’alimentazione, se la resistenza aumenta la corrente si riduce, e viceversa.

Circuiti in corrente continua

Collegamenti delle resistenze

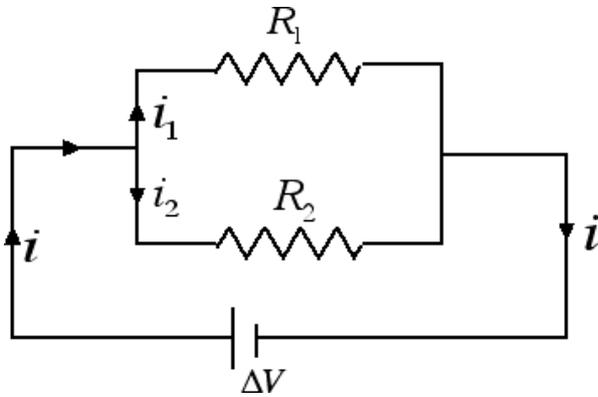
Collegamento in serie

Due o più resistenze possono essere collegate in serie (ogni resistenza è collegata alla successiva). In questo caso sono percorse dalla medesima corrente e i loro valori di Ω si sommano.



Collegamento in parallelo

Se sono collegate in parallelo (ogni resistenza è collegata agli stessi due punti) il valore di resistenza risultante è minore del valore della resistenza più bassa; ogni resistenza è percorsa da corrente diversa, definita da $I = V/R$ (legge di Ohm).



Due resistenze di valore uguale, poste in parallelo, presentano un valore equivalente che è la metà del valore nominale; se sono di valore diverso la **R totale** è data dal rapporto $(R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$.

La resistenza dissipa energia sotto forma di calore in quantità definita dalla relazione $P = R \cdot I^2$.

1d- La potenza P

In corrente continua, la potenza **W** (Watt) è il prodotto di due fattori: la tensione V e la corrente I.

La **potenza P** che può fornire un generatore con tensione nominale V, in grado di erogare su un circuito chiuso una corrente I, è espressa in **W** (watt) ed è calcolata dalla relazione:

$$\mathbf{P = V * I}$$

oppure $\mathbf{P = R * I^2}$

oppure $\mathbf{P = V^2 / R}$

Quanto detto vale solo se siamo in corrente continua, perché la corrente è sempre in fase con la tensione.

Se siamo in corrente alternata la potenza diventa:

potenza apparente $\mathbf{P = V * I}$ (VA)

potenza attiva $\mathbf{P = V * I * \cos\phi}$ (Watt)

Se il valore di corrente è in fase con la tensione, (carico resistivo) $\cos\phi$ vale 1, mentre se agisce su un condensatore o una bobina $\cos\phi$ è sempre minore di 1.

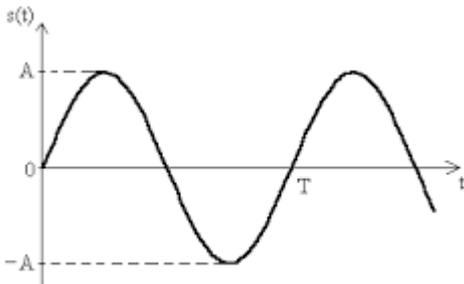
Nei circuiti elettrici percorsi da corrente si sviluppa calore per effetto Joule (energia).

La quantità di calore sviluppata è data dal prodotto tra la potenza P (W) per il tempo in cui vi è stato il passaggio di corrente. L'energia è definita dalla potenza per il tempo.

1e- La corrente alternata (c.a.)

Diversamente dalla corrente continua che presenta livello costante nel tempo, la corrente alternata ha andamento sinusoidale, ovvero varia l'ampiezza nel tempo. Esiste cioè un intervallo di tempo **T** (periodo) in cui la grandezza compie un ciclo completo.

Gli elettroni scorrono nel circuito con intensità variabile da un massimo positivo a un massimo negativo, alternativamente.



Per definire una grandezza continua è sufficiente il valore dell'ampiezza (livello). Invece, per una grandezza sinusoidale sono necessari: ampiezza, frequenza e fase.

L'**ampiezza**, come detto è un valore periodico, variabile nel tempo.

In corrente alternata, sinusoidale, poiché l'ampiezza è variabile nel tempo, per misurarla si utilizzano:

- il valore efficace (V_{eff} oppure I_{eff}) che è il valore quadratico medio ottenuto dalla radice quadrata della media dei quadrati dei valori istantanei.

Il valore efficace di una corrente alternata corrisponde a quello che in corrente continua dissiperebbe, sulla stessa resistenza, la stessa quantità di calore.

- il valore massimo, o di picco (V_M oppure I_M), indica la massima escursione positiva o negativa della semionda. Per un segnale sinusoidale vale 1,41 volte il V_{eff} .

La **frequenza f** rappresenta il numero di cicli (oscillazioni) completati in un secondo. Si misura in hertz (**Hz**) ed è definita come: $f=1/T$ dove **T** è il periodo, ovvero la durata temporale dell'oscillazione completa. È misurato in secondi o sottomultipli.

La **fase** rappresenta l'angolo di ritardo tra due grandezze sinusoidali rispetto a un punto preso come riferimento.

Le funzioni periodiche possono anche non essere sinusoidali. Un segnale elettrico periodico può essere composto da una senoide (frequenza fondamentale) alla quale si sommano una o più frequenze armoniche (multipli interi della frequenza fondamentale).

Più elevato è il numero d'armoniche, maggiore è la deformazione della forma d'onda.

Si definisce pulsazione (ω) il prodotto $2\pi f$, dove **f** è la frequenza di ripetizione del ciclo.

1f- La capacità

unità di misura: farad pronuncia "fàrad"

simbolo: **C**

Il condensatore è un elemento costituito da due superfici conduttrici (armature) separate da un isolante (dielettrico). Questo dispositivo è in grado di immagazzinare energia quando sulle sue armature è applicata una differenza di potenziale V .

La quantità di carica Q accumulata è data dal prodotto tra la capacità C (espressa in Farad) e tensione V ;

$$Q = C * V$$

La capacità di un condensatore dipende dal tipo di dielettrico usato e dalle sue dimensioni.

Alimentando un condensatore vi è subito circolazione di corrente (corrente di carica del condensatore) con andamento esponenziale. La tensione aumenta gradualmente fino al valore della V di alimentazione. Quindi la tensione è presente ai capi del condensatore con ritardo rispetto alla corrente (la corrente è in anticipo rispetto alla tensione).

Il tempo di carica del condensatore misurato in secondi è dato dal prodotto tra la capacità C e resistenza in serie R (espressa in Ω):

$$t = R * C$$

L'unità di misura della capacità C è il farad. In realtà si usano i suoi sottomultipli (microfarad, nanofarad, picofarad).

I condensatori possono essere isolati in aria (condensatori variabili) o con materiale isolante interposto tra le armature. Per i condensatori è sempre indicato il valore massimo di tensione d'utilizzo oltre il quale si ha la perforazione del dielettrico con successiva scarica tra le armature.

Per la corrente continua il condensatore si comporta come un'interruzione del circuito, mentre per la corrente alternata il condensatore presenta una "**resistenza apparente**" (reattanza capacitiva, X_C) di valore variabile con la frequenza. La corrente che lo attraversa è in anticipo rispetto alla tensione ed è limitata dalla **reattanza X_C** che si misura in Ω e rappresenta una "resistenza" nel circuito, in analogia con la resistenza per la corrente continua (legge di Ohm). La reattanza varia con la frequenza ed è definita dalla relazione:

$$X_C = 1 / (2 \pi f C) \text{ e per la legge di Ohm quindi } V = I * X_C$$

I condensatori possono essere polarizzati e non. In quelli elettrolitici polarizzati, è importante non scambiare la polarità dei terminali. Collegati in parallelo i condensatori sommano le loro capacità, in serie la riducono. Sono in grado di accumulare energia (Joule) con la relazione:

$$W = \frac{1}{2} C * V^2$$

1g- Induttanza

unità di misura: henry, pronuncia "hènri"

simbolo: **L**

Un magnete ha la proprietà di attrarre sostanze magnetiche (ferro e acciaio). I magneti possono essere naturali o artificiali. La zona dove si manifesta l'effetto di un magnete è detta "campo magnetico". Le linee di forza del campo magnetico (zona d'attrazione) partono dal polo Nord e rientrano dal polo Sud.

Attorno ad un conduttore percorso da corrente elettrica si crea un campo magnetico

il cui valore è definito da campo magnetico (H) = numero di spire (N) * intensità di corrente (I)

$$H = N \cdot I$$

Facendo scorrere un conduttore in un campo magnetico, ai suoi capi si crea una f.e.m. definita indotta. Viceversa, in presenza di corrente alternata, il campo magnetico variabile produce una tensione indotta anche se il conduttore è fermo.

Il campo magnetico crea un flusso misurato in weber (simbolo "Wb").

L'energia immagazzinata nel campo magnetico dipende sia dall'intensità della corrente, sia dal valore **L** del conduttore.

Una bobina alimentata con una tensione è percorsa da una corrente elettrica che crea attorno al conduttore della bobina un **campo magnetico** di intensità legata al numero di spire ed alla corrente circolante il cui valore aumenta rapidamente fino a stabilizzarsi.

Nella bobina, in questa fase transitoria, si genera una corrente indotta di reazione che ostacola la corrente di magnetizzazione. Questo fenomeno è definito **autoinduzione**, sempre presente quando vi è variazione di corrente.

Durante il tempo in cui circola corrente costante, è presente il campo magnetico costante (elettromagnete), ma non è presente l'autoinduzione che ricompare all'apertura del circuito. In questo caso si oppone alla riduzione di corrente nel circuito restituendo l'energia accumulata nel campo magnetico.

In una bobina alimentata con tensione (V) continua, alla chiusura del circuito si presenta subito tensione ai suoi capi, ma la corrente raggiunge il valore di regime in ritardo, con andamento esponenziale, in un tempo **t = L/R** (la corrente è in ritardo rispetto alla tensione).

In due bobine affiancate, senza collegamento elettrico, la corrente che circola nella prima crea un campo magnetico variabile che induce nella seconda bobina una tensione di reazione che si azzerà a regime del primo circuito. Durante la fase di apertura del primo circuito, nel secondo ricomparirà la tensione, ma con verso opposto. Questo comportamento nei due circuiti è detto **mutua induzione**.

La f.e.m. indotta in una bobina, e di conseguenza il flusso indotto, sono dipendenti dal valore dall'**induttanza L**. L'induttanza (L) si misura in Henry (H) e sottomultipli, (millihenry, microhenry).

Il valore di L dipende dalla sua costruzione (direttamente dal numero di spire e dal diametro ed inversamente dalla lunghezza).

In una bobina percorsa da corrente alternata la corrente si stabilizza con ritardo rispetto alla tensione ed è limitata da una "**resistenza apparente**" chiamata **reattanza induttiva X_L**, misurata in Ω ed aumenta con la frequenza. È definita dalla relazione:

$$X_L = 2 \pi f L$$

e per la legge di Ohm **V = X_L * I**

La combinazione d'induttanze non è usuale. Comunque hanno comportamento simile a quello delle resistenze. In serie si sommano i valori e in parallelo si riducono con la stesse legge delle resistenze. Si consideri anche l'interferenza reciproca per mutua induzione.

1h- Impedenza

unità di misura: ohm

simbolo: Ω

In corrente alternata l'induttanza e la capacità presentano una "resistenza apparente" che è definita **reattanza (X)** misurata in Ω , ma variabile col variare della frequenza. Quella del condensatore è definita X_C e quella della bobina è definita X_L

Un circuito composto da induttanze, condensatori e resistenze rappresenta una resistenza apparente definita impedenza (**Z**) (somma vettoriale dei valori, non aritmetica). Il valore dell'impedenza è variabile col variare della frequenza, con andamento complementare: aumentando la frequenza la resistenza apparente X_L aumenta mentre la resistenza apparente di X_C diminuisce, viceversa riducendo la frequenza si riduce il valore di X_L ma aumenta il valore di X_C e X_C e X_L di conseguenza si sommano algebricamente.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

L'impedenza **Z** è la radice quadrata della somma dei quadrati di R totale e X totale

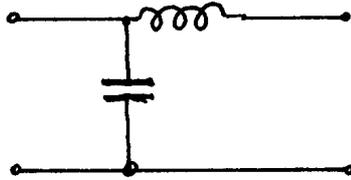
Si ricordi che solo la resistenza dissipa energia trasformandola in calore. La bobina l'immagazzina nel suo campo magnetico per restituirla quando il campo diminuisce. Il condensatore addensa cariche che restituisce quando la tensione si riduce.

Anche in questo caso vale la legge di Ohm diventando

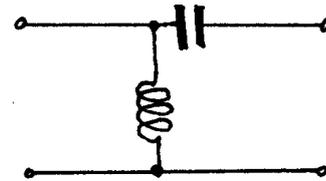
$$V = Z * I$$

1i- I filtri

I filtri elettrici sono circuiti in cui induttanza e capacità sono collegate in modo tale da selezionare un segnale elettrico eliminandone una parte in base alla frequenza. Sono di uso comune nel campo radio. Ricordando che in un'induttanza la reattanza apparente $X_L = 2 \pi f L$ aumenta con l'aumentare della frequenza, s'intuisce che il circuito presenterà una Z che aumenta con l'aumentare della frequenza. Al contrario la capacità, essendo $X_C = 1 / (2 \pi f C)$, si comporta in modo opposto e perciò Z diminuisce con l'aumentare della frequenza.



filtro passa basso



filtro passa alto

Nello schema di sinistra l'induttanza limita il segnale ad alta frequenza che è inoltre cortocircuitato dal condensatore;

Nello schema di destra, viceversa, il condensatore limita la componente a bassa frequenza (blocca la corrente continua) che viene anche cortocircuitata dall'induttanza.

I filtri quindi, sfruttando le differenti caratteristiche di induttanze e condensatori possono essere collegati in modo tale da ottenere filtri passa alto, passa basso, passa banda o elimina banda.

1I- Trasformatori

Il trasformatore è un dispositivo il cui funzionamento è basato sull'induzione elettromagnetica. È costituito da almeno due avvolgimenti elettrici separati, ma concatenati dallo stesso flusso magnetico. Il trasformatore funziona in corrente alternata.

Il flusso magnetico variabile creato dal primo avvolgimento magnetizza il circuito magnetico che induce una tensione elettrica nel secondo circuito interessato dallo stesso flusso magnetico. L'avvolgimento alimentato è detto primario, mentre l'altro è detto secondario.

Il trasformatore trasferisce potenza dall'avvolgimento primario agli altri avvolgimenti a meno delle perdite (resistenza degli avvolgimenti e nel nucleo per isteresi) modificandone i parametri V e I . Per mantenere il trasferimento di potenza, riducendo la tensione di secondario aumenta la sua corrente e viceversa affinché resti invariato il prodotto $V I$, ossia la potenza apparente nominale.

Le tensioni sono proporzionali al numero delle spire degli avvolgimenti, ovvero $V_1 / V_2 = N_1 / N_2$.

In base alla frequenza di funzionamento il trasformatore utilizza un circuito magnetico in ferro, in lega magnetica o aria. Può essere utilizzato per modificare il valore di una tensione, per isolamento elettrico fra due circuiti o per adattare l'impedenza fra due circuiti (traslatore). In questo caso vale la relazione:

$$Z_1 / Z_2 = N_1^2 / N_2^2$$

I trasformatori utilizzati nei circuiti d'alimentazione delle apparecchiature funzionano a frequenza industriale (50Hz) mentre all'interno degli apparati sono bobine di accordo, per il trasferimento di segnali, nei circuiti accordati di media frequenza e trasformatori d'uscita a frequenze audio.

I trasformatori in alta frequenza spesso sono solo bobine affiancate, con un piccolo nucleo magnetico regolabile a vite, trasferiscono segnali elettrici in alta frequenza tra stadi isolati elettricamente.

1m- Strumenti di misura

Gli strumenti di misura sono dispositivi che consentono di misurare il valore di una grandezza elettrica. Possono essere analogici o digitali.

Il tipo di strumento analogico più diffuso è quello a **bobina mobile**: una bobina è tenuta sospesa da due spirali elastiche in un campo magnetico permanente in equilibrio di forze. Quando è percorsa dalla corrente del segnale in misurazione, il campo magnetico generato si combina col campo magnetico permanente creando una forza rotante che vince la forza antagonista delle spirali elastiche. Un indice solidale con la bobina segna il valore della misurazione su un quadrante graduato. Misura solo grandezze continue.

Lo strumento a **ferro mobile** è composto da una bobina fissa che quando è percorsa da corrente agisce su un'ancoretta metallica mobile solidale con l'indice di misura. La deviazione è proporzionale all'intensità di corrente e misura grandezze continue ed alternate.

Il valore di corrente che porta l'indice alla massima deviazione è detto valore di **fondo scala**.

Questo valore può essere modificato mediante resistenze poste in parallelo alla bobina di misura (**shunt**). Per la legge di Ohm, il prodotto tra la corrente I che circola nella bobina e la sua R deve essere uguale al prodotto della corrente che circola nella resistenza di shunt I_S (corrente di misura meno corrente nello strumento) per la resistenza shunt R_S , da cui

$$R_S = r_i / I_S$$

In questo modo si può aumentare la portata amperometrica dello strumento.

Un amperometro può essere utilizzato come voltmetro se gli si collega in serie una resistenza addizionale R_A che limiti la corrente i che circola nella sua bobina:

$$R_A = V / i$$

dove V diventa il valore di fondo scala del voltmetro.

L'amperometro, misurando la corrente che circola nel circuito, deve essere collegato in serie, deve presentare perciò resistenza più bassa possibile per interferire il meno possibile con i parametri del circuito.

Il voltmetro, misurando la tensione deve essere collegato in parallelo, deve presentare resistenza più alta possibile, per non caricare il circuito, e quindi falsare la misura.

Lo strumento di misura, quando inserito in un circuito, non deve introdurre turbative.

Oggi gli strumenti di misura più diffusi sono digitali, con più funzioni con elevate prestazioni, elevata impedenza di carico e poco costosi.

2 NOZIONI DI RADIOTECNICA

2a- Onde elettromagnetiche

Un'onda "radio" è un'onda elettromagnetica alla stessa stregua della luce e dei raggi infrarossi. È prodotta da corrente ad alta frequenza (RF) e si propaga anche nel vuoto sia per onda diretta seguendo la superficie della Terra, sia per onda riflessa dagli strati ionizzanti dell'atmosfera, a differenza di un'onda acustica, che richiede un mezzo di trasporto.

Così come una corda messa in vibrazione imprime all'aria circostante il suo movimento generando onde sonore che si propagano nell'aria con onde sferiche e velocità di circa 330 m/s, in modo simile un conduttore elettrico (**antenna**) percorso da corrente a radiofrequenza cede (irradia) allo spazio le sue "oscillazioni" generando onde elettromagnetiche che si propagano per variazione continua di campo elettrico (E) e di campo magnetico (H) con velocità pari a quella della luce (300.000 km/s).

La corrente, con l'aumentare della frequenza, tende a scorrere sulla parte esterna del conduttore. Il fenomeno è noto come **effetto pelle**. Per questo, spesso le bobine per alta frequenza sono costruite con rame argentato.

Le onde elettromagnetiche sono definite dalla relazione:

$$\lambda = 300/f$$

dove λ (lambda) è la lunghezza d'onda in metri ed f è la frequenza in MHz.

Lo spettro delle onde radio è suddiviso normalmente nelle seguenti gamme:

	gamma	frequenza		lunghezza d'onda
VLF	(Very Low Frequency)	da 3 a 30kHz	miriametriche	da 100 km a 10 km
LF	(Low Frequency)	da 30 a 300kHz	chilometriche	da 10 km a 1 km
MF	(Medium Frequency)	da 300 a 3000 kHz	ettometriche	da 1 km a 0,1 Km
HF	(High Frequency)	da 3 a 30MHz	decametriche	da 100 metri a 10 metri
VHF	(Very High Frequency)	da 30 a 300 MHz	metriche	da 10 metri a 1 metro
UHF	(Ultra High Frequency)	da 300 a 3000 MHz	decimetriche	da 100 cm a 10 cm
SHF	(Super High Frequency)	da 3 GHz a 30 GHz	centimetriche	da 10 cm a 1 cm
EHF	(Extra High Frequency)	da 30 a 300 GHz	millimetriche	da 10 mm a 1 mm
MICROONDE		da 300G a 3000 GHz	decimillimetriche	da 1 mm a 0,1 mm

Le onde elettromagnetiche irradiate dall'antenna trasmittente prossima al suolo si propagano con **onde spaziali** e con **onde terrestri**. Queste ultime possono essere dirette, riflesse dal suolo e di superficie.

L'onda terrestre è utilizzata essenzialmente per radiodiffusione e collegamenti a piccola distanza e si propaga parallelamente al terreno dal quale è influenzata.

L'onda spaziale s'indirizza verso gli strati alti dell'atmosfera dove è sia riflessa sia rifratta sulla Terra in modo influenzato dalla ionizzazione. La ionizzazione dipende dalle radiazioni solari, dal periodo diurno, notturno, dalla latitudine, etc. La ionizzazione attenua il livello dell'onda radio e ne modifica il percorso riflettendola verso il suolo per poi farla rimbalzare in una serie continua di riflessioni. L'attenuazione è anche dipendente dalla frequenza: aumenta col diminuire della frequenza ed è maggiore quanto più è basso lo strato ionizzato. Gli strati ionizzanti sono costituiti da accumulo di elettroni liberi che vagano tra 100 e 400 km dal suolo e sono definiti strato D, E, F, etc. a partire dal più basso.

Nella propagazione delle **onde lunghe** (O.L. 30÷300 kHz) l'onda di superficie subisce attenuazione relativamente modesta, può percorrere distanze elevate e l'onda spaziale è riflessa dalla ionosfera praticamente senza attenuazione. La trasmissione è molto stabile e i trasmettitori sono di grandi dimensioni.

Per le **onde medie** (O.M. 300÷3000 kHz) l'onda di superficie è molto attenuata rispetto alle onde lunghe (O.L.) e percorre poche centinaia di chilometri, mentre l'onda spaziale è riflessa meno energicamente rispetto alle O.L. Penetra nella ionosfera con forte attenuazione di giorno, mentre di notte, al contrario, per effetto della modificata ionizzazione, è riflessa migliorando di molto la propagazione.

Nelle **onde corte** (HF) l'onda di superficie è attenuata rapidamente, mentre l'onda spaziale è meno attenuata delle onde medie e si propaga con continui rimbalzi a distanze elevate. È soggetta a zone di silenzio (Skip).

Onde cortissime (VHF 30÷300 MHz) l'onda di superficie è fortemente attenuata. Si ricorre all'onda spaziale limitandosi alle onde dirette. Per questo motivo sono definite ottiche (non va confusa con l'onda di superficie che si propaga strisciando lungo la superficie superando gli ostacoli).

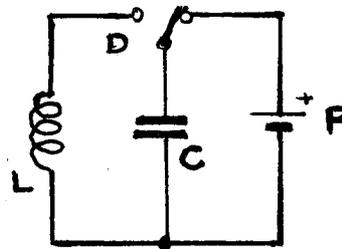
L'onda diretta è un'onda di spazio non riflessa dalla ionosfera. I collegamenti sono a vista ed è molto importante l'altezza dell'antenna.

Onde ultracorte (UHF oltre 300 MHz) segue l'onda diretta.

2b- Il circuito oscillante

Il circuito oscillante è composto da due elementi essenziali opportunamente collegati: una bobina di induttanza **L** (espressa in Henry) e un condensatore **C** (espresso in Farad) che determinano il valore della frequenza di oscillazione. La frequenza varia modificando uno dei due valori. Di norma si usano i sottomultipli di entrambi le grandezze.

Nella figura è riportato un circuito con un condensatore **C** un'induttanza **L**, una pila **P**, un deviatore **D**.



Posizionando il deviatore **D** in modo da collegare la pila al condensatore **C**, questo si carica alla tensione della pila. A questo punto, collegando il condensatore **C** all'induttanza **L**, il condensatore si scarica su di essa facendo circolare una corrente che crea nella bobina un campo magnetico. A condensatore scarico il campo magnetico tende ad annullarsi inducendo nella bobina una corrente che va a caricare il condensatore **C** in senso contrario a prima. A questo punto riparte la scarica di **C** su **L** e le oscillazioni si riducono fino ad annullarsi a causa della resistenza elettrica del circuito. Per mantenere le oscillazioni si rende necessaria una nuova carica del condensatore. Per produrre oscillazioni persistenti è necessario che il condensatore sia mantenuto carico per sopperire alle perdite dovute alla resistenza del circuito.

È possibile fare il paragone con un pendolo che, spostato dalla posizione di riposo e lasciato libero, inizia a oscillare con una determinata frequenza costante e con ampiezza che lentamente si riduce per effetto degli attriti.

Il circuito sopradescritto denominato **risonanza in parallelo o antirisonante** presenta, in risonanza, la massima impedenza, mentre essa è praticamente nulla per qualsiasi altro valore. Il circuito è un selettore di frequenza ed è utilizzato nelle antenne trappolate.

La frequenza d'oscillazione dipende dai valori di C e di L secondo la seguente relazione:

$$f = 1 / (2 \pi \sqrt{L C})$$

Se la capacità C e l'induttanza L sono collegate in serie, la reattanza risultante è data dalla differenza tra $X_L - X_C$ ed il circuito può diventare induttivo o capacitivo a seconda della grandezza che prevale. Aumentando la frequenza, X_C diminuisce mentre X_L aumenta e viceversa.

Alla risonanza serie (quando X_L e X_C si annullano) la Z del circuito è minima e coincide con il solo valore R. Di conseguenza, la corrente è massima ed è la condizione ricercata nell'accordo dell'antenna.

Si definisce **fattore di merito Q** il rapporto tra la reattanza e la resistenza di una bobina:

$$Q = X_L / R$$

Maggiore è il valore di Q, maggiore è la selettività.

2c- Oscillatore pilota (O.P.)

Il trasmettitore è la parte che genera, modula e irradia le onde radio.

Lo stadio che genera il segnale a radiofrequenza da inviare all'antenna è l'**oscillatore pilota** (O.P.) o stadio generatore di alta frequenza.

Col comando di sintonia si agisce su un elemento (L o C) del circuito oscillatore pilota per variare la frequenza del **segnale "portante"**.

Si definisce **gamma di frequenza** il campo di funzionamento dell'oscillatore pilota.

Per produrre il segnale a radiofrequenza s'impiega un circuito oscillante (bobina-condensatore) controllato da un triodo (valvola termoionica o tubo elettronico) o da un semiconduttore (transistor). L'oscillazione del circuito, tramite la griglia del triodo, crea un flusso variabile d'elettroni nel catodo. Questa variazione influenza la corrente anodica che circola nella bobina di oscillazione, la quale ricarica il condensatore. Vi sono differenti realizzazioni circuitali:

- accoppiamento a capacità, denominato circuito Colpitts
- accoppiamento per autoinduzione, denominato circuito Hartley
- accoppiamento per mutua induzione, denominato circuito Meissner

L'onda prodotta, essendo un segnale elettromagnetico, può essere inviata all'antenna che la irradia (onda portante) ma non contiene segnale di bassa frequenza.

2d- La modulazione

Il segnale a bassa frequenza "modulante" è prodotto dal microfono, un trasduttore elettroacustico ovvero il dispositivo che trasforma in segnale elettrico le oscillazioni di una membrana elastica messa in movimento dalle onde acustiche. Il microfono può essere a carbone, piezoelettrico, dinamico, a condensatore, etc. La **modulazione** imprime sul segnale di alta frequenza un segnale di bassa frequenza che può essere:

- di **ampiezza**
- di **frequenza**
- di **fase**

I primi due sono i più utilizzati.

MODULAZIONE D'AMPIEZZA (AM)

La **modulazione d'ampiezza** (AM) si ottiene sommando al segnale portante di alta frequenza un segnale modulante di bassa frequenza. Così facendo si varia l'ampiezza del segnale portante ma non la sua frequenza. La modulazione d'ampiezza è realizzata con **tubi elettronici** o con **semiconduttori**.

Tubi elettronici (o valvole termoioniche)

Sulla griglia di un triodo si manda la corrente di alta frequenza e si modula sulla tensione di griglia con il segnale di bassa frequenza. Oppure, sempre con corrente di alta frequenza in griglia si controlla la tensione di placca con il segnale di bassa frequenza.

L'AM presenta accanto alla frequenza portante anche due bande laterali simmetriche, ciascuna contenente il segnale di bassa frequenza. Ai fini della trasmissione sono ridondanti la portante e una delle due bande laterali.

Un'evoluzione della modulazione d'ampiezza è la **modulazione in banda laterale SSB (Single Side Band)**, che può essere **LSB** (inferiore) oppure **USB** (superiore).

La modulazione SSB si ottiene modificando l'involuppo della modulazione in AM eliminando una delle due bande laterali e la portante e si trasmette solo una banda laterale contenente il segnale della modulazione. Per queste ragioni la **SSB** richiede potenza ridotta del trasmettitore rispetto alla modulazione di ampiezza. Si ha emissione LSB se si trasmette la banda inferiore o USB se si trasmette la banda superiore.

Il vantaggio di questo tipo di modulazione è quello di utilizzare meglio la potenza emessa perché non si trasmette una parte di segnale che contiene informazione ridondante. Inoltre la SSB è immune da disturbi e riduce l'ampiezza della banda passante. Di contro, rende più complesso e quindi costoso il ricetrasmettitore.

MODULAZIONE DI FREQUENZA (FM)

In modulazione di frequenza **il segnale modulante varia la frequenza della portante ma non la sua ampiezza**. Un microfono a condensatore (che varia la sua capacità in base al segnale acustico) in parallelo nel circuito oscillante produce variazioni di frequenza proporzionali al segnale acustico. Lo stesso effetto è prodotto dall'uso di un tubo a reattanza. La modulazione di frequenza presenta buona insensibilità ai disturbi impulsivi.

2e- Emissione di onde radio

Ottenute le oscillazioni persistenti alla frequenza richiesta tramite l'oscillatore pilota e modulate con un segnale di bassa frequenza, il segnale radio, ancora di livello basso, può essere amplificato prima di essere inviato all'antenna che successivamente lo irradierà nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche.

2f- Lo stadio amplificatore

L'amplificatore può essere di:

- bassa frequenza** aumenta l'ampiezza di segnali modulanti, ad esempio provenienti dal microfono
- alta frequenza** aumenta la potenza del segnale inviato all'antenna.

Utilizzando un triodo e agendo sulla tensione di griglia, si controlla il flusso d'elettroni e quindi la corrente anodica. Se inviamo alla griglia il segnale alternato da amplificare, otteniamo un flusso di elettroni tra catodo e anodo con variazione identica a quella del segnale di griglia ma con corrente maggiore misurabile sulla resistenza di carico del circuito anodico.

Tra le varie classi di amplificatori, le più usuali sono:

Classe A La griglia è polarizzata in modo che la corrente anodica fluisca per l'intero ciclo della tensione di segnale.

caratteristiche: basso rendimento (25%), distorsione nulla.

In classe A funzionano gli amplificatori dei ricevitori e lo stadio audio dei trasmettitori.

Classe B La griglia è polarizzata quasi all'interdizione e la corrente anodica fluisce solo durante i semiperiodi positivi.

caratteristiche: elevato rendimento (50%), notevole distorsione.

La classe B è utilizzata negli amplificatori a radiofrequenza e nei mescolatori.

Classe C La griglia è polarizzata all'interdizione, la corrente anodica fluisce solo per una porzione dei semiperiodi positivi.

caratteristiche: elevato rendimento (75%), distorsione.

La classe C è impiegata negli amplificatori finali a radiofrequenza dei trasmettitori e negli oscillatori.

2g- Lo stadio convertitore di frequenza

È uno stadio presente in tutti i ricevitori commerciali chiamati **supereterodina** nei quali sono migliorate:

- la sensibilità, che è la capacità di selezionare segnali anche deboli
- la selettività, che è la capacità di discriminare tra frequenze poco distanti tra loro.

In questo tipo di ricevitori la frequenza che s'intende ricevere è convertita in una frequenza fissa.

La frequenza selezionata col circuito d'ingresso (segnale radio in arrivo) opportunamente amplificata è **mescolata** con il segnale generato nello **stadio oscillatore** del ricevitore ottenendo un segnale a frequenza fissa in tutta la gamma di funzionamento del ricevitore.

Nella conversione di frequenza, la frequenza in ingresso è miscelata con quella prodotta dall'oscillatore locale. Si ottengono due frequenze risultanti dalla loro somma e dalla loro differenza. Di esse ne viene utilizzata solo una e si elimina l'altra mediante circuiti di filtro o di preselezione nello stadio d'ingresso.

Questa frequenza fissa è chiamata **media frequenza** o frequenza intermedia. Essa consente una migliore selezione e amplificazione perché gli amplificatori, operando su frequenza fissa, sono ottimizzati per il massimo guadagno stabile per tutta la gamma di ricezione.

Il valore della media frequenza usualmente utilizzato nei ricevitori commerciali a modulazione di ampiezza è attorno a 455 KHz. Per quelli a modulazione di frequenza è attorno ai 10,7 MHz.

Esistono anche ricevitori con due o più stadi di media frequenza. Lo stadio **oscillatore** e **mescolatore** possono essere riuniti in un'unica valvola. In questo caso lo stadio si chiama **convertitore**.

2h- La ricezione

Le parti essenziali di un ricevitore sono quattro:

- antenna** capta le onde radio e le trasforma in segnale elettrico
- sintonizzatore** seleziona la frequenza del segnale che si intende ricevere
- rivelatore** elimina la componente R.F. conservando la B.F. (il segnale utile)
- trasduttore** (cuffia o altoparlante) trasforma il segnale di B.F. in onda acustica

L'antenna capta l'energia elettromagnetica e la convoglia in modo induttivo tramite la bobina d'antenna alla bobina del circuito oscillante. Quest'ultimo, mediante il comando di sintonia, seleziona la frequenza da ricevere.

Per essere udito, il segnale ricevuto deve essere **rivelato** (operazione opposta alla modulazione) e quindi inviato all'altoparlante o cuffia che trasforma il segnale elettrico in acustico mediante la vibrazione di una lamina elastica (cuffia).

La cuffia è costituita da due bobine avvolte su un magnete permanente sagomato a U con bobine avvolte sui due bracci. Sulle sue espansioni polari si affaccia una membrana elastica di acciaio. Le due bobine sono percorse dal segnale di B.F. che modifica lo stato di equilibrio facendo vibrare la membrana. Quest'ultima imprime oscillazioni all'aria circostante.

Per ricevere segnali radiotelegrafici non modulati, il processo di rivelazione non è sufficiente (non vi è segnale di B.F.). È necessario quindi creare nel ricevitore stesso la componente di B.F.

Per fare questo si sfrutta il fenomeno del battimento. Esso consiste nell'applicare al rivelatore, contemporaneamente al segnale in arrivo, un segnale con frequenza di poco differente tale che la combinazione dei due produca un **segnale di battimento** nel campo delle frequenze acustiche. Questo artificio è chiamato B.F.O. (**B**eat **F**requency **O**scillator).

2i - La rivelazione

Il segnale radio ricevuto tramite l'antenna e i circuiti accordati è a una frequenza superiore al limite dell'udibile. Si rende quindi necessario estrarre la componente di bassa frequenza mediante lo **stadio rivelatore**. Nel caso di modulazione di ampiezza il componente fondamentale è il **diodo** che può essere un tubo elettronico o un semiconduttore.

Il diodo modifica il segnale a radiofrequenza in un segnale fluttuante unidirezionale evidenziando metà onda di radiofrequenza. Contemporaneamente, la componente d'alta frequenza è cortocircuitata a massa tramite un condensatore e la bassa frequenza è inviata direttamente in cuffia per l'ascolto oppure è amplificata per far funzionare un altoparlante.

Lo stadio rivelatore per la modulazione di frequenza è detto **discriminatore**. Esso è più complesso del rivelatore a diodo. Trasforma le variazioni di frequenza in tensione utilizzando un trasformatore con secondario a presa centrale. Sui suoi due rami i segnali sono sbilanciati ed il segnale risultante è la B.F. audio da riprodurre.

Per ascoltare un segnale in SSB è necessario ricostruire nel ricevitore la portante non trasmessa con la quale fare "battere" il segnale SSB ricevuto.

Si utilizza il rivelatore a prodotto che miscela il segnale proveniente dalla media frequenza con quello dell'oscillatore locale di battimento (BFO), ricostruendo nel ricevitore la parte di segnale eliminata nel trasmettitore e quindi non trasmessa.

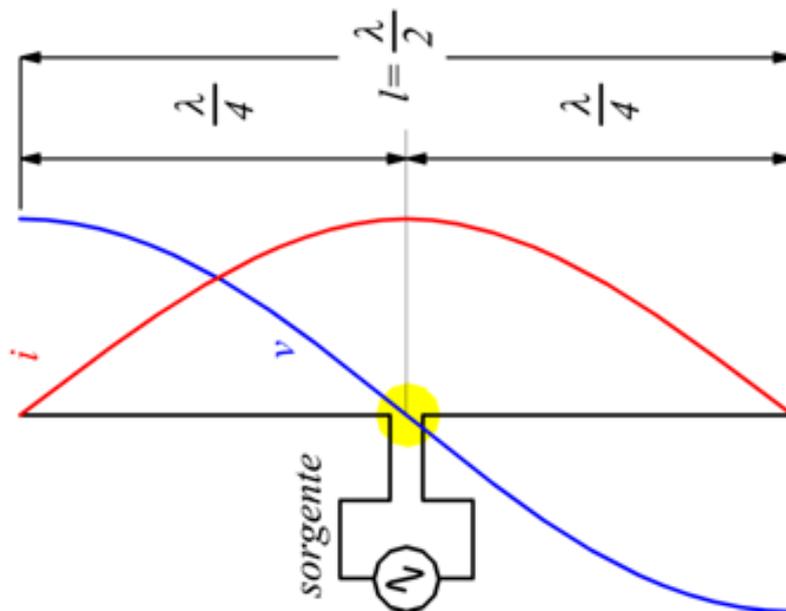
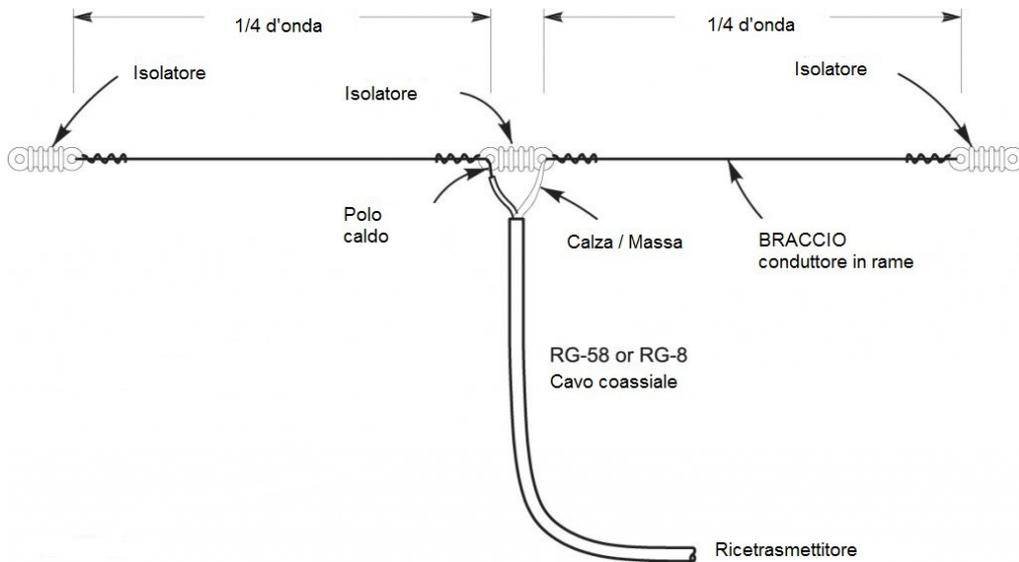
Il segnale di media frequenza è filtrato come quello in trasmissione prima di essere miscelato con quello dell'oscillatore locale. Successivamente passa al rivelatore a prodotto che utilizza lo stesso diodo utilizzato in AM.

2I- L'antenna

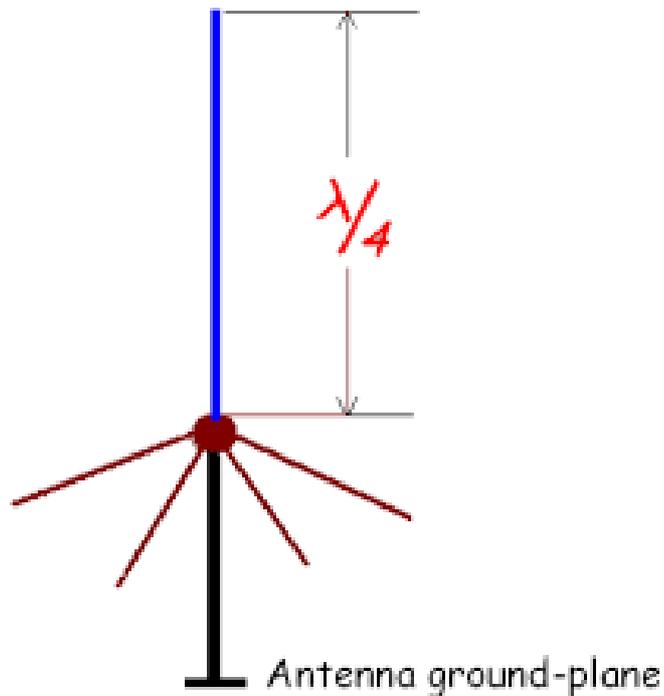
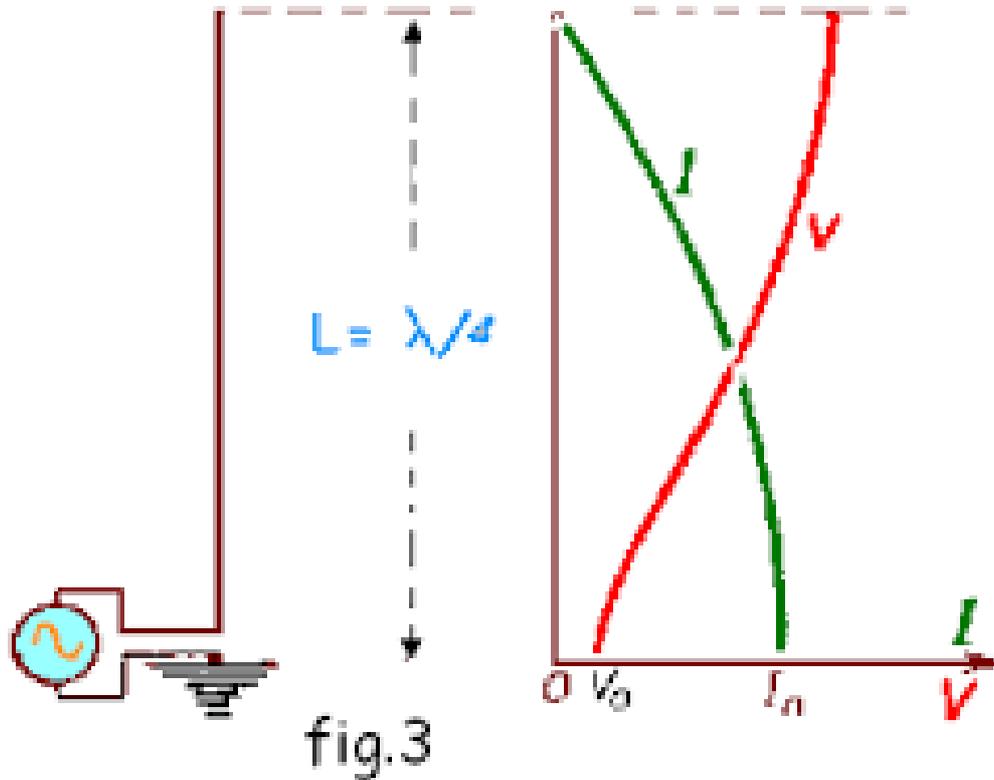
Qualsiasi conduttore elettrico può irradiare o ricevere un segnale a radiofrequenza se la sua lunghezza può **risuonare** alla lunghezza d'onda del segnale da ricevere o trasmettere. In risonanza si ha tensione nulla e corrente massima, quindi il massimo di energia irradiata o ricevuta.

Si ha risonanza quando il conduttore è di lunghezza uguale a $\lambda/2$. In queste condizioni, a metà lunghezza, si ha un ventre di corrente e l'impedenza è minima (50Ω o 75Ω). È questo il punto di alimentazione dell'antenna.

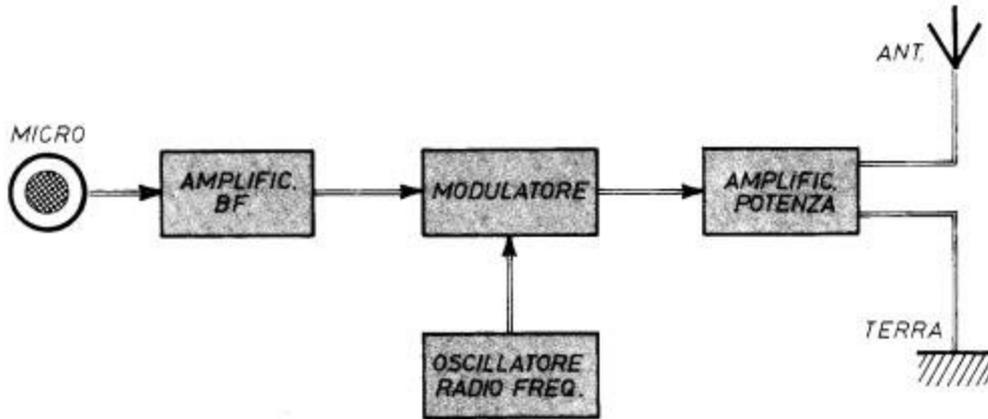
L'antenna orizzontale lunga $\lambda/2$ e alimentata al centro, quindi a $\lambda/4$ d'onda, si chiama **dipolo**.



Se ruotiamo l'antenna in posizione verticale e ne utilizziamo metà, otteniamo l'antenna a stilo alimentata alla base (lo stesso punto d'alimentazione del dipolo). L'altra metà del dipolo è collegata a terra e rappresenta il **contrappeso**.



2m - Schema a blocchi di un trasmettitore



Le parti fondamentali di un trasmettitore sono:

- oscillatore pilota** genera il segnale di alta frequenza A.F.,
- amplificatore di B.F.** amplifica il segnale elettrico del microfono fino al livello necessario per la modulazione,
- modulatore** miscela il segnale portante di A.F. con il segnale di B.F. da trasmettere,
- amplificatore di potenza in A.F.** aumenta, se necessario, il segnale che si manda all'antenna,
- antenna** crea il campo elettromagnetico nello spazio intorno ad essa e cede energia allo spazio
- alimentatore** fornisce le tensioni necessarie per il funzionamento degli stadi descritti.

2n- Schema a blocchi di un ricevitore

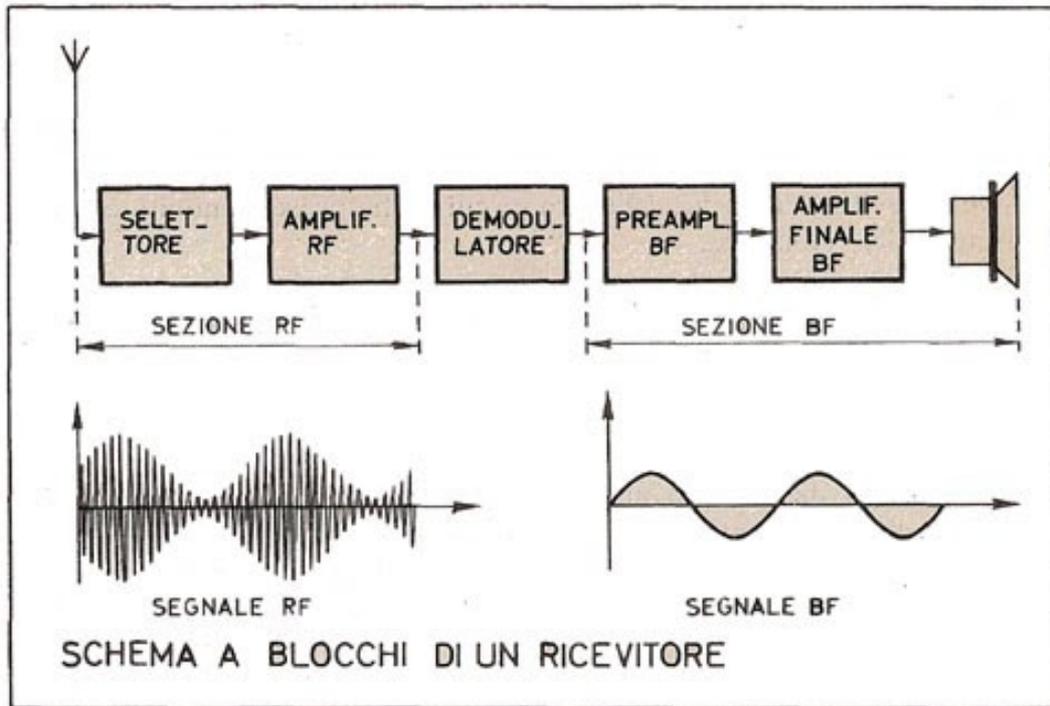


Fig. 1

Le parti fondamentali di un ricevitore sono:

- antenna** le onde elettromagnetiche che la investono inducono una tensione a radiofrequenza,
- preselettore** filtro che elimina la frequenza immagine del segnale che s'intende ricevere,
- oscillatore locale** genera la frequenza necessaria per la conversione in media frequenza,
- mescolatore** miscela il segnale selezionato in arrivo con quello prodotto dall'oscillatore locale dando origine al segnale di media frequenza,
- amplificatore di media frequenza** può essere a più stadi,
- rivelatore** separa il segnale audio dalla radiofrequenza,
- oscillatore di nota** permette la ricezione in telegrafia di onde persistenti, (BFO),
- amplificatore di B.F.** aumenta il segnale al livello necessario per l'utilizzo in un trasduttore,
- trasduttore elettroacustico** cuffia o altoparlante per ascoltare il segnale acustico,
- complesso alimentatore** fornisce le tensioni necessarie per il funzionamento del ricevitore,

2o- La valvola termoionica

Nei metalli vi sono elettroni (carica negativa) liberi di muoversi tra gli atomi con energia in stretta relazione con la temperatura. In condizioni normali gli elettroni non riescono a superare la superficie del metallo perché trattenuti da una forza di natura elettrica positiva.

Riscaldando il metallo in modo che la forza degli elettroni superi quella del campo elettrico che li vincola si ha l'emissione **termoionica**, una sorta di nube elettronica con carica negativa che si muove in modo caotico attorno alla superficie del metallo, variabile secondo il metallo. Gli emettitori sono riscaldati in modo diretto o indiretto.

Ipotesizziamo di potere inserire in una normale lampadina un'asta di metallo senza eliminare il vuoto all'interno. All'accensione avremo gli elettroni ammassati attorno al filamento, ma se colleghiamo l'asta di metallo al polo positivo di una batteria il cui polo negativo sarà collegato al filamento, il vuoto all'interno della lampadina diverrà conduttore. Tra il filamento e l'asta metallica si è creato un flusso di cariche elettriche mantenuto dalla tensione della batteria.

Gli elettroni emessi dal filamento incandescente (**catodo**) attraversano lo spazio tra filamento e asta (**anodo**), arrivano al polo positivo della pila, la attraversano e tramite il polo negativo tornano al filamento. Questo movimento rappresenta la **corrente anodica** e la pila è chiamata **batteria anodica**.

Se invertiamo il collegamento della batteria, il flusso d'elettroni si blocca perché l'asta è carica di elettroni (negativa). Sostituendo la batteria con una tensione alternata si ha flusso di elettroni solo durante la semionda in cui la placca è positiva rispetto al catodo.

Nel caso presentato la "lampadina" rappresenta un **diodo** (anodo e catodo).

Il **triodo** è un tubo fornito di un terzo elettrodo posto in vicinanza del catodo detto **griglia controllo**. Se questo elettrodo è tenuto a potenziale negativo rispetto al catodo, addensa elettroni che frenano quelli emessi dal filamento incandescente. Ha quindi la capacità di controllare il flusso di elettroni catodo-anodo. Quando la griglia di controllo è allo stesso potenziale del catodo, il tubo si comporta come un diodo (griglia inesistente), mentre quando la griglia è sufficientemente negativa rispetto al catodo il flusso di elettroni risulta interdetto.

I **tetrodi** sono tubi con una seconda griglia (**griglia schermo**) avente lo scopo di ridurre la capacità fra griglia ed anodo.

Il **pentodo** è un tubo perfezionato con l'aggiunta di un'ulteriore griglia (**griglia soppressore**) collegata al catodo con lo scopo di evitare la corrente inversa d'elettroni di rimbalzo dall'anodo.

Le valvole possono avere diverse funzioni:

valvola oscillatrice produce una tensione oscillante,

valvola amplificatrice aumenta l'ampiezza di un segnale,

valvola rivelatrice elimina la radio frequenza ed evidenzia il segnale audio (diodo).

2p- I semiconduttori

Sono materiali con conducibilità intermedia tra i metalli e gli isolanti. La loro resistenza elettrica diminuisce con l'aumento di temperatura (contrariamente ai conduttori). I di materiali base sono il germanio o silicio.

Nei materiali semiconduttori, che sono elementi tetravalenti, s'introduce un elemento (impurità) pentavalente o trivalente. Di conseguenza si crea una situazione strutturale sbilanciata (non dovuta ad elettrizzazione) positiva o negativa che, cercando il riequilibrio, lo fa diventare conduttore.

Per potersi inserire nel reticolo cristallino, gli atomi dell'impurità trivalente inseriti nel cristallo tetravalente di germanio o silicio catturano un elettrone dall'atomo più vicino creando lacune o **cariche positive**. Gli atomi resi così incompleti sottraggono un elettrone in catena a quelli vicini facendo vagare le cariche maggioritarie positive di atomo in atomo.

Al contrario, gli atomi d'impurità pentavalente inseriti nel cristallo tetravalente di germanio o silicio, per inserirsi nel reticolo cristallino scacciano un elettrone che entra nell'atomo più vicino creando **cariche negative** in catena che vagano di atomo in atomo.

Il cristallo con cariche maggioritarie positive è detto di **tipo P**. In esso si trovano atomi ionizzati negativamente e cariche vaganti positive. L'altro è detto di **tipo N** e in esso si trovano atomi ionizzati positivamente ed elettroni vaganti.

Unendo un pezzo di cristallo **P** con un pezzo di cristallo **N** le cariche libere vicine alla superficie di contatto si addensano neutralizzandosi nella zona di **giunzione**.

Applicando una forza elettromotrice positiva sul cristallo P e negativa sul cristallo N si ha circolazione di corrente che viene a mancare se s'invertono le polarità.

Quindi la **giunzione PN** realizza un **diodo raddrizzatore** la cui caratteristica peculiare è quella di avere elevata conduttività elettrica nel senso diretto ed elevata resistenza in senso inverso.

Come una giunzione PN si comporta da **diodo**, due giunzioni **PNP** od anche **NPN** hanno comportamento simile al triodo. Questo dispositivo prende il nome di **transistor**.

Nel transistor la prima zona P (o N) si chiama **emettitore**, la zona N (o P) si chiama **base**, la seconda zona P (o N) si chiama **collettore**. Proponendo l'analogia con i tubi elettronici:

base	= griglia
emettitore	= catodo
collettore	= anodo

Il transistor è un semiconduttore a tre terminali in grado di funzionare come oscillatore, amplificatore, interruttore e in generale in quasi tutti i circuiti in cui si utilizzano valvole termoioniche. Il transistor è un dispositivo nel quale, similmente al triodo, agendo sulla modesta tensione di base (griglia) si modifica la corrente di base che a sua volta è in grado di regolare la corrente relativamente intensa del collettore.

Per fare funzionare il transistor è necessario polarizzare le giunzioni in modo corretto. Ad esempio, un transistor NPN richiede che la base sia leggermente positiva rispetto all'emettitore (0,2 V se al germanio e 0,7 V se al silicio, corrispondenti alla soglia di conduzione) mentre il collettore deve essere positivo rispetto all'emettitore.

Le correnti interne sono legate dalla relazione $I_E = I_C + I_B$

Il parametro $\beta = I_C/I_B$ è il coefficiente di amplificazione del transistor, mentre il comportamento del transistor in frequenza è definito da f_T , che è la frequenza alla quale il guadagno si riduce all'unità.

Altri parametri da considerare sono le massime tensioni d'impiego: V_{CE0} rappresenta la massima tensione tollerabile dal transistor. Il transistor può essere collegato:

- ad emettitore comune** il carico è su collettore ed emettitore, l'ingresso è tra base ed emettitore
- a base comune** il carico è tra collettore e base, l'ingresso è tra emettitore e base
- a collettore comune** il carico è tra collettore ed emettitore, l'ingresso è tra base collettore

diodo Zener semiconduttore che ad un valore critico di tensione inversa (tensione di Zener) entra in conduzione. È utilizzato come regolatore di tensione.

transistor FET: (Field Effect Transistor) transistor ad effetto di campo, presenta impedenza d'ingresso molto elevata e basso livello di rumore.

3 FORMULARIO

Nelle formule si deve sempre utilizzare l'unità di misura fondamentale.

simboli moltiplicatori

G	(giga)	10^9
M	(mega)	10^6
K	(chilo)	10^3
m	(milli)	10^{-3}
μ	(micro)	10^{-6}
n	(nano)	10^{-9}
p	(pico)	10^{-12}

corrente elettrica **$A=Q/s$** dove **A** indica l'intensità corrente, **Q** la quantità di carica, **s** il tempo (secondo)

corrente continua

grandezze

V tensione misurata in V (volt)
I corrente misurata in A (ampere)
R resistenza misurata in Ω (ohm)
P potenza misurata in W (watt)

legge di Ohm

$V= R \cdot I$ (e le formule inverse)

potenza

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

corrente alternata

grandezze

V tensione misurata in V (volt)
 $V_M=V_{eff} \cdot 1,41$
I corrente misurata in A (ampere)
Z impedenza misurata in Ω (ohm). L'impedenza tiene conto della reattanza induttiva X_L delle induttanze e della reattanza capacitiva X_C dei condensatori. Si calcola **$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$** .
P potenza, misurata in W (watt)

legge di Ohm

$V=Z \cdot I$ (e le formule inverse)

potenza

potenza apparente **$P(A)=V \cdot I$** (e le formule inverse)
 potenza attiva **$P=V_x \cdot I_x \cdot \cos\phi$** (e le formule inverse)

Il valore di due resistenze in parallelo è dato da:

$$R_{Tot} = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2)$$

Se le due resistenze sono di valore uguale, il valore si dimezza. Se sono più di due, il valore risultante è dato da: 1/la somma dei valori reciproci.

Carica elettrica nel condensatore	$Q = C * V$ (Q in coulomb, C in Farad, tensione in Volt)
costante di tempo di un condensatore	$T = R * C$ (R in Ω , C in F, T in secondi)
la reattanza capacitiva in Ω	$X_C = 1 / (2\pi f C)$ $2\pi f = \omega$ è la pulsazione
energia accumulata in un condensatore	$W = \frac{1}{2} C V^2$

I condensatori in parallelo sommano le singole capacità, in serie la capacità totale si calcola con la formula:

$$C_{Tot} = (C_1 * C_2) / (C_1 + C_2)$$

costante di tempo di un'induttanza in secondi.	$T = L / R$ (L in Henry, H e R resistenza in Ω)
reattanza induttiva in Ω	$X_L = 2\pi f L$ anche $X_L = \omega L$ (L in H)

la reattanza segue le stesse regole delle resistenze.

nel trasformatore	$V_1 / V_2 = N_1 / N_2$ (V sono le tensioni e N il numero delle spire)
il rapporto di trasformazione K è dato da	$K = N_1 / N_2$
se usato come adattatore d'impedenza	$Z_1 / Z_2 = N_1^2 / N_2^2$

lunghezza d'onda radio	$\lambda = 300 / f$ dove λ in metri e f in MHz
------------------------	--

la frequenza di un circuito oscillante	$f = 1 / (2\pi \sqrt{L C})$ (L induttanza e C capacità circuito)
coefficiente di risonanza Q	$Q = 2\pi f L / R$ quindi anche $Q = X_L / R$,

più il valore di Q è alto più il circuito è selettivo

nel transistor	$I_E = I_C + I_B$
il coefficiente di amplificazione	$\beta = I_C / I_B$