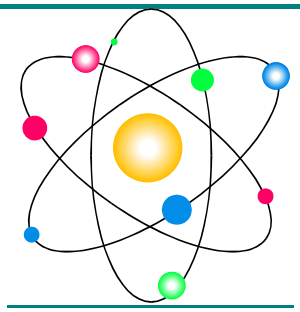
APPUNTI DI ELETTROTECNICA E RADIOELETTRONICA



Tensione V = volt = un elemento Weston /1,0186
Joule J = unità internazionale di lavoro = 1/10 di kilogrammetro
Coulomb = quantità di elettricità che deve spostarsi sotto la tensione di 1 volt per determinare il lavoro di 1 joule. *1 joule = 1 coulomb x 1 volt* - 1 coulomb = 6,22 x 10^{18} elettroni.
Differenza di fase o sfasamento φ : $\varphi = t/T = \varphi/360°$
Frequenza della corrente alternata f = periodi compiuti in un secondo **f = 1/T T= 1/f**
Flusso magnetico Φ. **$\Phi = L.i$**
i = valore istantaneo che assume la corrente alternata in un determinato istante.
I_M = il più elevato valore istantaneo che la corrente alternata raggiunge durane un periodo.
Intensità di corrente I (ampere) = *quantità di elettricità/tempo. 1 ampere = 1coulomb/1 secondo.*
Impedenza del circuito induttivo Z = $Z = \sqrt{R^2+X^2}$
henry = unità adottata per misurare l'induttanza dei circuiti
Induttanza o coefficiente di autoinduzione nei circuiti a corrente alternata L
Legge di Ohm = **R= V/I I= V/R V= R.I**
Resistenza R (Ω) .
Watt W = unita di potenza/tempo per cui = 1 joule/sec. ***1 watt = 1 volt x 1 ampere***
1 KW = 1,36 HP
Potenza P = P = V.I da cui sostituendo a V il valore R.I dato dalla legge di Ohm, la potenza assorbita risulta espressa da : **$P = RI.I = RI^2$**
Pulsazione ω = costituisce la velocità angolare del vettore rotante espressa in radianti al secondo.

$$\omega = 2\pi f \qquad \omega = 2\pi/T$$

Reattanza X = $X = 2\pi f L$ è tanto maggiore quanto più alta è la frequenza
Trasformatore sotto carico, corrente di reazione I'_1
Cos ϕ = coseno dell'angolo di sfasamento tra tensione e corrente in ogni singola fase

LEGGE		FORMULA	NOTE
Legge di Ohm		**R = V/I I = V/R V = R.I**	
Potenza		$P = R.I^2$	
Pulsazione		$\omega = 2\pi.f$ $\omega = 2\pi/T$	
Reattanza		$X = 2\pi.f.L$	tanto > quanto + alta è f
Flusso magnetico		$\Phi = L.i$	
Valore efficace C.A.		$I = 0{,}7 . I_M$	
Frequenza di risonanza fr		$fr = \frac{1}{2p\sqrt{LC}}$	
Potenza reale P	C.A.	$P = V.I.\cos\varphi$	vedi triangolo delle potenze
Potenza reattiva Q	C.A.	$Q = V.I \operatorname{sen}\varphi$	come sopra
Potenza apparente A	C.A.	$A = V.I$	come sopra
Fattore di potenza del carico		$\cos\varphi = P/A$	come sopra

Primo principio di Kirchhoff: *la somma aritmetica delle intensità delle correnti dirette verso un nodo di una rete di conduttori filiformi è uguale in valore alla somma aritmetica di tutte le correnti che se ne allontanano. Quando si considerino positive le correnti dirette verso il nodo e negative quelle che partono dal nodo, si può dire che la somma algebrica delle correnti che percorrono tutti i lati che convergono in un nodo e costantemente nulla.*
Secondo principio di Kirchhoff : *in una rete di conduttori filiformi, percorsi da corrente, la somma algebrica di tutte le forze elettromotrici che agiscono in una maglia è uguale alla somma algebrica delle caduta di tensione lungo i lati appartenenti alla stessa maglia.*

Effetto Joule : *in un tratto di circuito qualsiasi di resistenza elettrica R e percorso da una corrente di intensità costante I, si sviluppa ad ogni secondo una quantità di calore equivalente alla potenza elettrica espressa dal prodotto RI^2 e cioè dal prodotto della resistenza per il quadrato della corrente o anche dal prodotto della caduta ohmica RI per l'intensità I della corrente. Per la legge di Joule resta così stabilito che in ogni conduttore percorso da corrente avviene una trasformazione di energia elettrica in calore.*

Capacità di un condensatore : C = Q/V la capacità di un condensatore esprime la carica elettrica che esso può assumere, rapportata all'unità di tensione, e cioè la quantità di elettricità che viene a trovarsi contrapposta sulle armature del condensatore.

Q=CV
V=Q/C

La capacità dei condensatori viene ad essere misurata in coulomb/volt: questa espressione indica così l'unità di misura della capacità dei condensatori che viene più brevemente designata con il nome internazionale di farad (F). $1\ \mu F = 1/10^6\ F$. Il microfarad è l'unità che più comunemente si usa in pratica per indicare la capacità dei condensatori.

Induzione elettromagnetica : si designa con il nome di induzione elettromagnetica il fenomeno della generazione di una f.e.m. o tensione elettrica per mezzo di un campo magnetico.

Legge di Neumann : Qualunque f.e.m. indotta è sempre uguale al flusso tagliato dal circuito diviso per il tempo impiegato a tagliarlo- $\mathbf{E_m = \Phi/T}$ $\mathbf{\Phi = E_m . T}$

Principio su cui è basato il funzionamento dei motori elettrici. Un conduttore rettilineo percorso da corrente e immerso in un campo magnetico uniforme è soggetto ad una forza elettromagnetica la quale agisce normalmente al conduttore e al campo ed è diretta nel verso determinato dalla regola delle tre dita della mano sinistra (medio corrente I, indice campo B e pollice forza f). L'intensità della forza è proporzionale al prodotto dell'induzione del campo, per la lunghezza del conduttore, per l'intensità della corrente che lo percorre . **F = B.l.I** espressa in newton che equivale alla formula espressa in Kg **F = 0,102.B.l.I** di cui:
l = lunghezza del conduttore **B** = campo magnetico uniforme in cui il circuito è immerso **I**=intensità della corrente.

Legge di Lenz : *la f.e.m. indotta* ha sempre verso tale da contrastare la causa da cui ha origine e cioè la variazione di corrente nel circuito; quindi *la f.e.m. di autoinduzione* dovrà avere verso tale da contrastare la variazione di corrente.
Se pertanto la f.e.m. di autoinduzione è dovuta ad un aumento di corrente, essa agirà in verso opposto alla corrente, dovendo contrastarne l'aumento; viceversa se è dovuta ad una diminuzione di corrente, essa agirà nel circuito nello stesso verso in cui circola la corrente, dovendo contrastare la diminuzione ossia dovendo opporsi a che la corrente abbia a diminuire.

Diodo : la proprietà più essenziale del diodo sta nel fatto che *la conducibilità del diodo* si manifesta in un solo verso e cioè si ha passaggio di corrente solo se la placca funziona da anodo e il filamento da catodo: in ciò consiste la cosiddetta proprietà valvolare del diodo, il quale funzione come una valvola automatica lascia passare solo corrente in un verso e la interrompe nel verso opposto. Il diodo può funzionare come raddrizzatore di corrente alternata in corrente unidirezionale.

Periodo della corrente alternata: l'intervallo di T durante il quale la corrente assume tutti i valori positivi e negativi, che poi si ripetono indefinitamente in tutti gli intervalli eguali e successivi.

Valore efficace delle correnti e delle tensioni alternate: si intende per valore efficace di una corrente alternata quel valore che dovrebbe avere una corrente continua circolante nello stesso circuito in tempi eguali lo stesso effetto termico. $\mathbf{I = I_m / \sqrt{2}}$ $\mathbf{I_m.\sqrt{2}}$ praticamente si può ritenere:

$$\mathbf{I = 0{,}707 \, . \, I_m}$$

Fenomeno di autoinduzione nei circuiti a corrente alternata : nei circuiti a corrente alternata, nel determinare la intensità della corrente di deve tenere conto oltreché della f.e.m. o della tensione alternata, direttamente applicate, anche della f.e.m. di autoinduzione che si genera nel circuito per effetto delle stesse alternazioni della corrente che lo percorre.
Ogni circuito quando è percorso da corrente produce un determinato flusso magnetico, il cui valore è proporzionale all'intensità della corrente che percorre il circuito: si denota col nome di induttanza o coefficiente di autoinduzione del circuito considerato, quel fattore **L**, che moltiplicato per l'intensità della corrente **i** che lo percorre, dà il flusso magnetico **F** che viene a trovarsi concatenato con il circuito stesso.

Fenomeno di mutua induzione : se un circuito percorso da corrente è in presenza di un altro circuito, può accadere che una parte più o meno rilevante delle linee di induzione generate dal primo circuito arrivi a concatenarsi anche con il secondo; si dice in tal caso che i circuiti sono induttivamente accoppiati, perché ogni variazione di corrente nel primo circuito viene a generare una f.e.m. indotta anche nel secondo circuito.

Induttanza o coefficiente di autoinduzione in un circuito alternato: è quel fattore **L** che, moltiplicato per l'intensità della corrente **i** che lo percorre, dà il flusso magnetico **Φ** che viene a trovarsi concatenato con il circuito stesso.

Circuito a corrente alternata puramente ohmico : la tensione applicata è interamente impegnata a vincere la caduta ohmica di tensione dovuta alla resistenza elettrica del circuito; corrispondentemente la corrente e la tensione si mantengono in fase tra loro e fra i rispettivi valori efficaci vale la legge di Ohm nella stessa forma che essa avrebbe se si trattasse di corrente continua.

Circuito a corrente alternata puramente induttivo : in un circuito puramente induttivo la tensione applicata **v** è in ciascun istante uguale ed opposta alla f.e.m. di autoinduzione $\mathbf{e_s}$**.** La f.e.m. di autoinduzione si oppone alle variazioni della corrente e cioè tende a contrastare le sue alternazioni: perché la corrente dunque possa effettivamente permanere nel circuito seguendo le sue alternazioni periodiche è precisamente necessario applicare ai capi del circuito una tensione la quale si opponga e faccia equilibrio in ciascun istante alla f.e.m. di autoinduzione. *Il fenomeno dell'autoinduzione provoca una caduta induttiva di tensione, rappresentata dalla f.e.m. di autoinduzione con il segno cambiato, e conseguentemente ai capi del circuito si deve applicare una tensione che rimane interamente impegnata a compensare questa caduta.* La tensione è sfasata in anticipo di 90° rispetto alla corrente.

Il valore massimo della tensione sarà $V_M = \omega L I_M$ e il suo valore efficace risulta

$\mathbf{V = \omega L I}$ essendo **I** il valore efficace della corrente.

Il prodotto $\mathbf{\omega . L}$ viene correntemente indicato con **X** ponendo:

$$X = \omega.L = 2\pi.f.L$$

per scrivere di conseguenza

$$\mathbf{V = X.I} \quad \mathbf{e} \quad \mathbf{I = V/X}$$

Il fattore X che tiene il posto di una resistenza viene designato con il nome di *reattanza magnetica o induttiva* del circuito, e viene misurata in ohm come una resistenza.

Circuiti induttivi in generale : sono quelli che presentano una resistenza ohmica **R** e una certa induttanza **L.** Qualunque sia l'effettiva conformazione del circuito, esso equivale in sostanza ad un circuito puramente ohmico w ad uno puramente induttivo collegati in serie fra loro: essi hanno la stessa intensità **i**, mentre la tensione **v** ai capi della serie sarà in ciascun istante pari alla soma algebrica delle due tensioni parziale v_R e v_X che rappresentano rispettivamente *la caduta ohmica* e *la caduta induttiva* del circuito considerato.

La caduta ohmica di tensione dovuta alla resistenza elettrica R è rappresentata dal vettore $\mathbf{V_R}$ di ampiezza in fase con il vettore rappresentativo della corrente I

$$\mathbf{V_R = R.I}$$

La caduta induttiva di tensione che è rappresentata dal vettore $\mathbf{V_X}$ sfasata rispetto al vettore della corrente I di 90° in anticipo.

$$\mathbf{V_X = X.I}$$

La tensione da applicare ad un circuito induttivo per mantenervi una corrente sinusoidale è determinata in ampiezza e fase dall'ipotenusa di un triangolo rettangolo che ha per cateti il vettore rappresentativo della caduta ohmica V_R in fase con il vettore della corrente I, ed il vettore della caduta induttiva V_X sfasato rispetto alla corrente di 90° in anticipo: questo triangolo costituisce ***il triangolo delle tensioni del circuito.***

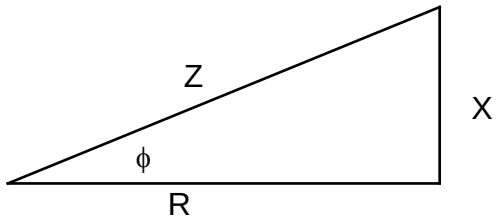
$$\mathbf{V^2 = V^2_R + V^2_X} \text{ ossia } \mathbf{V^2 = (RI)^2 + (XI)^2 = I^2.(R^2+X^2)}$$

Ne risulta che il valore efficace V della tensione occorrente per mantenere nel circuito la corrente I è determinato dalla relazione:

$$\mathbf{V = I.\sqrt{R^2+X^2}}$$

Rispetto ai valori efficaci della corrente e della tensione il circuito induttivo si comporta come se fosse dotato di una resistenza apparente definita in ohm dall'espressione $\sqrt{R^2+X^2}$: questa resistenza apparente viene comunemente designata con il nome di *impedenza del circuito induttivo Z.*
Conseguentemente, si esprime il valore efficace della tensione mediante la relazione

$$\mathbf{V = Z.I}$$



$$\mathbf{tang\ \varphi = X/R}$$

Condensatore in un circuito a corrente alternata - Un condensatore in questo tipo di circuito si carica e si scarica ogni periodo per cui produce anch'esso una f.e.m. e conseguente resistenza apparente detta *reattanza capacitiva* $X_C = 1/\omega C$ che viene misurata in ohm.
Un condensatore inserito in un circuito percorso da una corrente alternata sinusoidale provoca una caduta di tensione capacitiva V_C che ha il valore efficace X_C.I ed è sfasata di 90° in ritardo rispetto alla corrente.

$$\mathbf{V_C = Xc.\ I}$$

Circuiti capacitivi	Circuiti induttivi
Un condensatore C alimentato alle armature da una tensione sinusoidale è attraversato da una corrente sinusoidale IC che è sfasata di un quarto di periodo in anticipo rispetto alla tensione. Viceversa facendo attraversare un circuito comprendente un condensatore da una corrente sinusoidale, il condensatore provoca una caduta capacitiva di tensione V_C che è sfasata di un quarto di periodo rispetto alla corrente.	Una induttanza pura L alimentata ai capi da una tensione sinusoidale assorbe una corrente sinusoidale I_L che è sfasata di un quarto di periodo in ritardo rispetto alla tensione. Viceversa facendo attraversare un circuito comprendente una induttanza da una corrente sinusoidale, l'induttanza provoca una caduta induttiva di tensione V_L che è sfasata di un quarto di periodo in anticipo rispetto alla corrente.
Per una data tensione efficace V il valore efficace I_C della corrente assorbita dal condensatore è data da $I_C=\omega CV$ ed è tanto maggiore la capacità quanto più alta è la frequenza.	Per una data tensione efficace V il valore efficace I_L della corrente assorbita da una induttanza pura dato da $I_L=V/\omega L$ ed è cioè tanto minore quanto più grande è l'induttanza e quanto più alta è la frequenza.
Il condensatore presenta una reattanza capacitiva Xc che è data in valore da $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ Se la frequenza f diventa elevatissima la reattanza X_C diventa piccolissima, come se il condensatore venisse posto in corto circuito. Viceversa se la frequenza diventa molto bassa, il condensatore si comporta quasi come una interruzione del circuito.	L'induttanza presenta una reattanza magnetica X_L che è data da $X_L = \omega L = 2\pi f L$ Se la frequenza f diventa elevatissima, la reattanza X_L diventa grandissima come se il circuito fosse quasi interrotto. Viceversa se la frequenza diventa molto bassa, l'induttanza si comporta come fosse posta in corto circuito.

Nota importante: tanto il condensatore come l'induttanza, quando sono inseriti in un circuito a corrente alternata, hanno la proprietà essenziale di immagazzinare energia durante un quarto di periodo, per restituirla nel quarto di periodo seguente e così via, ma questo avviene con vicenda opposta. Il condensatore assorbe energia per caricarsi, e l'energia accumulata è massima quando è massima la tensione alle armature, mentre la corrente è zero; l'induttanza invece assorbe energia per formare il campo magnetico e l'energia accumulata è massima quando è massima la corrente mentre la tensione ai morsetti è zero. Ne segue che, se una induttanza e un condensatore sono inseriti nello stesso circuito, possono scambiarsi energia fra loro.

Fenomeno della risonanza nei circuiti con induttanza e capacità in serie. R L C. Pag.217

Un condensatore inserito in un circuito a corrente alternata determina sfasamenti opposti a quelli provocati da una induttanza L e che tanto il condensatore quanto l'induttanza hanno la proprietà essenziale di immagazzinare energia durante un quarto di periodo, per restituirlo nel quarto di periodo successivo. Poiché questo scambio di energia avviene con vicenda opposta, se una induttanza ed una capacità si trovano contemporaneamente inserite nello stesso circuito, esse possono scambiarsi energia fra loro nel senso che il condensatore può caricarsi a spese dell'energia che proviene dal campo magnetico che contemporaneamente si estingue attorno alla induttanza e successivamente, quando il condensatore si scarica, l'energia che esso restituisce può ricostituire il campo magnetico attorno all'induttanza e così via. Se questo gioco di scambio è perfetto, il generatore non deve più fornire alcuna potenza reattiva, ma solamente la potenza reale che viene trasformata in lavoro. Quando ciò accade, si dice che *il circuito è in risonanza*. Il circuito comprende una induttanza **L**, una capacità **C** collegate in serie e una certa resistenza ohmica **R.**

Circuiti oscillanti : sono costituiti da una induttanza e una capacità in parallelo considerando la resistenza ohmica nulla. Il circuito è percorso da una corrente alternata di ampiezza costante, la quale si produce e si mantiene nel circuito formato dalla capacità e dalla induttanza per trasformazione alterna e spontanea da potenziale a elettrocinetica dell'energia inizialmente impressa al sistema, mediante la prima carica del condensatore. Se la trasformazione alterna e spontanea dell'energia impressa al sistema mediante la carica iniziale del condensatore avviene senza alcuna dissipazione (resistenza nulla del circuito), le oscillazioni una volta iniziate tendono a

mantenersi e riprodursi identicamente con ampiezza costante; esse si compiono allora secondo un andamento sinusoidale e si chiamano *oscillazioni libere persistenti.*
La frequenza di tali oscillazioni risulta espressa allora dalla relazione

$$\mathbf{fr} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

e si chiama frequenza propria di oscillazione o frequenza di risonanza.
Una delle applicazioni fondamentali dei circuiti oscillanti è la generazione di oscillazioni elettriche ad alta frequenza. I comuni alternatori industriali vengono costruiti solo per frequenze basse, al massimo qualche migliaio di periodi. Quando si vogliono ottenere invece frequenze elevatissime, dell'ordine di milioni di periodi al secondo, come si richiedono nelle trasmissioni radioelettriche, è necessario ricorrere alla proprietà dei circuiti oscillanti in regime di oscillazione libera, nei quali, ove si riduca convenientemente l'induttanza e la capacità, la frequenza può raggiungere senza difficoltà valori altissimi.
In questi circuiti però, poiché non si possono evitare i fenomeni dissipativi, le oscillazioni libere tendono per loro natura a risultare *smorzate*: volendo invece realizzare un circuito oscillante che funzioni come un generatore continuo di oscillazioni libere, è necessario provvedere a rendere persistenti ossia di ampiezza costante queste oscillazioni; per ottenere lo scopo, bisogna rendere continua l'alimentazione del circuito oscillante, in modo da rifornire man mano l'energia che viene dissipata ad ogni periodo. Basta disporre di un interruttore azionato automaticamente dal ritmo della stessa corrente oscillante, il quale provveda chiudere il circuito di carica del condensatore ad ogni periodo in modo tale che la tensione alle armature venga riportata ogni volta, nel giusto momento, sempre allo stesso valore: in tale modo il circuito di carica viene a rifornire al circuito oscillante, con il ritmo voluto, l'energia dissipata ad ogni periodo e l'ampiezza delle oscillazioni rimane costante. Servono alo scopo interruttori automatici privi di inerzia quali i triodi e i transistori.

Potenza elettrica nei circuiti a corrente alternata. Potenza reale, reattiva e apparente.
La potenza reale P della corrente alternata dipende in generale dai valori efficaci della tensione e della corrente, ma dipende inoltre dallo sfasamento che intercede fra tensione e corrente.

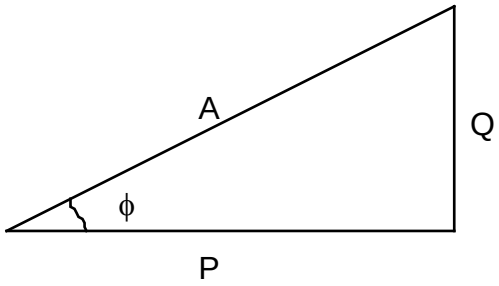
$$\mathbf{P = V.I.\cos\phi}$$

Ogni corrente alternata sfasata di un quarto di periodo rispetto alla tensione che la produce è una corrente oziosa o swattata: questa denominazione vuol praticamente esprimere il fatto che una corrente sfasata di un quarto di periodo (cos 90° = O) non produce watt e cioè non compie nessun lavoro utile.
In un circuito a corrente alternata, con tensione e corrente sfasate fra loro di un certo angolo ϕ, si fa una potenza reale P che rappresenta la potenza media che fluisce costantemente dal generatore elettrico verso il circuito utilizzatore in cui si trasforma o in calore per effetto Joule o in lavoro, e sovrapposta a questo flusso di potenza utile si ha la potenza reattiva Q che ha il significato di definire l'entità dell'energia che fa la spola fra il generatore ed il circuito utilizzatore senza produrre nessun lavoro utile. La potenze risultante da questa sovrapposizione fra la potenza reale P e la potenza reattiva Q costituisce la potenza apparente A per cui:

$$\mathbf{P = I\ .\ \cos\phi} \qquad \mathbf{Q = I\ .\ sen} \qquad \mathbf{A = V\ .\ I}$$

Fra queste tre potenze si ha la relazione: $\mathbf{A^2 = P^2 + Q^2}$

Triangolo delle potenze dal circuito



P = A cos ϕ

fattore di potenza cos ϕ = P/A

Espressioni della potenza elettrica nei sistemi trifase.

P = √3 .V I cos ϕ dove 3 sono le fasi, V e I valori efficaci della tensione e della corrente e cos ϕ fattore di potenza delle singole fasi.

Q = √3 .V I sen ϕ

A = √3.V I

Come nei carichi monofasi, anche nei sistemi trifasi equilibrati la potenza reale, reattiva e apparente si corrispondono come i cateti e l'ipotenusa di un triangolo rettangolo e cioè si ha sempre:

$$A^2 = P^2 + Q^2$$

Sistemi trifasi - Si denota con il nome di un complesso di tre circuiti elettrici nei quali agiscono rispettivamente tre f.e.m. oppure tre tensioni alternate di eguale frequenza ed eguale valore efficace, sfasate ordinatamente l'una rispetto all'altra di un terzo di periodo (120°). Ognuno dei tre circuiti del sistema ne costituisce una fase e questi singoli circuiti o fasi possono conservarsi completamente distinti l'uno dall'altro oppure invece essere opportunamente collegati fra loro a costituire un sistema trifase composto.

Collegamento a stella: **$V = \sqrt{3} \cdot V_1$ cioè $V = 1{,}73 \cdot V_1$ quindi $V_1 = V/1{,}73$** per V_1 si intende una fase della tensione. (Vedi da pg 233).

Collegamento a triangolo: **$I = \sqrt{3} \cdot I_1$ ossia $I = 1{,}73 \cdot I_1$ e $I_1 = I/1{,}73$** (vedi da pg 238).

Collegamento a stella $I_1 = I$

Collegamento a triangolo $V_1 = V$

MACCHINE ELETTRICHE

GENERATORI ELETTRICI	***MOTORI ELETTRICI***	***TRASFORMATORI E CONVERTITORI***
Trasformazione di lavoro meccanico in energia elettrica	Trasformazione di energia elettrica in lavoro meccanico	Trasformazione di energia elettrica da una forma ad un'altra forma
Basato sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica	Basato sul fenomeno delle azioni elettromagnetiche	Basato sul fenomeno della mutua induzione
CC e CA	CC e CA	Macchine di tipo statico
Dinamo Alternatori	Motori a CC Motori a CA	Raddrizzatori Invertitori
	Sincroni	Da CA a CC Da CC a CA

	Asincroni	

Statore = induttore
Rotore = indotto

Dinamo -
Machina generatrice di energia elettrica sotto forma di corrente continua. E' costituita da un *induttore (statore) fisso e un indotto (rotore) rotante*: quest'ultimo denominato anche *armatura* della dinamo, è costituito da un cilindro di materiale magnetico sulla cui periferia sono disposti, lungo le generatrici, i conduttori che formano *l'avvolgimento indotto*.
Attorno all'armatura sono disposte le *espansioni polari* del sistema induttore che può essere bipolare o multipolare.
Un conduttore posto sull'armatura, durante la rotazione del cilindro, taglia le linee di forza del campo induttore e diviene sede di una f.e.m. indotta. Mediante la rotazione del conduttore considerato si genera in esso una f.e.m. alternata la quale compie un periodo completo ad ogni giro, per cui, per ottenere una machina generatrice di corrente continua sarà necessario distribuire sulla periferia dell'armatura più conduttori e collegarli in modo da realizzare un compenso costante fra i massimi valori della f.e.m. indotta in alcuni di essi con i valori minori dovuti agli altri, così da prelevare una f.e.m. risultante diretta sempre nello stesso verso e di valore sensibilmente costante.
L'indotto a tamburo detto anello di Pacinotti ha un avvolgimento a 12 conduttori; i conduttori attivi dell'avvolgimento sono uniformemente distribuiti lungo le generatrici di un cilindro formato da un pacco di corone circolari di lamierini magnetici, ed il complesso che ne risulta viene a costituire l'armatura della macchina.
Corrente di eccitazione o corrente magnetizzante che serve per l'avvio della dinamo, essa può essere generata dall'impiego di una sorgente esterna come una batteria di accumulatoti (dinamo con eccitazione indipendente) o l'autoeccitazione che si ottiene collegando il circuito induttore in derivazione sulle spazzole dell'indotto.
Funzionamento della dinamo a vuoto. Una dinamo funziona a vuota quando è mantenuta in rotazione con il circuito esterno aperto. Se la dinamo è diseccitata l'indotto si comporta come una semplice massa rotante; se invece la dinamo è eccitata l'indotto ruota nel flusso induttore uscente dai poli e si genera una certa f.e.m. In ogni caso il valore della f.e.m. generata da una dinamo funzionante a vuoto dipende dal valore del flusso induttore, dal numero dei conduttori attivi dell'avvolgimento indotto e dal numero dei giri della macchina: per le dinamo multipolari occorre inoltre distinguere se l'avvolgimento indotto è del tipo embricato (o parallelo) oppure del tipo ondulato (o serie); nel primo caso la f.e.m. è indipendente dai numeri dei poli, mentre nel secondo risulta proporzionale al numero dei poli.
Avvolgimenti embricati (parallelo) $E_o = \frac{\Phi N n}{60}$ dove
E_o = energia generata dalla dinamo N = numero totale dei conduttori attivi n = numero giri/min

Avvolgimenti ondulati : indicando con p il numero delle coppie di poli $E_0 = p \cdot \frac{\Phi N n}{60}$
Funzionamento della dinamo a carico. Quando la dinamo eroga corrente su un circuito esterno, anche gli avvolgimenti indotti vengono attraversati da corrente e producono perciò essi stessi un campo magnetico che viene denominato campo di indotto: nel funzionamento della dinamo sotto carico si deve quindi considerare oltre al campo induttore anche il campo indotto.
I poli induttori agiscono sui poli indotti con delle forze contrarie al moto. E' chiaro che per mantenere l'indotto in rotazione si dovrà applicare all'albero una coppia motrice C_m: in tal modo si

viene a spendere precisamente una potenza meccanica uguale alla potenza elettrica generata, come vuole il principio della conservazione dell'energia. Quando la dinamo gira a vuoto la coppia resistente è nulla perché, se non circola corrente nell'indotto, mancano anche i poli indotti; per mantenere l'indotto in rotazione a vuoto occorre quindi la sola potenza meccanica necessaria a vincere le resistenze passive.

Potenza resa da una dinamo- Perdite- Rendimento. Per potenza resa da una dinamo Pr si intende la potenza elettrica misurata ai morsetti della macchina, essa è data da **Pr = V I**

Per mantenere in rotazione l'indotto della dinamo sotto carico è necessario applicare all'albero una coppia motrice C_m uguale alla coppia resistente C_r. Ciò vuol dire che per mantenere la dinamo in funzione è necessario spendere una determinata potenza meccanica, la quale costituisce la potenza assorbita Pa per cui la dinamo adempie alla trasformazione della potenza meccanica applicata all'albero in potenza elettrica uscente ai morsetti.

Perdite a vuoto = Perdite meccaniche + Perdite nel ferro $P_0 = P_m + P_f$

$$P = Pa - (Pm + Pf) = Pa - P_0$$

La potenza meccanica che viene effettivamente trasformata in potenza elettrica della dinamo è data dal prodotto della f.e.m. E per la corrente totale I_i che attraversa l'indotto; una parte di questa potenza viene dissipata per cui se da P generata si tolgono le perdite, rimane la potenza elettrica uscente dai morsetti, cioè la potenza resa Pr

$$\mathbf{P_r = V\ I}$$

Rendimento industriale di una dinamo: si definisce rendimento industriale il rapporto η fra la potenza elettrica resa P_r e la potenza meccanica corrispondentemente assorbita P_a:

$$\eta = Pr/Pa \qquad Pa = Pr/\eta$$

Il rendimento η, che risulta sempre minore di uno, viene speso indicato in %. Il rendimento di una dinamo non è costante ma varia al variare del carico, e cioè al variare della corrente erogata: il rendimento è necessariamente zero quando la dinamo funziona a vuoto, perché è nulla la potenza resa Pr.

Motori a corrente continua -

I motori elettrici a corrente continua sono costruttivamente identici alle dinamo: la stessa macchina può funzionare indifferentemente come dinamo generatrice e come motore.

Il motore a corrente continua eccitato in derivazione e alimentato a tensione costante è un motore a velocità praticamente costante al variare del carico.

Nel motore con eccitazione in serie il numero di giri diminuisce fortemente al crescere del carico.

Alternatori -

Il principio di funzionamento è un movimento uniforme di rotazione relativa fra un campo magnetico induttore ed un sistema di conduttori indotti opportunamente collegati fra loro in serie.

Da pg 315

Trasformatori -

La diffusione delle correnti alternate nel campo delle applicazioni industriali dell'energia elettrica è in grana parte basata sulla possibilità che offrono queste correnti di eseguirne la trasformazione da bassa ad alta tensione e viceversa con l'impiego di una macchina statica, cioè senza organi in movimento, appunto il trasformatore.

Il trasformatore si compone di un *nucleo magnetico* di piccola riluttanza, attorno ad esso sono praticati due avvolgimenti isolati e distinti, ciascuno costituito da un certo numero di spire N_1 e N_2 di piccola resistenza elettrica.

Avvolgimento primario: avvolgimento alimentato dalla tensione V_1 da trasformare

Avvolgimento secondario: avvolgimento ai cui estremi si preleva la tensione trasformata V_2

Tensione primaria e secondaria: V_1 e V_2
Correnti primaria e secondaria: I_1 e I_2

Il principio attraverso cui si compie la trasformazione si può così riassumere: si immagini che l'avvolgimento secondario sia aperto, e di alimentare il primario alla tensione V_1, per cui in questa condizione (circuito aperto) di dice che *il trasformatore funziona a vuoto* e l'avvolgimento primario si comporta come un circuito fortemente induttivo, se si ritiene trascurabile la resistenza ohmica dell'avvolgimento, *esso funziona come un circuito puramente induttivo*, che se alimentato da una tensione alternata V_1, *assorbe una corrente I_0 che è sfasata di 90° rispetto alla tensione*. I_0 costituisce la *corrente a vuoto* del trasformatore che circolando nel N_1 dà luogo ad una forza magnetomotrice per cui il nucleo magnetico diviene sede di un flusso alternato Φ in fase con la corrente I_0 che lo produce. Questo flusso Φ genera a sua volta nello stesso avvolgimento primario *una f.e.m. indotta E_1 sfasata di 90° in ritardo*: avendo supposto nulla la resistenza ohmica dell'avvolgimento, la f.e.m. E_1 deve risultare necessariamente *uguale ed opposta alla tensione applicata V_1*.
Pertanto se N_1 è il numero di spire dell'avvolgimento primario, vuol dir che il flusso Φ è tale da generare in ciascuna spira una f.e.m. pari a E_1/N_1.
D'altra parte il flusso Φ è condotto dal nucleo magnetico a concatenarsi anche con tutte le N_2 in ciascuna delle quali viene così a generare una f.e.m. indotta uguale alla precedente e cioè pari a E_1/N_1: nell'intero avvolgimento secondario si avrà quindi una f.e.m. definita in valore dalla relazione $\mathbf{E_2 = N_2 \,.\, (E_1/N_1)}$
Questa f.e.m. secondaria sarà così rappresentata da un vettore E_2 in fase con E_1 e avente rispetto a questo una ampiezza maggiore o minore asseconda che il numero di spire N_2 è maggiore o minore delle spire primarie N_1. *Si arriva così alla conclusione fondamentale che le f.e.m. indotte nei due avvolgimenti primario e secondario di un trasformatore stanno fra loro nello stesso rapporto dei rispettivi numeri di spire:* $\mathbf{E_1/E_2 = N_1/N_2}$
Poiché la f.e.m. primaria E_1 è uguale in valore alla tensione applicata V_1 e poiché la f.e.m. secondaria E_2 costituisce la tensione secondaria a vuoto V_{20} che si manifesta fra i due morsetti secondari aperti, lo stesso rapporto vale anche fra le due tensioni V_1 e V_2 e cioè si ha:

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 = V_1/V_{20}$$

Ciò vuol dire che applicando ai morsetti primari la tensione V_1, ai morsetti secondari si rende disponibile la tensione: $\mathbf{V_{20} = (N_2/N_1) \,.\, V_1}$
Si ha quindi la possibilità di realizzare qualunque rapporto di trasformazione fra le tensioni, semplicemente fissando il rapporto fra il numero delle spire dei due avvolgimenti.

Funzionamento del trasformatore sotto carico. Non appena si chiude il circuito secondario, l'avvolgimento primario deve immediatamente assorbire dalla linea che lo alimenta, oltre alla precedente corrente a vuoto I_0, anche una nuova corrente I'_1 la quale viene ad agire sul nucleo con una forza magnetomotrice $N_1I'_1$ uguale e contraria alla forzamagnetomotrice N_2I_2.
Il regime di funzionamento del trasformatore rimane definito dalla necessità che la f.e.m. primaria E_1 risulti costantemente uguale e contraria alla tensione V_1 applicata ai morsetti; è necessario che l'avvolgimento primario prelevi dalla linea che lo alimenta, oltre alla corrente a vuoto I_0, una nuova corrente I'_1, denominata *corrente di reazione*.
Fra i valori efficaci della corrente erogata I_2 e della corrente di reazione I'_1 si ha quindi il rapporto

$$\mathbf{I_2/I_1 = N_1/N_2}$$

Questa relazione attesta che in un trasformatore la corrente secondaria I_2 e la corrispondente corrente di reazione primaria I'_1, stanno fra loro nel rapporto inverso del numero delle spire dei rispettivi avvolgimenti, e perciò anche nel rapporto delle f.e.m. ad essi corrispondenti

$$I_2/I'_1 = N_1/N_2 = E_1/E_2$$

Mentre l'avvolgimento secondario eroga la corrente I_2, l'avvolgimento primario assorbe dalla linea una corrente totale I_1 che è la risultante vettoriale della corrente a vuoto I_0 e della corrente di reazione primaria I'_1; per cui vale la relazione: $I_1 = I_0 + I'_1$

Perdite nel ferro del trasformatore. A causa dei fenomeni della *isteresi magnetica e delle correnti parassite*, il flusso alternativo del trasformatore determina una dissipazione di potenza nel nucleo che prende il nome di *perdita nel ferro* del trasformatore.
Le perdite dipendenti dall'isteresi sono dovute, come è noto, ad una specie di attrito molecolare interno al ferro che si manifesta in conseguenza del fatto che i magnetini elementari che compongono il ferro sono condotti ad orientarsi alternativamente in versi opposti; le perdite per *correnti parassite* sono invece di natura elettrica e cioè corrispondono all'effetto Joule delle correnti indotte in seno al nucleo dal flusso alternativo che lo attraversa. Le perdite per isteresi sono per loro natura di entità tollerabile; invece quelle dovute alle correnti parassite sarebbero proibitive se il nucleo fosse costruito con sezione piena ed è questa la ragione per la quale esso è formato da un pacco di lamiere isolate fra loro per obbligare le correnti parassite a chiudersi nella stretta sezione di ogni singolo strato.
Le perdite del ferro di un trasformatore sono le stesse tanto nel funzionamento a vuoto che a pieno carico. $Pf = V_1 I_a = V_1 I_0 \cos\phi = P_0$ esprime il fatto che nel funzionamento a vuoto il trasformatore preleva dalla linea una potenza elettrica P_0 praticamente equivalente alle perdite nel ferro.
Bilancio delle potenze e rendimento. Le perdite di potenza che si verificano nei trasformatori vengono distinte in perdite nel rame Pj e perdite nel ferro Pf; queste ultime sono dovute alla isteresi magnetica e alle correnti parassite: esse coincidono con la potenza assorbita a vuoto dl trasformatore

$$P_0 = V_1 I_0 \cos \phi$$

Le perdite nel rame sono dovute alla resistenza ohmica dei due avvolgimenti

$$Pj = R_1 I^2_1 + R_2 I^2_2$$

Quando il trasformatore funziona sotto carico erogando al secondario una determinata corrente I_2 alla tensione V_2 con fattore di potenza $\cos \phi_2$, esso fornisce al circuito utilizzatore una potenza elettrica data da

$$P_2 = V_2 I_2 \cos \phi_2$$

Corrispondentemente l'avvolgimento primario dovrà prelevare dalla linea che lo alimenta una potenza elettrica P_1 pari alla somma della potenza erogata P_2 al secondario e di tutte le perdite che accompagnano la trasformazione, per cui:

$$P_1 = P_2 + Pj + Pf$$

Indicando con V_1 la tensione applicata ai morsetti primari, con I_1 la corrente assorbita e con ϕ_1 l'angolo di sfasamento ad essa relativo, questa stessa potenza viene espressa anche con la relazione

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \phi_1$$

Il rapporto fra la potenza erogata al secondario P_2 e la potenza assorbita al primario P_1 costituisce il rendimento del trasformatore η

$$\eta = P_2/P_1$$

Motori a corrente alternata - vedi da pg 380

Conversione della corrente.-
La generazione industriale della energia elettrica viene fatta quasi esclusivamente sotto forma di corrente alternata trifase, perché gli impianti trifase risultano più economici degli impianti monofasi e perché l'impiego della corrente alternata si impone rispetto alla corrente continua per la

possibilità che essa consente di eseguire le trasformazioni da bassa ad alta tensione e viceversa, mediante i trasformatori.
Ne risulta che dove si richiede l'impiego della corrente continua, è necessario in genere ottenerla per conversione della corrente alternata trifase.
Le applicazioni più importanti della corrente continua si hanno nella carica degli accumulatori, nella trazione elettrica, nelle industrie elettrochimiche e in certi particolari azionamenti industriali.
La conversione della corrente alternata in continua può essere ottenuta industrialmente con i seguenti sistemi:

1) Con l'impiego di gruppi convertitori rotanti realizzati dall'accoppiamento diretto di un motore a corrente alternata con una dinamo che genera la corrente continua.
2) Con macchine speciali dette commutatrici che rappresentano la compenetrazione in una sola macchina di un motore sincrono e di una dinamo.
3) Con gruppi raddrizzatori a vapori di mercurio e a semiconduttori.

Inversamente si può convertire la corrente continua in alternata per mezzo dei gruppi invertitori.

RADIOELETTRONICA

Comunicazioni con le onde radio -
L'antenna è un conduttore percorso da corrente alternata ad alta frequenza intorno alla quale si producono onde elettromagnetiche, cioè un campo elettrico ed un campo magnetico che sono sempre in fase. Le onde e.m. viaggiano nello spazio con la velocità della luce c = 300.000 Km/sec
La lunghezza d'onda λ (distanza fra due punti aventi la stessa fase) è uguale alla velocità della luce c diviso la frequenza f :

$$\lambda = c/f = 300.000 \text{ Km/sec} / f = 300.000.000 \text{ m/sec} / f$$

Il campo elettrico è misurato in volt/metro
Il campo magnetico in ampere/metro
Densità di potenza in Watt/m^2 di fronte d'onda.

Il campo elettromagnetico nello spazio rappresenta lo spostamento di energia lungo la direzione di propagazione. L'intensità di tale campo diminuisce con la distanza. Vi è una attenuazione dovuta alla propagazione, cioè all'espansione dell'energia dell'onda nello spazio libero. Vi è una attenuazione per assorbimento dell'energia dell'onda da parte della terra e del mare.
Il coefficiente di propagazione è un numero complesso, somma del coefficiente di attenuazione (parte reale) e del coefficiente di fase (parte immaginaria); questo numero serve a descrivere teoricamente il fenomeno fisico e ad interpretarlo matematicamente.

Le onde emesse da una generica antenna radio seguono contemporaneamente quattro percorsi distinti, dando luogo a 4 tipi do onde:

1. onda ionosferica
2. onda troposferica diretta
3. onda troposferica riflessa
4. onda superficiale

Le onde lunghe hanno maggiore tendenza a seguire la propagazione superficiale, le onde corte la propagazione ionosferica, le microonde la troposferica diretta e riflessa.

La portata troposferica (diretta e riflessa) con onde cortissime e microonde è detrminata dall'altezza effettiva, sulla superficie della terra e del mare, dell'antenna trasmittente Ht e dall'altezza effettiva

dell'antenna ricevente Hr. La portata in miglia è data da: **P = 2,16.(√Ht + √Hr)** sia Ht che Hr sono espresse in metri.

Una antenna verticale a stilo iradiante in tutte le direzioni chiamasi omnidirezionale. Per emettere solamente lungo alcune direzioni si fa uso di antenne direzionali come quelle del radar, ecc.

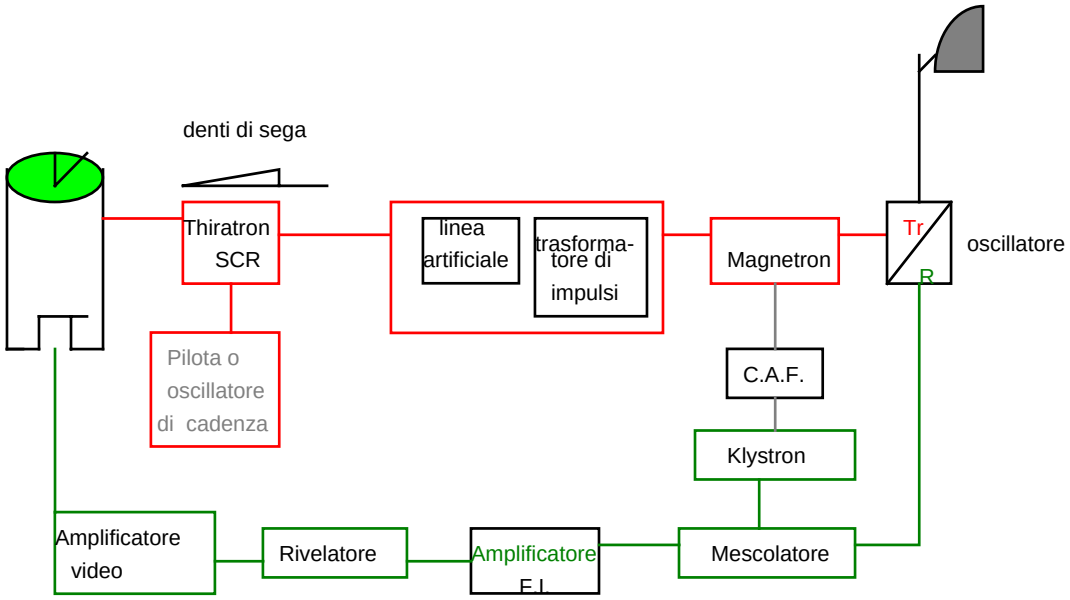
Trasmissione del segnale -
La trasmissione del segnale può avvenire per:
a) trasmissione con onda continua (che è quella più semplice)
b) trasmissione ad impulsi
c) radioonde tipo A1, si usano in grafia
d) radioonde tipo A2 che sono onde radiotelegrafiche persistenti modulate a mezzo di un'onda a frequenza acustica. La irradiazione può essere continua o secondo il codice Morse.
e) radioonde tipo A3 quando le onde persistenti (portanti) sono modulate a mezzo di un microfono e prendono il nome di onde radiotelefoniche. Viene scelta in genere la modulazione di frequenza.

Radar -
Un impianto radar comprende, in linea di principio:
⇒ un generatore di potenza, in grado di produrre energia e radiofrequenza;
⇒ un generatore di impulsi, quale elemento modulatore:
⇒ un'antenna con funzioni sia di trasmettitore degli impulsi, sia di ricevitore degli impulsi riflessi di ritorno;
⇒ un circuito di ricezione che ricupera il treno di impulsi riflesso e lo confronta con quello trasmesso per ricavarne il tempo di ritardo t, e quindi la distanza dall'ostacolo.

Le radionde usate nei radar sono centimetre 3cm (banda X), e qualche volta decimetre cm 10 (banda S).
Il rilevamento è fornito dalla direzione istantanea del raggio che, sull'indicatore, si muove in sincronismo con l'antenna.
La distanza si legge sulla graduazione del raggio dell'indicatore nel punto in cui si vede il bersaglio, la sua misura è: $D = \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot c$

Impulsi- Tensioni "denti di sega".
La trasmissione ad impulsi è la più idonea per ricevere lontani radioechi. Nei radar nautici si trasmette in tempuscoli t che sono generalmente più brevi di un microsecondo.
Le radioonde hanno una conformazione avente la forma di un rettangolo.
Il piota di cadenza, mentre dà una rigorosa cadenza agli impulsi, regola la trasmissione in modo che nell'istante in cui parte l'impulso abbia inizio la applicazione della tensione a denti di sega sulle bobine di deflessione.
Gli elettroni scorrono lungo il raggio del PPI lasciando una traccia luminosa sullo schermo.

Circuito a blocchi del radar -
Trasmettitore e ricevitore.



* Il pilota di cadenza è un oscillatore di B.F. Genera impulsi a scatto rigorosamente intervallati
* Il Thyratron, tubo elettronico speciale, genera tensioni a denti di sega.
* Il modulatore comprende una sorgente di energia di alta tensione. Fornisce impulsi rettangolari di circa 50 KW
* Il magnetron è un tubo a cavità risonanti da cui si preleva energia a R.F. con elevata potenza di picco. Un valore ricorrente della frequenza è 9440 Mhz
* T.R. / A.T.R. è un commutatore elettronico che blocca, durante la trasmissione, il passaggio della energia elettromagnetica verso il ricevitore e in ricezione evita la dispersione della debole energia del radioeco verso i circuiti del trasmettitore.
* Guida d'onda è un tubo conduttore cavo entro cui si propagano le onde e.m. senza produrre effetti elettromagnetici all'esterno.
* Antenna: per ottenere un rilevamento preciso, dell'ordine di 1°, occorre una antenna capace di irradiare un fascio molto ristretto, nel piano orizzontale (1 o 2 gradi). Per avere invece una vasta copertura anche durante i movimenti di rollio e beccheggio, il fascio deve essere largo (da 15° a 30°) nel piano verticale. Il guadagno è un rapporto di potenza: quella irradiata nella direzione di massima emissione rispetto alla potenza che si sarebbe irradiata equamente, in tutte le direzioni, da un radiatore (ideale) isotropo. L'antenna è trasmittente e ricevente, le proprietà dell'una, per un principio di reciprocità, sono anche proprietà dell'altra: un buon guadagno è necessario per ricevere radioechi lontani; una buona direttività è importante per una misura ottimale del rilevamento.
* Klystron, tubo elettronico a modulazione di velocità; oscilla a 9400 Mhz
* Nel mescolatore avviene il battimento fra la frequenza del Klystron e quella del radioeco (9440 Mhz)
* C.A.F. (controllo automatico di frequenza), serve per mantenere costante la frequenza (40 Mhz data dalla differenza dei due valori sopra scritti) per una eventuale instabilità della frequenza del magnetron.
* L'amplificazione di F.I. (frequenza intermedia) viene in un transistor
* Nel rilevatore si genera il segnale video
* L'applificatore video assolve, sul segnale video, lo stesso compito assolto dall'amplificatore F.I.

Caratteristiche del radar.

Pp	Potenza di picco	
t	Durata dell'impulso	d = ½ t . c
T	Intervallo di ripetizione	D = ½ T. c
f	Frequenza di lavoro	f = c/λ
α	Ampiezza orizzontale del lobo di radiazione	
ω	Velocità di rotazione dell'antenna	

Portata del radar

$$\mathbf{D = 2{,}33 \cdot (\sqrt{e} + \sqrt{h})}$$

e = elevazione antenna in metri h = elevazione bersaglio in metri