

GENERATORI ed IMPIANTI di RICARICA

Prima parte

Silvano Lazzaroni

La generazione di corrente in una moderna autovettura è una funzione sempre più importante dato il crescente fabbisogno di potenza richiesto dall'elevato numero di dispositivi a funzionamento elettrico o elettromeccanico e dalle mutate condizioni del traffico.

L'impianto di generazione deve essere in grado di fornire a qualsiasi regime di rotazione motore una corrente sufficiente alla rete di bordo e garantire un adeguato stato di carica della batteria. Abbandonata da lungo tempo la dinamo, la generazione di corrente è affidata all'alternatore, i cui progressi tecnologici non sono ancora esauriti, tanto che si producono macchine dal peso e dall'ingombro sempre più contenuti, ma di rendimento sempre migliore.

Da un punto di vista strutturale, numerose esecuzioni base dell'alternatore sono state progettate in funzione delle diverse esigenze dei veicoli cui sono destinate.

L'impianto di ricarica con alternatore richiede come componente aggiuntivo soltanto il regolatore di tensione. L'interruttore di minima, che era necessario sugli impianti con dinamo, qui non è necessario. I diodi del gruppo raddrizzatore, integrati nell'alternatore, evitano anche ogni ritorno di corrente dalla batteria. Il limitatore di corrente, anch'esso necessario sugli impianti con dinamo, è superfluo in quanto l'alternatore è auto-limitato costruttivamente. Una sicura

limitazione di corrente erogata si ottiene infatti sfruttando la saturazione magnetica del ferro statorico. Lo statore viene costruito con il minimo ferro indispensabile (sezione minima) per condurre un certo valore di flusso magnetico oltre il quale si raggiunge la saturazione. Questa caratteristica fa sì che, a parità di ricarica con la dinamo, l'alternatore sia molto più piccolo e leggero e possa raggiungere velocità di rotazione più elevate (anche 20000 giri/min).

L'assenza dell'interruttore di minima e del limitatore di corrente permette di collegare l'alternatore direttamente alla batteria con notevole semplificazione dell'impianto di ricarica e con minori cadute di tensione. L'unico elemento regolante dell'alternatore è, come abbiamo visto, il regolatore di tensione che sui primi tipi di alternatore per auto era esterno, elettromeccanico e montato sulla carrozzeria. I moderni alternatori hanno il regolatore elettronico incorporato, accessibile o meno dall'esterno a seconda delle marche e dei modelli.

Si possono trovare tuttora alternatori di grossa potenza con il regolatore e addirittura con il gruppo raddrizzatore esterno. Questo tipo di soluzione costruttiva facilita lo smaltimento del calore e le operazioni di manutenzione, ma viene usato quasi esclusivamente su gruppi di grossa potenza (autoveicoli speciali, navi ecc.).

Esempi di alternatori (di produzione Bosch) e loro applicazione

Tipo	Struttura	Tipo di rotore	Anelli collettori	N° poli	Raddrizzatore	Regolatore	Fissaggio	Applicazione	
G1	compatta cilindrica	a poli artigliati	con	12	incorporato	generalmente incorporato	braccio orientabile	automobili, autoveicoli industriali, trattori, motociclette	
K1		a segmenti di ferro	senza	16				automobili, autoveicoli industriali, trattori	
N1								veicoli industriali a lunga percorrenza, macchine edili	
N3								autobus	
T1	standard	a poli artigliati	con	4	separato sulla carrozzeria	separato sulla carrozzeria	a culla e braccio orientabile	autobus da turismo, motori fissi	
T2		a poli singoli	senza	14				a culla	autoveicoli speciali
T3		a segmenti di ferro	con	4			separato	a culla	autoveicoli speciali, navi
U2		a poli singoli	senza	6					incorporato
U3		a segmenti di ferro	con	12			incorporato	flangia	veicoli ferroviari

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il principio di funzionamento dei generatori elettromeccanici di corrente è basato sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica. Com'è noto, spostando un conduttore in un campo magnetico si genera una f.e.m. all'interno del conduttore. I generatori elettromeccanici capaci dunque di trasformare energia meccanica in energia elettrica si potrebbero meglio definire come "magneto-elettromeccanici". Questo termine spiega meglio, in un'unica parola, il principio di funzionamento di queste macchine che oggi rivestono un'importanza vitale sulle nostre vetture. In effetti i fenomeni elettrici, meccanici (o per meglio dire dinamici) e magnetici sono sempre interconnessi tra loro. Non esiste fenomeno magnetico senza un movimento di particelle elettriche (il campo magnetico è dovuto alla corrente). Nei generatori, le f.e.m. nascono grazie all'azione di un movimento e di un campo magnetico. Nei motori elettrici, come avremo modo di vedere in seguito, il movimento nasce grazie all'azione di un campo magnetico e di una corrente. I generatori saranno quindi sempre composti da una parte elettrica e da una parte magnetica.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELL'ALTERNATORE

Un alternatore di tipo elementare, composto da una singola spira monofase, è rappresentato in Fig. 1.

Il magnete in rotazione induce nella spira una f.e.m. indotta che, per la regola della mano sinistra, sarà uscente dal lato **a** ed entrante nel lato **b**. La f.e.m. indotta nella spira, varierà in funzione della posizione del magnete permanente.

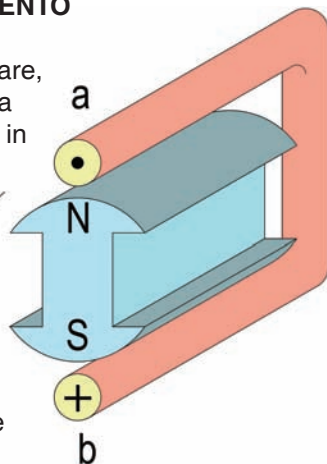
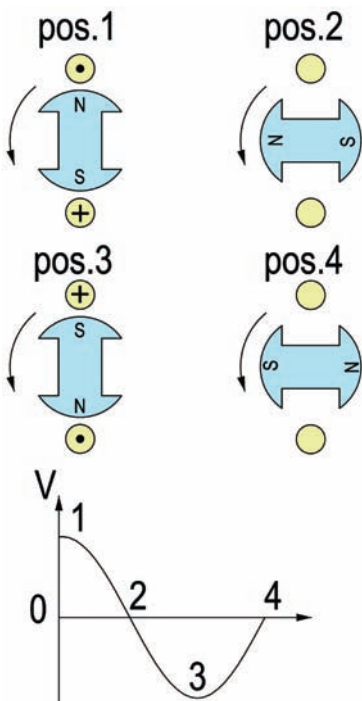


Fig. 1 - Principio di funzionamento dell'alternatore.



Assumendo una rotazione sinistrorsa, avremo le posizioni rappresentate nella Fig. 2. In funzione delle posizioni, la f.e.m. sarà dapprima positiva (pos. 1), poi nulla (pos. 2), quindi negativa (pos. 3) ed infine di nuovo nulla (pos. 4). Ovviamente, alla posizione 4 farà seguito una successiva posizione 1 e la f.e.m. avrà di nuovo raggiunto il massimo positivo e via di seguito.

Fig. 2 - Andamento della f.e.m. nella spira in funzione delle posizioni del rotore.

Questa macchina genera pertanto una f.e.m. alternata, da cui deriva il nome "alternatore".

E' opportuno ricordare che la f.e.m. dipende anche dalla velocità di rotazione ($e = B \cdot l \cdot v$) e che quindi se il rotore si ferma non si produce generazione di f.e.m.. Le posizioni 1, 2 ecc. assunte dal rotore nel disegno sono istantanee.

Ovviamente, la tensione alternata generata dall'alternatore non è adatta per essere accumulata dalla batteria o utilizzata dalla rete di bordo che richiede corrente continua. Per questo motivo occorre prevedere un raddrizzatore che converta la corrente alternata in corrente continua.

ALTERNATORI MONOFASI

L'alternatore monofase, non più in uso perché soppiantato dal più vantaggioso alternatore trifase, è normalmente composto di due avvolgimenti in controfase e due diodi con l'anodo a massa (sulla carcassa). Questo tipo di alternatore fornisce una corrente raddrizzata monofase ad onda intera. Nello schema di Fig.3 è rappresentato un alternatore Ducellier monofase con regolatore e collegamenti alla batteria ed alla lampada spia.

Il morsetto 31 è il negativo di batteria collegato con la carcassa dell'auto (massa). Il morsetto 30 è il positivo di batteria e si indica anche **B+**. Il morsetto **Df** indica solitamente il collegamento tra una spazzola ed il regolatore.

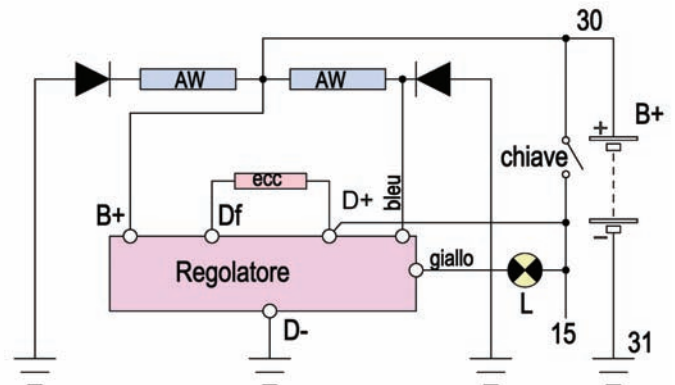


Fig. 3 - Alternatore Ducellier monofase.

ALTERNATORE TRIFASE

Se disponiamo sullo statore non una, ma tre spire disposte a distanza angolare di 120° tra loro, lasciando invariato il rotore, avremo una macchina che genera contemporaneamente tre f.e.m. alternate sfasate di 120°, così come rappresentato in Fig.4. La somma di tre f.e.m. alternate di

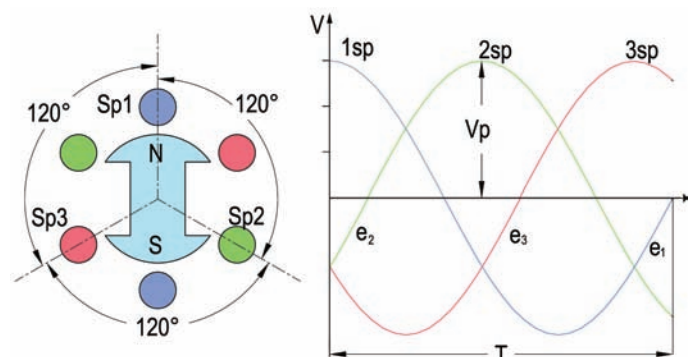


Fig. 4 - Generatore trifase; andamento delle tre f.e.m. nelle spire disposte a 120° tra loro.

uguale valore, ma sfasate di 120° tra loro, è istante per istante uguale a zero. In realtà, l'alternatore viene proprio costruito con tre avvolgimenti disposti sullo statore a 120° tra loro come schematizzato in Fig.5.

Le estremità finali ed iniziali degli avvolgimenti indotti possono essere collegati a stella o a triangolo.

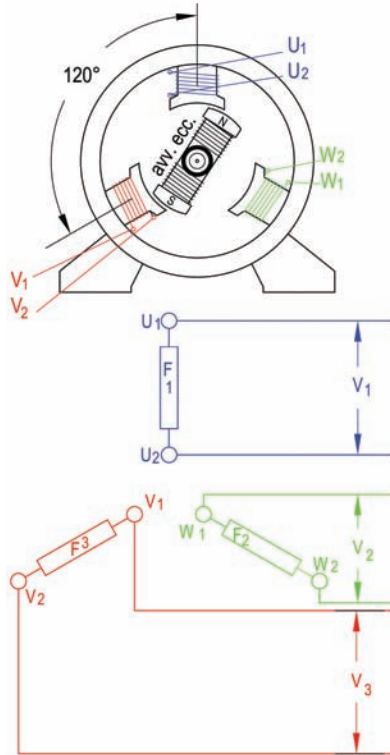


Fig. 5 - Alternatore trifase.
Gli avvolgimenti di statore sono sfasati di 120° tra loro.

Collegamento a stella

Le tensioni **V1, V2, V3**, dette tensioni di fase, possono essere rappresentate da una terna di vettori uguali e sfasati di 120° tra loro come mostra la Fig.6.

Unendo le tre fini **U2, V2, W2** tra loro in un unico punto detto neutro (**0**), rimangono disponibili tre fili (**U1 - W1 - V1**) che chiamiamo rispettivamente **R, S, T**. A volte è presente negli alternatori anche il filo neutro, ma in genere dagli statori fuoriescono solo i tre fili **R, S, T**. Le tensioni disponibili tra i fili, **VRT, VRS, VST**, sono

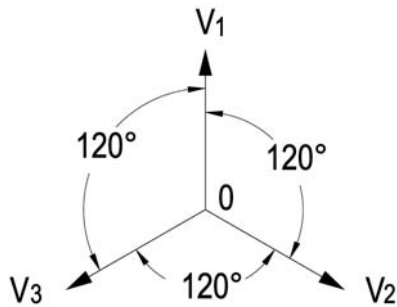
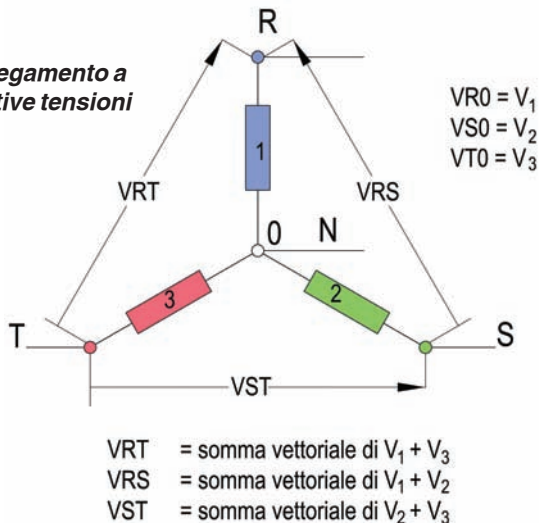


Fig. 6 - Rappresentazione vettoriale delle tre tensioni di fase generate da un alternatore.

Fig. 7 - Collegamento a stella e relative tensioni in uscita.



dette tensioni concatenate o di linea. Una tensione di linea è data dalla somma vettoriale di due tensioni di fase, come indicato in Fig.7.

$(VRT = V_1 + V_3)$

$VRT = V_1 \cdot 1.73$

Collegamento a triangolo

Il collegamento a triangolo si ottiene collegando la fine di un avvolgimento con l'inizio dell'altro. Seguendo lo schema di Fig. 8, si devono collegare i terminali:

U2 con W2, W1 con V2 e V1 con U1 (vedi Fig.4)

Con questo tipo di collegamento le tensioni di linea corrispondono alle tensioni di fase.

La corrente fornita da ciascun filo corrisponde invece alla somma vettoriale delle correnti circolanti nelle fasi collegate a quel filo.

Ad esempio la corrente uscente dal filo di linea **R** è data dalla somma vettoriale delle correnti negli avvolgimenti (fasi) **1 e 3**. Si ottiene così:

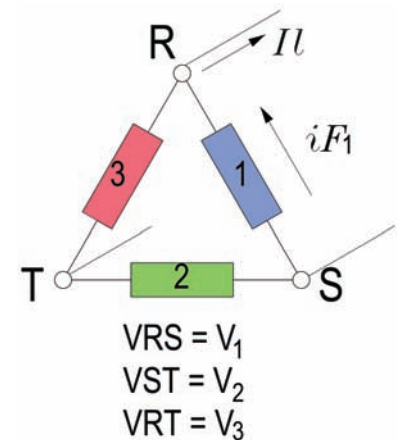


Fig. 8 - Collegamento a triangolo e relative tensioni in uscita

$Il = iF \cdot 1.73$

Dove **Il** sta per corrente di linea e **iF** per corrente di fase.

IL ROTORE

Per applicazioni speciali esistono alternatori con rotore a magnete permanente, ma la quasi totalità degli alternatori è dotata di un rotore con avvolgimenti detti di eccitazione. In Fig. 9, che illustra un rotore aperto, si possono osservare le due ruote polari dentate e la bobina. Questo particolare tipo di rotore si chiama **di tipo Lundell** e fornisce un numero di poli variabile solo in funzione del numero dei

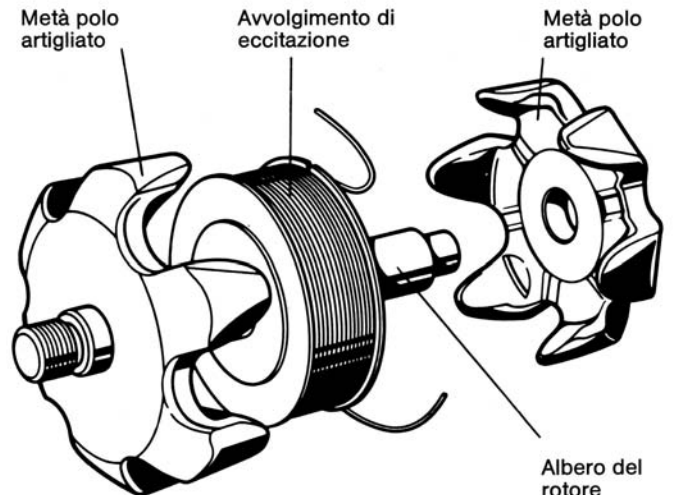


Fig. 9 - Rotore tipo Lundell a poli artigliati

denti delle ruote polari (vedi Figura 10) e non in funzione del numero di avvolgimenti di eccitazione. In questo tipo di soluzione abbiamo infatti una sola bobina di eccitazione. Questo permette un facile avvolgimento della bobina ed un veloce assemblaggio del rotore con conseguente contenimento dei costi di produzione.

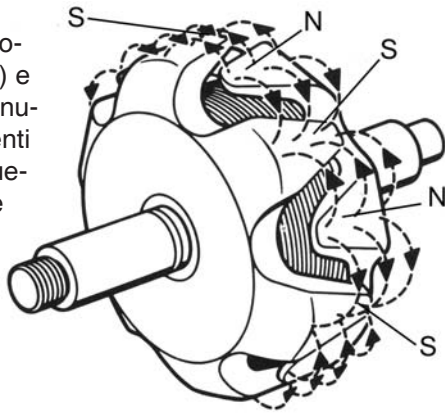


Fig. 10 - Andamento del flusso magnetico creato da un rotore di tipo Lundell. Come si potrà osservare, con una sola bobina si ottengono numerose coppie di poli Nord e Sud.

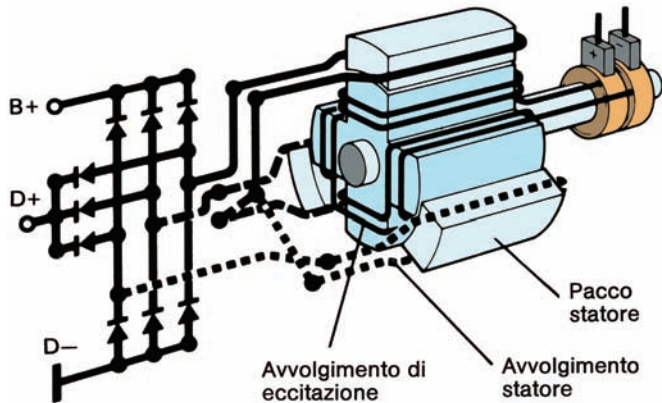


Fig. 11 - Struttura base di un alternatore a poli salienti con anelli collettori.

Per impianti che richiedono una notevole potenza si usano anche **alternatori detti a poli salienti**. In questo caso si ha un numero di bobine pari al numero dei poli come illustrato in Fig. 11.

In entrambe le soluzioni costruttive la corrente entra nella bobina (o nelle bobine) attraverso due contatti striscianti realizzati con due spazzole che appoggiano su due anelli in rame, chiamati **anelli collettori**.

In genere il rotore a poli salienti richiede una corrente più elevata rispetto al rotore a poli artigliati, ma consente di costruire macchine più potenti e di diametro relativamente contenuto. Normalmente la corrente assorbita da un avvolgimento di eccitazione per alternatore a poli artigliati varia da un minimo di 2 Ampere ad un massimo di 5 Ampere.

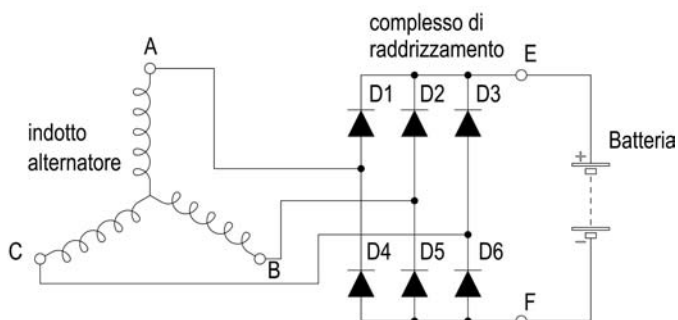


Fig. 13 - Andamento delle tensioni di linea V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} .

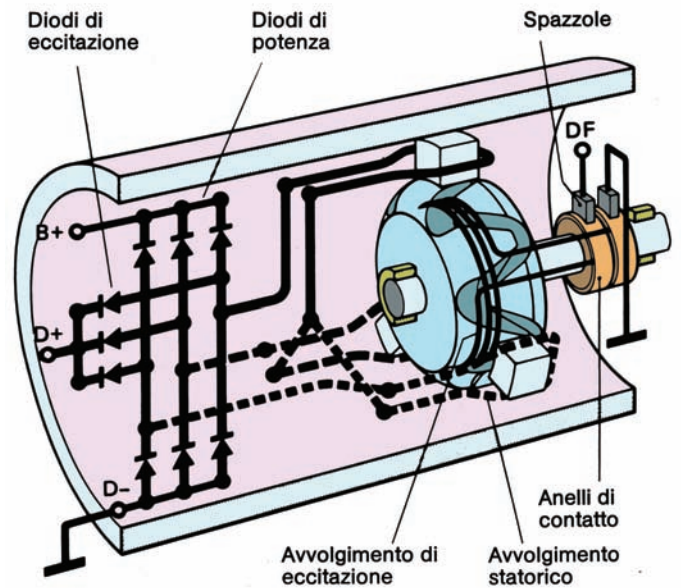


Fig. 12 - Struttura di base di un alternatore con rotore tipo Lundell e con anelli collettori.

RADDRIZZAMENTO DELLA TENSIONE E CONFRONTO TRA EROGAZIONE TRIFASE E MONOFASE

E' noto che in un sistema a quattro diodi è possibile ottenere una raddrizzata ad onda intera. Su questo principio si basa il **ponte di Graetz trifase**, rappresentato in Fig. 13 che permette di raddrizzare tre onde alternate e sfasate tra loro di 120° .

Le tensioni di linea V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} sono rappresentate nel grafico in Fig. 14, insieme con la tensione di batteria.

Il grafico mostra chiaramente come le tre tensioni superino la tensione di batteria nei tratti **ab**, **cd**, **ef**. Solo in corrispondenza di questi tratti è possibile dunque ricaricare la batteria, perché la tensione V_{EF} fornita dall'alternatore è più alta di quella di batteria (V_B).

Il ponte permette però di ricaricare la batteria anche attraverso il raddrizzamento delle semionde negative.

Consideriamo per semplicità gli istanti **1, 2, 3, 4, 5, 6** segnati sul grafico.

Nell'istante **1**, il punto **A** risulta positivo rispetto a **B** e **C**, quindi la corrente esce dal morsetto **A** e attraverso il diodo **d1** raggiunge **B+**. Il rientro della corrente dal negativo di batteria avviene attraverso i diodi **d5** e **d6**.

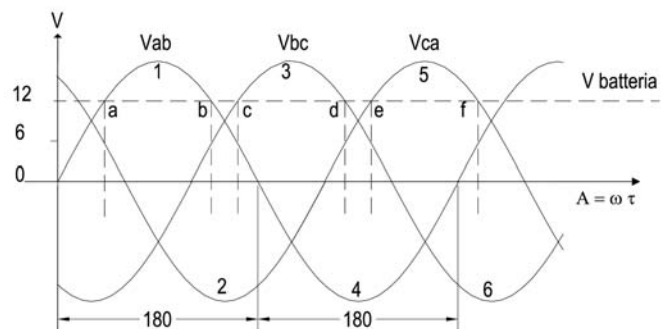


Fig. 14 - Schema interno di un alternatore a trifase con ponte raddrizzatore a 6 diodi.