

PUBBLICAZIONI DELL'ISTITUTO NAZIONALE PER L'ADDESTRAMENTO
ED IL PERFEZIONAMENTO DEI LAVORATORI DELL'INDUSTRIA-I.N.A.P.L.I.

SERIE III

N. 27

ELEMENTI
DI
RADIOTECNICA

I.N.A.P.L.I.

1958

TUTTI I DIRITTI RISERVATI
A NORMA DELLE LEGGI VIGENTI

I N D I C E

CAPITOLO I. — RICHAMI DI ELETTROTECNICA GENERALE

1. Gli elettroni nei fenomeni elettrici	pag.	1
2. Correnti continue e correnti alternate	»	2
3. Concetti di tensione, intensità e resistenza	»	3
4. Concetti di energia e potenza elettrica	»	3
5. Unità di misura e loro simboli	»	4
6. Corpi conduttori ed isolanti	»	5
7. Resistenza specifica o resistività	»	5
8. Calcolo della resistenza di un conduttore	»	5
9. Leggi elettriche fondamentali	»	6
10. Densità di corrente nei conduttori	»	7
11. Variazione della resistenza con la temperatura	»	8
12. Applicazione delle leggi elettriche enunciate	»	9
13. Effetti della corrente elettrica	»	10
14. Strumenti elettrici di misura	»	11
15. Misure di intensità di corrente	»	13
16. Misure di tensione	»	14
17. Misure di resistenza	»	16

CAPITOLO II. — ELEMENTI CIRCUITALI

18. Generalità	pag.	17
19. Resistori	»	17
20. Resistenze in serie	»	18
21. Resistenze in parallelo	»	20
22. Resistenze in serie-parallelo	»	22
23. Potenza dissipabile in un resistore	»	24
24. Capacità e condensatori	»	25
25. Misura della capacità	»	27
26. Tensione di scarica o di rottura	»	29
27. Condensatori in serie e in parallelo	»	31
28. Tipi di condensatori fissi e loro caratteristiche	»	33
29. Fenomeni d'induzione della corrente. Induttanza	»	35
30. Induttori a nucleo di ferro	»	38
31. Flusso e induzione magnetica. Permeabilità	»	39
32. Intensità di campo magnetico. Forza magneto-motrice. Riluttanza	»	41
33. Circuito magnetico misto	»	44
34. Induttanze in serie ed in parallelo	»	50
35. Mutua induzione tra due circuiti	»	51
36. Senso opposto delle correnti indotte	»	54
37. Concetto di trasformatore	»	55

CAPITOLO III. — CORRENTI ALTERNATE

38. Generalità	pag. 57
39. Valore istantaneo e valore efficace	» 57
40. Fase	» 58
41. Reattanza induttiva	» 60
42. Reattanza capacitiva	» 61
43. Impedenza	» 63
44. Resistenza equivalente in parallelo	» 70
45. Circuiti oscillanti	» 71
46. Costanti oscillatorie	» 75
47. Sovratensione nei circuiti risonanti	» 76
48. Q di un circuito risonante	» 77
49. Fattore di potenza di un circuito reattivo	» 78
50. Trasformatori. Generalità	» 79

CAPITOLO IV. — RADIO ONDE - LORO PROPAGAZIONE E RICEZIONE

51. Campo elettrico	pag. 94
52. Campo elettromagnetico	» 94
53. Energia elettromagnetica	» 96
54. Propagazione delle radio onde	» 98
55. Captazione delle radio onde	» 102
56. Onde smorzate, onde continue e modulate	» 104
57. Ricezione delle radio onde	» 109

CAPITOLO V. — TUBI ELETTRONICI

58. Generalità	pag. 120
59. Emissione termoelettrica	» 121
60. Vari tipi di catodi	» 122
61. Corrente di placca	» 124
62. Uso dei diodi per la rettificazione della corrente alternata	» 125
63. Tubi a tre elettrodi o triodi	» 130
64. Curve caratteristiche di un triodo	» 132
65. Parametri di un tubo elettronico	» 133
66. Amplificazione	» 135
67. Polarizzazione	» 138
68. Circuiti di uscita di uno stadio amplificatore	» 139
69. Amplificatori di tensione e di potenza	» 142
70. Collegamento di più tubi in parallelo o in controfase	» 145
71. Capacità interelettrodiche dei tubi. Generalità	» 147
72. Il tetrodo	» 150
73. Il pentodo	» 152
74. Valvole a μ variabile	» 154
75. Tetrodi a fascio	» 156
76. Valvole per scopi speciali	» 157
77. Circuiti catodici e ronzio negli amplificatori	» 158

78. Polarizzazione di griglia negli apparecchi a c. a.	pag. 160
79. Tensione della griglia schermo	» 162
80. Reazione negli amplificatori. Generalità	» 163
81. Oscillatori	» 165
82. Caratteristiche funzionali di un oscillatore	» 169

CAPITOLO VI. - LE PARTI DEL RADIORICEVITORE

83. Lo stadio rivelatore. Generalità	pag. 173
84. L'amplificatore di B. F.	» 184
85. Il riproduttore elettroacustico	» 193
86. Il trasformatore d'uscita	» 195
87. Classificazione degli amplificatori	» 207
88. Lo stadio convertitore	» 210
89. Lo stadio di media frequenza	» 232
90. Lo stadio di radio frequenza	» 237
91. Ricevitori super senza stadio F. I.	» 239
92. Ricevitori super del tipo reflex	» 240
93. Lo stadio alimentatore	» 242

CAPITOLO VII. - CIRCUITI DI RETTIFICAZIONE

94. Vari tipi di rettificatori	pag. 250
95. Limiti di lavoro dei tubi rettificatori	» 253
96. Accorgimenti nell'uso dei tubi rettificatori	» 255
97. Filtri di livellamento	» 255
98. Tensione d'uscita di un rettificatore munito di filtro	» 263
99. Circuiti rettificatori particolari	» 264
100. Potenza assorbita nel trasformatore d'alimentazione	» 270
101. Corrente a vuoto di un trasformatore d'alimentazione	» 272
102. Uso dei raddrizzatori metallici	» 273
103. Induttori per filtri di livellamento	» 276
104. Risonanza in un filtro di livellamento	» 282
105. Filtri a resistenza-capacità	» 283
106. Divisori di tensione	» 285
107. Stabilizzatori di tensione	» 287
108. Stabilizzazione elettronica di tensione	» 289

CAPITOLO VIII. - IL RADIORICEVITORE COMPLETO

109. Ricevitori a cristallo	pag. 293
110. Ricevitori a reazione	» 293
111. Ricevitori a stadi accordati su R. F.	» 294
112. Ricevitori supereterodina	» 296
113. Messa a punto della parte A. F. di un radiorecivitore	» 300

CAPITOLO IX. - STRUMENTI DI LABORATORIO

114. Il misuratore universale	pag. 307
115. L'oscillatore modulato	» 312
116. L'oscillatore di bassa frequenza	» 315

117. Il misuratore d'uscita	pag. 317
118. Il voltmetro a valvola	» 319
119. Il grid-dip	» 324
120. L'oscilloscopio	» 327

CAPITOLO X. -- LA RIPARAZIONE DEL RADIORICEVITORE

121. Cause più comuni dei guasti	pag. 340
122. Come si effettua la ricerca del guasto	» 341
123. Origine di alcuni inconvenienti di natura reattiva	» 346
124. Come si prepara un preventivo per una riparazione	» 347

PREMESSA

La presente pubblicazione I.N.A.P.L.I. intende di offrire in forma ordinata e piana le nozioni essenziali che, insieme con i richiami dei principî elementari della elettrotecnica, facilitano la comprensione dei fenomeni dominanti negli apparecchi radioriceventi del commercio.

Il proposito di conservare la trattazione in termini di estrema volgarizzazione presuppone tuttavia il possesso da parte del lavoratore di una certa cultura generale iniziale di base nel campo della aritmetica, della geometria e della fisica, per l'avviamento ad un successivo più approfondito studio, confortato sempre dalla guida intelligente e competente di volenterosi Istruttori, possibilmente dotati di mezzi sperimentali adeguati.

CAPITOLO IV.

RADIO ONDE - LORO PROPAGAZIONE E RICEZIONE

51 Campo elettrico.

Se si considerano due cariche elettriche situate nello spazio ad una certa distanza, si nota che esse si respingono o si attraggono, a seconda dell'uguaglianza o disuguaglianza dei loro segni, con una forza che è direttamente proporzionale alle cariche stesse ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. È questo il contenuto essenziale della legge di Coulomb.

Lo spazio entro cui agiscono forze elettriche di questa specie chiamasi *campo elettrostatico* o semplicemente *campo elettrico*. Un campo elettrico ha in ogni punto una determinata intensità e direzione.

Considerando una sola carica, si può immaginare che intorno ad essa si sviluppi un campo elettrico la cui intensità aumenta con il valore della carica stessa e diminuisce con il quadrato della distanza dal punto da cui si considera.

Tra due punti isolati aventi potenziali diversi c'è sempre un campo elettrico: esso si manifesta mediante forze di attrazione tra le cariche elettriche opposte situate nei due punti. Un campo elettrico è quindi rappresentabile da linee di forze elettriche, e le direzioni lungo le quali agiscono tali forze sono quelle delle rette che congiungono le cariche positive con quelle negative.

52 Campo elettromagnetico.

Consideriamo due corpi metallici a forma di sfera disposti l'uno vicino all'altro. Caricando questa specie di condensatore viene a crearsi un campo elettrico tra le due sfere. Se il potenziale è sufficientemente elevato si noterà che avvicinando le sfere si arriva ad un punto in cui l'isolante

interposto non resiste più e si produce una scarica attraverso esso che annulla il potenziale.

Riferiamoci ora al dispositivo simile di fig. 40, chiamato *dipolo di Hertz*, dal nome del fisico tedesco che lo ha usato nelle sue esperienze, per verificare il fenomeno d'irradiazione dell'energia elettromagnetica. Applichiamo alle due sfere, per qualche secondo, una tensione c. c. piuttosto elevata. Avviciniamole quindi lentamente fino a far scoccare la scintilla di scarica fra le estremità A e B dei conduttori collegati alle sfere. Tale scintilla, finché dura, provoca un corto circuito che mette in contatto la sfera superiore con quella inferiore, permettendo agli elettroni accumulati sulla prima di riversarsi sulla seconda onde annullare lo squilibrio prodotto dalla tensione. Gli elettroni però, spinti dal loro moto, proseguiranno la corsa oltre il limite d'equilibrio, aiutati in ciò dall'induttanza dei due conduttori congiunti momentaneamente (anche un conduttore rettilineo ha una certa induttanza). Verranno così a trovarsi, a moto ultimato, più elettroni sulla sfera inferiore che non sull'altra: cambieranno di polarità: con l'inversione delle cariche s'inverterà anche il moto degli elettroni che torneranno in abbondanza sulla sfera superiore per poi ridiscendere in quella inferiore, e così via.

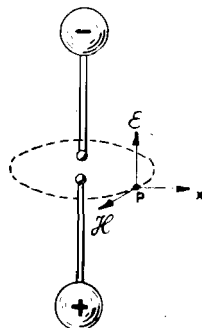


Fig. 40. - Dipolo di Hertz.

Tutto avviene come se, avendosi due recipienti eguali allo stesso livello ma contenenti dell'acqua in quantità diversa, si ponessero improvvisamente in comunicazione fra loro con un tubo di gomma. La massa d'acqua, prima di raggiungere in entrambi lo stesso livello (per il principio dei vasi comunicanti) compie delle oscillazioni che vanno gradualmente smorzandosi.

Questo scambio alternato di elettroni, in continua diminuzione per l'ostacolo dovuto alla resistenza dei conduttori ed a quella della scintilla, cesserà del tutto dopo un certo tempo e la scintilla si estinguerà. Ad ogni passaggio di elettroni, però, la corrente da loro creata farà nascere un campo magnetico le cui linee di forza sappiamo che

giacciono su piani perpendicolari al conduttore che unisce le due sfere. Campo magnetico e campo elettrico sono quindi ortogonali fra loro, come indicano le frecce PH e PE, rappresentanti le loro direzioni in un determinato istante, nel punto P situato su una linea di forza magnetica. Inoltre, ad ogni scarica il campo elettrico decresce rapidamente per rinascere in senso inverso, mentre il campo magnetico, che segue l'andamento della corrente in ampiezza e senso, cresce rapidamente da zero ad un massimo per poi ritornare a zero.

Invertendosi continuamente il moto degli elettroni, per tutto il tempo in cui dura la sequenza di oscillazioni sopra considerate, con una frequenza dipendente dall'induttanza e capacità del circuito, anche i campi magnetico ed elettrico si alternano con la stessa frequenza.

I treni di oscillazioni possono succedersi indefinitamente applicando ad intervalli regolari nuove cariche alle due sfere. Ad ogni carica succede una scintilla e ad ogni scintilla un moto rapidissimo di va e viene degli elettroni. Il campo elettromagnetico può così essere eccitato in continuazione, sia pure in forma intermittente per l'interruzione ritmica dell'arco prodotto dalla scintilla.

53 Energia elettromagnetica.

Quando un circuito oscillante di costanti L e C distribuite, cioè non concentrate, è percorso da corrente ad altissima frequenza (oltre 10.000 p/s), si produce una eccitazione dello spazio abbracciato dal campo elettromagnetico generato, e conseguentemente parte dell'energia presente nel circuito viene irradiata in tutte le direzioni.

Il dipolo di Hertz, da cui hanno tratto originè più o meno direttamente le normali antenne radiotrasmittenti, è un esempio di circuito oscillante a costanti distribuite.

Riprendendo in esame il punto P di fig. 40, si può dire che l'energia che da esso si diparte ha per direzione il vettore Px perpendicolare al piano formato dai vettori elettrico PE e magnetico PH. Dagli infiniti punti della linea di forza considerata (circonferenza tratteggiata) derivano infinite direzioni giacenti sullo stesso piano. Il campo di propagazione è quindi circolare rispetto al dipolo.

L'energia così trasmessa nello spazio viene chiamata *energia elettromagnetica*: essa si propaga con moto ondoso e con velocità costante pari a quella della luce, cioè di 300.000 Km. al secondo. Dipendendo questa energia dal generatore di corrente ad alta frequenza che alimenta l'antenna emittente, il moto ondoso che la caratterizza è perciò legato alla frequenza del generatore.

A differenza di altre forme di energia che pure si propagano ad onde, quella elettromagnetica non ha bisogno di mezzo materiale che serva da supporto. Non vi sono nel fenomeno in questione particelle vibranti del mezzo che trasmettono alle particelle adiacenti il loro moto. Le onde elettromagnetiche si propagano anche nel vuoto e le variazioni di stato del mezzo consistono nelle variazioni periodiche dei campi elettrico e magnetico.

Chiamasi *lunghezza d'onda* (simbolo λ) di una particolare emissione di energia elettromagnetica la distanza percorsa nello spazio da questa energia nel tempo di una andata ed un ritorno della corrente nell'antenna, cioè durante un periodo completo dell'oscillazione. La lunghezza d'onda, che viene espressa generalmente in metri, è data dunque dal prodotto della velocità di propagazione per il periodo della corrente, ossia dal rapporto tra tale velocità e la frequenza dell'oscillazione:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

in cui v è espressa in metri o chilometri per secondo, ed f , rispettivamente in cicli o chilocicli per secondo.

Esempio: una stazione radioemittente ha, come caratteristica del segnale irradiato, la lunghezza d'onda di 200 m. Ciò significa che la sua antenna viene eccitata da una corrente che ha la frequenza di 1500 Kc/s. Infatti, dalla formula data risulta:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{300.000.000}{200} = 1.500.000 \text{ c/s} = 1500 \text{ Kc/s}$$

Viceversa, una stazione che lavora alla frequenza di 1000 Kc/s ha una lunghezza d'onda:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300.000.000}{1.000.000} = 300 \text{ metri.}$$

54 Propagazione delle radio onde.

Classificazione. — Le radio onde differiscono dalle altre forme di radiazione, come la luce ed il calore, dal modo nel quale vengono generate e dalla loro lunghezza. Esse sono comprese nella gamma vastissima che va dalla lunghezza d'onda di alcuni millimetri a quella di circa 30 Km., cioè dalla frequenza intorno a 100.000 Mc/s a quella di circa 10.000 c/s.

La conferenza dell'Aja ha stabilito di dividerla in gruppi o *bande* come dal prospetto seguente:

- | | |
|---------------------------|--|
| a) <i>Onde lunghe</i> | $\lambda > 3000$ m ; $f < 100$ Kc/s |
| b) <i>Onde medie</i> | λ da 5000 a 200 m ;
f da 100 a 1500 Kc/s |
| c) <i>Onde mediocorte</i> | λ da 200 a 50 m ;
f da 1500 a 6000 Kc/s |
| d) <i>Onde corte</i> | λ da 50 a 10 m ;
f da 6 a 30 Mc/s |
| e) <i>Onde ultracorte</i> | λ da 10 a 1 m ;
f da 30 a 300 Mc/s |
| f) <i>Micro onde</i> | λ da 1 a circa 0,003 m ;
f da 300 a 100.000 Mc/s. |

Nella pratica corrente, però, sono considerate onde lunghe quelle che vanno da 1000 a 3000 m., onde medie quelle tra 600 e 200 m., onde corte quelle tra 10 e 60 m. Ciò perché le normali trasmissioni radio sono comprese appunto in queste *bande*, così chiamate dai costruttori degli apparecchi radio.

Polarizzazione. — La polarizzazione delle radio onde è semplicemente la direzione delle linee di forza del campo elettrico.

Se il piano di questo campo è verticale cioè, praticamente, se l'antenna emittente è verticale, si dice che l'onda ha *polarizzazione verticale*; se invece esso è orizzontale (antenna emittente orizzontale) si dice che l'onda ha *polarizzazione orizzontale*.

Nel campo delle onde medie e delle onde lunghe si hanno spesso radiazioni che presentano tutti e due i tipi

di polarizzazione. Questo è dovuto al fatto che le antenne relative a queste onde hanno sovente uno sviluppo dei loro elementi irradianti che è parte verticale e parte orizzontale.

Riflessione - Rifrazione - Diffrazione. — Quando una radio onda colpisce un oggetto che si trova attraverso il suo cammino, essa subisce *riflessione* come qualunque radiazione di altro genere. Tale riflessione si manifesta specialmente se l'oggetto è conduttore e se le sue dimensioni sono dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda incidente.

Una discontinuità nella proprietà dielettrica del mezzo che l'onda attraversa obliquamente genera invece *rifrazione*. Le radiazioni che partono con angoli alti dall'antenna trasmittente colpiscono gli alti strati dell'atmosfera (*ionosfera*) e penetrano in essi per un certo tratto subendo successivi cambiamenti di direzione fino a ritornare, nei casi più favorevoli, sulla terra.

Quando un'onda sfiora lungo il suo percorso il bordo di un oggetto, essa tende a piegarsi costeggiando il detto bordo. Questo effetto, chiamato *diffrazione*, permette a parte dell'energia contenuta in quelle onde, che normalmente si propagano in senso rettilineo (ultracorte), di deviare e di pervenire al di là dell'ostacolo sorpassandone la sommità o seguendone il bordo: gli gira attorno.

Varî tipi di onde. — L'energia irradiata da una antenna si propaga attorno alla terra per onde che seguono la sua superficie e per onde che attraversano lo spazio in senso orizzontale, oppure dirigendosi verso l'alto.

Chiamasi *onda ionosferica* quella parte della totale radiazione che si dirige verso la ionosfera (80 ÷ 100 Km. dal suolo). In dipendenza della frequenza del segnale e delle variabili condizioni esistenti a quelle altezze, l'onda ionosferica può o meno essere rinviata sulla terra per gli effetti della rifrazione e della riflessione.

Chiamasi *onda terrestre* quella parte della radiazione che è direttamente influenzata dalla presenza della terra e dalle anfrattuosità della sua superficie. L'onda terrestre ha due componenti: una è l'*onda di superficie*, che è un'onda guidata dalla superficie della terra, e l'altra è l'*onda spaziale*, che è la combinazione dell'onda irradiata in direzione orizzontale con quella riflessa dalla stessa terra.

Anche l'onda diretta, la quale procedendo in senso

orizzontale dovrebbe procedere rettilinea e distaccarsi progressivamente dalla terra, subisce per certe frequenze una parziale inflessione che la costringe a seguire la curvatura terrestre. Il fenomeno è essenzialmente motivato dalla diffrazione della terra e dalla rifrazione nella bassa atmosfera.

Attenuazione o comportamento delle radio onde con la distanza. — L'onda terrestre, che parte dal trasmettitore con un'intensità dipendente dal campo irradiato in direzione orizzontale, man mano che si allontana dall'antenna diventa più debole in conseguenza del suo espandersi e dell'assorbimento da parte della superficie terrestre. Tale attenuazione è maggiore per le frequenze più elevate e per i terreni più conduttori che non per le frequenze più basse e i terreni più asciutti.

L'onda ionosferica è pure soggetta a forti assorbimenti di energia nell'attraversare gli strati ionizzati dell'alta atmosfera prima di essere piegata verso terra. Queste perdite, però, aumentano col diminuire della frequenza e con la densità della ionizzazione. In certi casi esse sono così rilevanti che praticamente tutta l'energia contenuta nell'onda rimane assorbita. Per le onde corte l'attenuazione, pur essendo mutevolissima per un complesso di fenomeni, è in linea di massima molto minore che per le onde medie e lunghe.

In sostanza le onde elettromagnetiche, a seconda della loro lunghezza, si comportano come segue:

a) Le onde lunghe si propagano prevalentemente per onde terrestri e pervengono alle grandi distanze solo per onde ionosferiche. La zona servita dalle radiazioni dirette gode di segnali sufficientemente ampi e costanti, mentre quella servita dalle radiazioni indirette non può contare che su segnali di debole e mutevole intensità. L'attenuazione di queste ultime radiazioni, inoltre, è maggiore durante le ore diurne.

Le antenne di trasmissione per onde lunghe, allo scopo di meglio favorire l'onda terrestre, debbono essere fatte in modo da poter concentrare il più possibile l'energia verso gli angoli bassi.

b) Le onde medie hanno una portata minore delle onde lunghe. L'onda ionosferica è attenuata quasi completamente di giorno, mentre nella notte si propaga abbastan-

za bene; è soggetta a notevoli variazioni dovute a cambiamenti dell'attività solare temporanei o stagionali.

Nella propagazione delle onde medie vi sono tre zone distinte: quella dell'onda terrestre che rappresenta la portata utile del trasmettitore in qualunque momento, quella a grande distanza ove perviene solo l'onda ionosferica, e quella intermedia ove arrivano entrambe le forme d'onda con il risultato di produrre un'interferenza fra due segnali i quali, sommandosi o sottraendosi a seconda della fase, fanno aumentare o diminuire saltuariamente la forza del segnale risultante, dando luogo ad un fenomeno conosciuto con il nome di *fading*.

c) Alle frequenze superiori a 2000 kc/s l'onda terrestre si estingue rapidamente e diventa trascurabile ai fini pratici. Le comunicazioni su onde corte si basano perciò esclusivamente sulla propagazione per onde ionosferiche. L'intensità dei segnali a grande distanza dal trasmettitore dipende dalla frequenza dell'emissione, dalle condizioni della ionosfera e dall'angolo d'incidenza delle onde con la ionosfera stessa.

Nella fig. 41 si può notare l'andamento dell'onda iono-

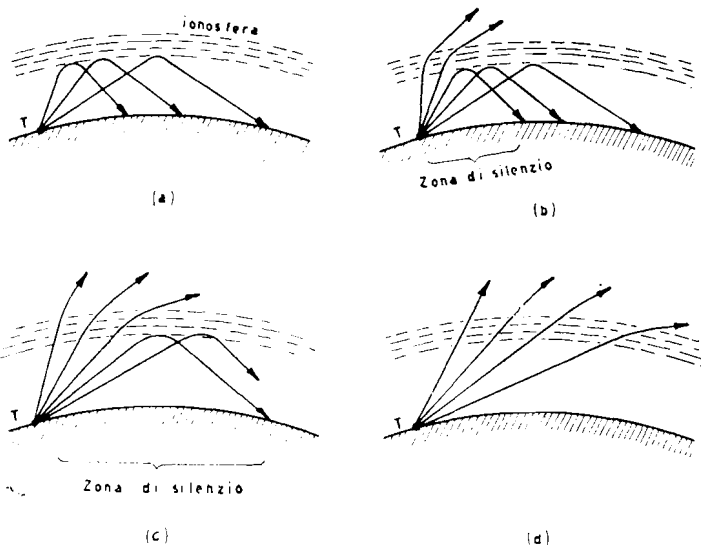


Fig. 41. -- Rifrazione delle onde corte.

sferica per diverse frequenze e per angoli diversi d'incidenza. In (a) tutte le radiazioni prodotte da una frequenza non troppo elevata sono rifratte verso il basso. In (b), ove la frequenza è maggiore, le radiazioni ad angolo d'incidenza tendente a 90° non vengono piegate sufficientemente da ritornare sulla terra. Si stabilisce quindi una zona di silenzio fra la brevissima portata diretta ed il limite da cui cominciano ad arrivare le onde rifratte. In (c), essendo la frequenza ancora maggiore, la zona di silenzio aumenta. Infine, in (d), per le ultrafrequenze, anche le radiazioni ad angoli minimi non ritornano sulla terra.

d) Le microonde hanno la caratteristica di propagarsi efficientemente in direzione pressoché rettilinea, senza subire l'effetto della curvatura terrestre. Esse vengono perciò utilizzate solo quando fra antenna ricevente e antenna trasmittente esistono condizioni di piena visibilità, cioè quando non vi sono ostacoli di sorta sul loro percorso. Per ottenere portate di un certo rilievo con queste onde occorre che l'antenna di trasmissione e quella di ricezione siano poste in punti elevati. Le antenne in questione sono spesso munite di speciali riflettori parabolici aventi alcuni metri di diametro. Un riflettore di questo genere permette all'antenna emittente di concentrare la sua irradiazione in un angolo di pochi gradi, a vantaggio dell'intensità di campo e, all'antenna ricevente, di aumentare molte volte il suo potere ricettivo, limitatamente alla direzione in cui viene orientata.

55 Captazione delle radio onde.

Qualsiasi conduttore elettrico situato a distanza da un trasmettitore, se rimane investito dal campo elettromagnetico, diventa sede di una tensione indotta del tutto simile a quella dell'antenna di trasmissione. Se tale conduttore è orientato in modo da risultare parallelo all'antenna anzidetta, il flusso da esso tagliato è massimo e la tensione in esso sviluppata è pure massima. Questa tensione, pur essendo debolissima per l'esiguità del campo interessato dal conduttore, se convenientemente amplificata può essere utilizzata per scopi pratici.

Ad aumentare l'efficienza di una antenna ricevente, oltre il fattore orientamento, concorrono due altri fattori importanti che sono la sua altezza dal suolo ed il suo sviluppo in lunghezza rispetto al segnale ricevuto.

Il campo elettromagnetico di una stazione emittente si misura infatti in microvolt (o millivolt nei casi migliori) per metro di altezza. Maggiore è quindi l'altezza dell'antenna ricevente, maggiore è l'intensità del segnale captato.

Detta antenna si comporta, inoltre, da circuito risonante rispetto alla frequenza del segnale. Nella sua forma più semplice essa è costituita da un filo metallico di rame o bronzo fosforoso teso orizzontalmente o verticalmente. Se tale filo è isolato da terra, la risonanza sarà ottenuta per un segnale la cui lunghezza d'onda sia doppia della lunghezza fisica del filo: un'antenna così formata si chiama *dipolo*. Se lo stesso filo è connesso a terra ad un estremo, la risonanza sarà ottenuta per un segnale la cui lunghezza d'onda sia quadrupla della lunghezza fisica del filo: è questa l'*antenna marconiana*. Dimensionando opportunamente l'antenna di ricezione si può quindi aumentare l'intensità di un determinato segnale che si voglia distinguere fra altri di diversa lunghezza d'onda.

Mentre nel caso della trasmissione l'antenna è curata in tutti i suoi particolari affinché abbia la massima efficienza, nel caso della ricezione molti particolari si possono trascurare perché alla debolezza del segnale si può facilmente ovviare mediante le forti amplificazioni di cui sono dotati i moderni apparecchi radioriceventi. Inoltre c'è il fatto che l'antenna trasmittente deve lavorare con un solo segnale ad una sola frequenza, mentre l'antenna ricevente è destinata a ricevere una grande quantità di segnali di tutte le frequenze possibili.

L'accordo o *sintonia* dell'antenna di ricezione, necessario per selezionare il segnale desiderato dagli altri che caoticamente la investono, è praticamente affidato al circuito oscillante d'ingresso del ricevitore al quale la stessa antenna è accoppiata.

Tale circuito è costituito da un'induttanza e da un condensatore variabile. Ruotando lentamente il *variabile* mediante la manopola demoltiplicata, chiamata *manopola di sintonia*, si porta il circuito d'ingresso in risonanza con la

frequenza del segnale voluto. Detto segnale aumenta in questo modo fortemente di ampiezza rispetto agli altri, ed ha così possibilità di passare pressoché indisturbato attraverso i rimanenti organi del ricevitore.

56 Onde smorzate, onde continue e modulate.

Le comunicazioni radiotelegrafiche e radiotelefoniche vengono effettuate per mezzo delle onde elettromagnetiche la cui generazione è affidata ai radiotrasmittitori. L'energia necessaria, fornita da una sorgente elettrica c.c. o c.a., è convertita in energia ad alta frequenza che applicata all'antenna provoca il fenomeno della irradiazione.

Se il segnale trasmesso è a carattere uniforme, cioè è determinato da oscillazioni aventi una frequenza ed una ampiezza costanti nel tempo, si dice che le onde emesse

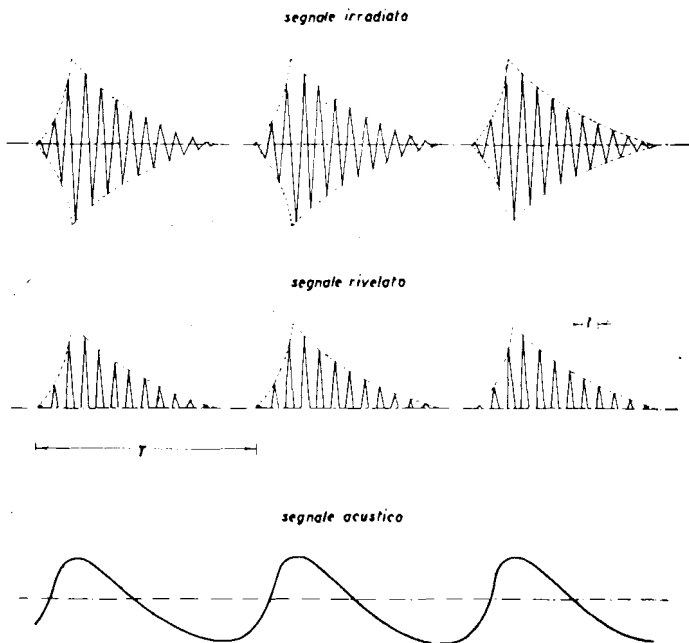


Fig. 42. -- Oscillogrammi di un segnale a onda smorzata (T e il periodo dei treni d'onda, t quello delle oscillazioni ad alta frequenza).

sono *persistenti continue*. Se uno stesso tipo di segnale reca, assieme alla componente principale di frequenza, chiamata *onda portante*, delle componenti secondarie contenenti inflessioni a carattere acustico-musicale, si dice che le onde irradiate sono *persistenti modulate*.

In un primo tempo le radio onde furono utilizzate esclusivamente nella forma derivante dall'oscillatore di Hertz o da altre apparecchiature similari; erano cioè composte da treni di oscillazioni smorzate succedentisi a ritmo di alcune centinaia al secondo (vedi fig. 42).

L'intelligibilità era appunto data dalla bassa frequenza di questi treni d'onda i quali, dopo aver subito il processo di *rivelazione*, generavano nel riproduttore acustico del ricevitore (cuffia telefonica o altoparlante) una nota musicale di altezza costante avente la stessa frequenza dei treni d'onda. Interrompendo opportunamente a tratti lunghi e brevi l'emissione di questo segnale, si poteva tradurre in lettere, secondo il sistema Morse, il contenuto di un messaggio.

Successivamente si sviluppò la tecnica di trasmissione ed il generatore ad onde smorzate fu sostituito da quello ad onde persistenti. Ciò portò ad un rendimento di trasmissione molto maggiore e permise ad un maggior numero di stazioni di lavorare sulla stessa banda senza interferenze reciproche.

Le onde persistenti furono dapprima prodotte da alternatori ad alta frequenza i quali consentivano la massima semplicità di circuito, ma avevano l'inconveniente di essere di costruzione piuttosto complessa a causa delle forti velocità di rotazione. Le massime frequenze raggiungibili con essi erano piuttosto basse non superando l'ordine di grandezza di $10.000 \div 15.000$ c/s, cosa che permetteva soltanto l'emissione di onde lunghissime.

Più tardi si applicò agli alternatori un dispositivo chiamato *moltiplicatore statico di frequenza* che rese possibile la produzione di onde fino alla lunghezza di 250 metri (1200 Kc/s).

È di un'epoca relativamente recente l'applicazione dei tubi elettronici (altrimenti detti *valvole termoioniche*) che hanno permesso di risolvere completamente qualunque problema di generazione di potenza a qualsiasi frequenza,

e per mezzo dei quali si sono ottenuti segnali di grande purezza e regolarità.

Con il diffondersi dei moderni oscillatori a valvola, attualmente i soli rimasti in uso, si è potuto soddisfacentemente effettuare la modulazione dell'onda portante, che è un processo di variazione d'ampiezza o di frequenza del segnale irradiato, il quale consente di trasmettere suoni e parole articolate.

Un normale segnale modulato è pertanto composto da due parti: l'una costituita da oscillazioni ad alta frequenza funzionante da veicolo nello spazio, e l'altra costituita da oscillazioni a bassa frequenza, sovrapposte alle prime e contenenti la vera essenza della trasmissione. In ricezione le due parti vengono scisse attraverso l'elemento rivelatore e, ciò che interessa, sono tradotte in suono dall'altoparlante.

Entrambi le modulazioni accennate, ossia la *modulazione d'ampiezza* e la *modulazione di frequenza*, sono comunemente adoperate tanto per le trasmissioni a carattere musicale che per quelle di semplice comunicazione: delle due, però, è più diffusa la prima.

La modulazione di frequenza è praticamente attuabile solo nel campo delle onde molto corte a causa dello spettro di frequenza piuttosto vasto che essa produce. Infatti, mentre i segnali modulati d'ampiezza occupano normalmente un canale di 9 Kc, quelli modulati di frequenza richiedono un canale largo tra 50 e 150 Kc. Ciò significa che, mentre nel primo caso le stazioni emittenti debbono essere distanziate con le portanti di almeno 9 Kc al fine di non disturbarsi reciprocamente, nel secondo l'intervallo di frequenza deve essere molto maggiore. Per contro, la massima frequenza audio impiegabile nella modulazione d'ampiezza è 4500 c/s quando alcun limite è imposto in questo campo alla modulazione di frequenza. I segnali, con quest'ultima modulazione, risultano inoltre meno influenzabili dai disturbi atmosferici e industriali.

La limitazione a 4500 c/s della massima frequenza musicale adoperata nella modulazione d'ampiezza è stata determinata da ragioni pratiche, fra cui quella di permettere ad un maggior numero di stazioni di servirsi delle onde a propagazione più favorevole per gli scopi della ra-

dio diffusione. Lo spettro di frequenza formato da un'onda modulata d'ampiezza è infatti proporzionale alla frequenza del segnale modulante: se una portante di frequenza f è modulata da un segnale audio di frequenza f' , le componenti di frequenza introdotte nella portante stessa sono $f + f'$ ed $f - f'$. Maggiore è quindi la f' , maggiore diventa l'ampiezza del canale occupato e di conseguenza minore è il numero delle stazioni che possono lavorare in una determinata banda.

Modulando con segnali audio da zero ad f' , si introducono nella portante infinite componenti sopra e sotto il suo valore fondamentale, gli estremi delle quali rimangono compresi nei limiti anzidetti di $f + f'$. Tutte queste componenti che accompagnano sempre l'onda portante irradiata da una stazione radiofonica vengono chiamate *bande laterali*.

Nella fig. 43 sono riportati gli oscillogrammi relativi ai segnali radio più comunemente adoperati.

In (a) l'ampiezza delle oscillazioni è sempre costante. Questa onda non dà alcun suono nell'altoparlante del ricevitore ma soltanto quel fruscio caratteristico che siamo abituati a sentire quando sintonizziamo una stazione che è già in funzione ma non ha ancora iniziato il suo programma.

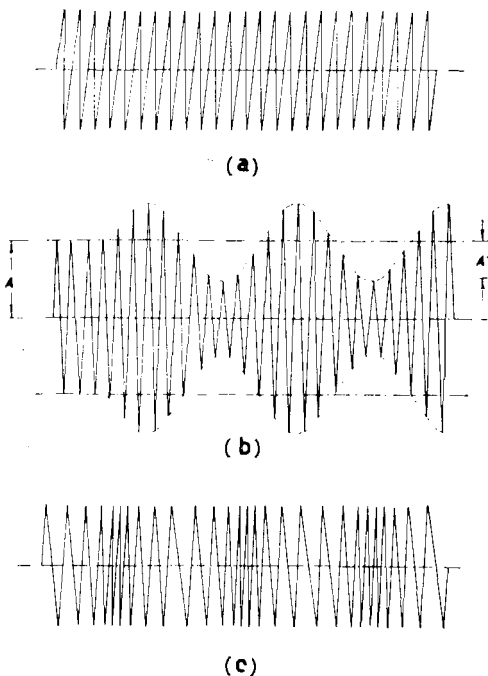


Fig. 43. - (a) Onda persistente continua; (b) onda modulata d'ampiezza; (c) onda modulata di frequenza.

In (b) lo stesso tipo d'onda è modulato in ampiezza, il che significa che ciascun ciclo della corrente ad alta frequenza che lo compone subisce un mutamento d'ampiezza, in più o in meno del suo livello medio, in dipendenza diretta del segnale modulante. La traccia del segnale audio è visibile nelle due curve simmetriche tratteggiate che uniscono le creste positive e quelle negative delle oscillazioni della portante. Nel circuito rivelatore dell'apparecchio ricevente il segnale complessivo, così come lo si vede, viene soppresso a metà e successivamente *filtrato* di tutti gli impulsi a radio frequenza. Se ne ricava in tal modo un segnale a bassa frequenza che è l'esatta riproduzione di quello che nel trasmettitore ha effettuato la modulazione.

In un'onda modulata d'ampiezza il rapporto A/A' fra l'ampiezza del segnale modulante e quella della portante non modulata viene chiamato *profondità di modulazione*. È importante che la profondità di modulazione sia elevata (prossima all'unità) perché, così facendo, i disturbi di ricezione sono meno sentiti e perché si richiede una minore amplificazione in bassa frequenza nei passaggi entro il ricevitore. Infatti il segnale audio, che in ultima analisi è la parte utile di una emissione modulata, è tanto più forte all'uscita del rivelatore quanto più profonda è la modulazione della portante.

In (c) della stessa figura 43 si può notare l'aspetto di un'onda persistente modulata in frequenza. L'ampiezza di essa è sempre costante mentre la frequenza delle oscillazioni cambia in modo continuo in più o in meno del valore medio della portante, seguendo la curva d'ampiezza del segnale di modulazione. I limiti entro cui tale frequenza viene fatta variare, sono infatti proporzionali all'ampiezza del segnale audio. Il numero delle volte che la stessa frequenza varia in un secondo corrispondente invece alla frequenza del segnale audio.

Chiariamo questi concetti con un esempio pratico. Si voglia con un segnale audio di 400 c/s modulare in frequenza una portante di 1000 Kc/s. Ciò può essere ottenuto facendo variare la frequenza di questa portante entro i limiti $1001 \div 999$ Kc/s, 400 volte al secondo. Un altro segnale audio, avente la stessa ampiezza del primo e frequenza 800 c/s, fa variare la frequenza della portante en-

tro gli stessi limiti 800 volte al secondo. Se si raddoppia invece l'ampiezza del segnale di 400 c/s, la deviazione di frequenza introdotta nella portante raddoppia anch'essa, facendo però ancora 400 escursioni complete in un secondo. Le frequenze limiti in questo secondo caso vengono ad essere 1002 e 998 Kc/s, cioè la deviazione passa dal valore ± 1 Kc al valore ± 2 Kc.

Nella modulazione di frequenza si chiama *indice di modulazione* il rapporto tra la massima variazione di frequenza prodotta (in più o in meno) nella portante e la massima frequenza usata per il segnale modulante. Effettuando, ad esempio, una massima deviazione ± 50 Kc con segnali acustici la cui massima frequenza sia 10000 c/s, si ottiene un indice di modulazione di $50/10 = 5$.

In questo stesso campo dicesi invece *percentuale di modulazione* il rapporto fra l'effettiva deviazione di frequenza causata dalla modulazione e l'ammontare della deviazione massima stabilita arbitrariamente come il 100% di modulazione. Per le stazioni che effettuano comunicazioni di carattere commerciale, ad esempio, la deviazione definita come massima è ± 75 Kc. Se una certa apparecchiatura di questo genere produce una deviazione massima di ± 50 Kc, si dice che modula al

$$\frac{50}{75} 100 = 66,6\% .$$

57 Ricezione delle radio onde.

Radoricevitori elementari. — Per poter ricevere le onde elettromagnetiche — e qui ci riferiamo alle onde più comunemente usate, cioè a quelle modulate in ampiezza — sono indispensabili almeno tre cose e precisamente: un'antenna, un rivelatore ed una cuffia telefonica.

Il rivelatore può essere costituito, oltre che da una valvola, da un cristallo di galena, di carborundum o, meglio, da un cristallo al germanio. Quest'organo è importantissimo in un apparecchio di ricezione perché senza di esso il segnale radio non sarebbe udibile avendo, nei riguardi della parte audio, un valore medio nullo.

I cristalli citati hanno la proprietà di lasciarsi attraversare dalla corrente soltanto in un senso, presentando nel senso opposto una elevatissima resistenza. Una corrente alternata ad essi applicata subisce perciò un taglio delle alternanze che farebbero circolare corrente nel senso opposto a quello di conduzione. Il segnale radio modulato d'ampiezza viene così *rettificato* e gli impulsi unidirezionali rimanenti, i quali contengono tuttora intatta la modulazione, vengono inviati al riproduttore dei suoni.

Una cuffia telefonica svolge normalmente la funzione di trasformare le correnti alternate di bassa frequenza in onde sonore. Essa è costituita da un piccolo magnete permanente piegato ad U, attorno a cui è disposta una bobina di rame. In prossimità delle due espansioni del magnete, ed in asse con questo, è collocata una sottile membrana di ferro. La membrana è normalmente attratta dal magnete ma non lo tocca. Quando si fa circolare nella bobina una corrente variabile, l'intensità del campo magnetico aumenta e diminuisce alternativamente e quindi la membrana vibra producendo un suono avente la stessa frequenza della corrente che ne ha provocato la vibrazione.

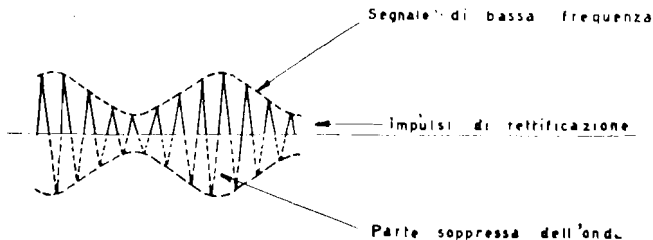


Fig. 44. - Onda modulata all'uscita di un rivelatore.

Un effetto analogo si ottiene attivando la cuffia con la corrente pulsante uscente dal radorivelatore. L'alta induttanza dell'avvolgimento del magnete non permette il passaggio degli impulsi di radio frequenza, ma lascia passare agevolmente le variazioni lente di ampiezza dei medesimi. La cuffia, in sostanza, funziona da integratore delle differenze di ampiezza esistenti nei singoli impulsi dell'onda rettificata (fig. 44).

Diamo ora in fig. 45 due semplici schemi di circuiti riceventi. Il primo rappresenta un ricevitore rudimentale, ridotto alle sue linee essenziali. Esso non può funzionare

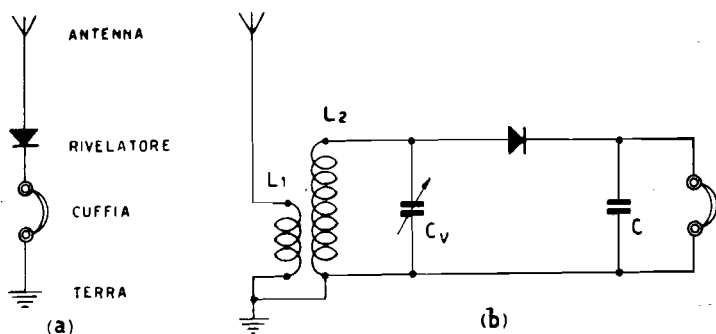


Fig. 45. - Circuiti elementari di ricezione.

che in prossimità di una forte stazione emittente. Il secondo costituisce già un passo avanti e, con una buona antenna, consente la ricezione delle principali emittenti ad onda media.

Perché l'efficienza del circuito (b) sia massima, occorre che gli organi di sintonia siano di buona qualità e che il tutto sia montato nella maniera più razionale possibile.

Nel caso che il lettore abbia interesse a realizzare una apparecchiatura di questo genere, come primo approccio ai più complicati circuiti a valvola, diamo alcuni chiarimenti costruttivi che serviranno anche a prendere dimestichezza con organi che più o meno ricorrono in tutti i montaggi radio. Il trasformatore di radio frequenza, comprendente la bobina di accoppiamento d'antenna L_1 e quella di sintonia L_2 , è ricavato da un tubo di cartone bachezzato del diametro esterno di 30 mm. e della lunghezza di circa 70 mm.

Ad una estremità del tubo verranno fissate tre linguette di ancoraggio in rame stagnato che serviranno per i terminali delle bobine; all'altra estremità si fisseranno due squadrette che reggeranno il tubo in posizione verticale sul pannello di montaggio: 25 spire accostate di filo smaltato avente 0,2 mm. di diametro costituiranno la bobina L_2 . I terminali degli avvolgimenti, passati pel fissag-

gio stabile, all'interno del tubo attraverso piccoli fori, saranno saldati alle linguette accennate, come è indicato nella fig. 46.

Il condensatore variabile C_v è del tipo in aria, ad una sezione, della capacità di $20 \div 380$ pF. Il condensatore fisso C è del tipo a mica, della capacità di 5000 pF.

Il rivelatore è un cristallo al germanio, che può essere il modello Sylvania 1N34 o altro equivalente.

Tutto il montaggio verrà eseguito su un pannello preferibilmente di materiale isolante, avendo cura di siste-

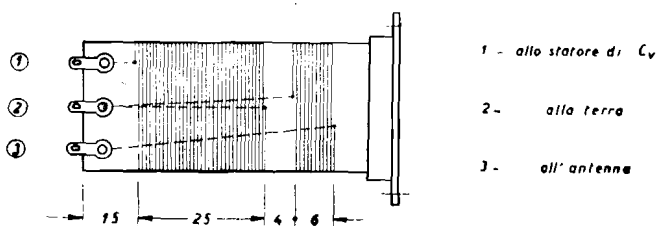


Fig. 46. - Trasformatore di radio frequenza per piccoli ricevitori (misure in mm.).

mare i vari organi in modo da ridurre al minimo i fili di collegamento che dovranno essere saldati ai punti interessati. Una piastrina con due boccole, che si può trovare già pronta in commercio, verrà utilizzata per l'innesto nella cuffia.

Un semplice calcolo servirà di verifica dell'induttanza L_2 e della sua risonanza con C_v . È da tener presente che il diametro medio⁽¹⁾ della bobina è quello del supporto più un diametro del filo, e che le capacità massima o minima del variabile vanno aumentate della capacità parassita globale del montaggio (capacità propria della bobina e dei collegamenti verso massa), la quale assomma nel nostro caso a circa 20 pF.

Dalla formula dell'induttanza per bobine cilindriche ad uno strato, data al paragrafo 29 si ha:

$$L_2 = \frac{D^2 N^2}{2,54 (18 D + 40 l)} = \frac{3,02^2 \times 100^2}{2,54 (18 \times 3,02 + 40 \times 2,5)} \approx 233 \mu\text{H}.$$

Dalla formula di risonanza per f in Kc/s, L in μH , C in pF data al paragrafo 46 si ha:

$$f_{\max} = \frac{159200}{\sqrt{L(C_{\min} + C_0)}} = \frac{159200}{\sqrt{233(20 + 20)}} \approx 1650 \text{ Kc/s}$$

$$f_{\min} = \frac{159200}{\sqrt{L(C_{\max} + C_0)}} = \frac{159200}{\sqrt{233(370 + 20)}} \approx 522 \text{ Kc/s}.$$

Questi valori sono presso a poco gli estremi pratici della banda onde medie e corrispondono alle frequenze delle stazioni situate ai limiti della banda anzidetta.

Apparecchi per onde continue. — Le onde persistenti o continue, interrotte opportunamente da un tasto di manipolazione, possono essere utilizzate a scopo di comunicazioni radiotelegrafiche.

Per ricavare un suono da tali onde occorre però che il ricevitore sia provvisto di un oscillatore capace di generare un segnale di frequenza molto prossimo a quello del segnale in arrivo. Accoppiando l'oscillatore al circuito d'antenna, i due segnali si mescolano e producono il cosiddetto *battimento*.

Due correnti alternative qualsiasi che si trovano ad

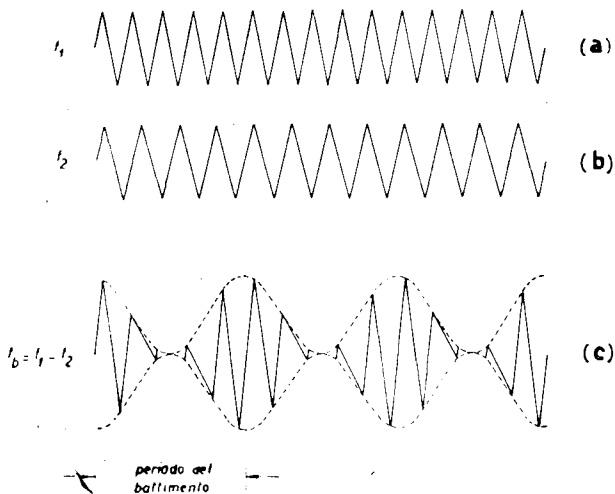


Fig. 47. — Produzione di battimento con due oscillazioni sovrapposte.

agire nello stesso circuito danno luogo ad una corrente risultante la cui forma è rappresentata in (c) della fig. 47: in alcuni istanti le due ampiezze concordano di senso e si sommano, in alcuni altri, le stesse, discordano e si sottraggono. Nasce da ciò una specie di onda modulata con frequenza di modulazione costante, e tale frequenza, chiamata *frequenza di battimento*, corrisponde alla differenza delle due frequenze originarie.

Se il ricevitore dispone, oltre al comando di sintonia del segnale radio, di un comando atto a variare la frequenza dell'oscillazione generata localmente, si può portare il battimento ad una frequenza di qualche migliaio o poche centinaia di cicli al secondo, adattando così la nota di battimento alla sensibilità auditiva dell'operatore.

L'oscillazione di battimento può essere prodotta anche dallo stesso organo di rivelazione, se esso è una valvola, ed allora il circuito che compie le due funzioni contemporaneamente prende il nome di *autodina*.

Generalmente è consigliabile amplificare di un centinaio di volte circa il segnale captato dall'antenna prima di eseguire la rivelazione. A questo scopo uno o due stadi a *radio frequenza* (RF) sono sufficienti.

Un'ulteriore amplificazione è conseguita dallo stadio autodina, di modo che l'ampiezza del segnale audio disponibile all'uscita del rivelatore può già raggiungere, nella maggior parte dei casi, il valore di circa 0,25 volt. Tale valore può bastare per una ricezione in cuffia; ma se si desidera effettuare l'ascolto in altoparlante è necessario aggiungere un altro stadio che provveda ad aumentare la intensità del segnale audio e contemporaneamente a fornire la potenza richiesta dal convertitore di energia elettrica in energia sonora.

Apparecchi per onde modulate. — Il ricevitore per le onde modulate non è essenzialmente dissimile da quello testé descritto. Escludendo il generatore di battimento, che non ha più ragione di esistere, rimane soltanto da dire che, se il ricevitore è costruito per la modulazione di frequenza, esso ha, al posto del rivelatore, un circuito concettualmente alquanto diverso che viene denominato *discriminatore* e che svolge la funzione di trasformare le deviazioni perio-

diche di frequenza della portante in variazioni di ampiezza di un segnale audio.

Diciamo incidentalmente che, mentre nei ricevitori a modulazione d'ampiezza l'intensità istantanea del segnale audio dipende dal valore in quell'istante dell'ampiezza dell'onda portante, nei ricevitori a modulazione di frequenza tale intensità è funzione invece dell'entità dello spostamento, nell'istante considerato, della frequenza portante dal suo valore di base o di riposo.

Ricevitori con o senza conversione di frequenza. — Gli apparecchi di ricezione sia per onde continue che per onde modulate si dividono in due distinte categorie, cioè in ricevitori ad *amplificazione diretta* ed in ricevitori a *conversione di frequenza* (questi ultimi detti anche *supereterodine*).

Nei primi, già spiegati a grandi linee, l'amplificazione RF e la rivelazione sono fatte direttamente sulla frequenza propria del segnale ricevuto, cioè i vari stadi che precedono la formazione del segnale audio sono tutti accordati sul segnale in arrivo. I circuiti oscillanti relativi a questi stadi hanno induttanze e capacità uguali, di modo che la selezione del segnale voluto è affidata ad un unico comando che fa ruotare di uno stesso angolo tutti i condensatori variabili di sintonia.

Il ricevitore supereterodina si differenzia da quello ad amplificazione diretta per il fatto che l'amplificazione di alta frequenza è ottenuta in parte da stadi accordabili sulla frequenza del segnale e in parte da stadi sintonizzati ad una frequenza costante prefissata, chiamata *media frequenza* o *frequenza intermedia* (FI).

La frequenza intermedia è scelta opportunamente di valore più basso della minima frequenza che si vuol ricevere, e tutti i segnali captati vengono convertiti ad essa mediante un oscillatore appositamente studiato. Naturalmente ciascun segnale, prima della conversione, è isolato dagli altri dalle proprietà selettive dei circuiti d'ingresso, di modo che uno solo di essi alla volta è mandato all'amplificatore FI, e da questo al rivelatore.

La conversione di frequenza è fatta allo scopo di rendere più agevole ed efficace l'amplificazione dei segnali radio, specialmente se essi sono ad onda corta o cortissima.

È infatti noto che le perdite nei circuiti oscillanti aumentano con la frequenza, essendo maggiori le dispersioni di energia causate dai supporti delle bobine, da quelli dei condensatori, dai dielettrici, dagli zoccoli portavalvole, ecc. Un ricevitore a conversione di frequenza è quindi generalmente più sensibile, a pari numero di valvole, di un ricevitore ad amplificazione diretta.

L'amplificatore FI contribuisce, inoltre, ad aumentare la selettività del ricevitore, proprietà questa che sta ad indicare l'attitudine dello stesso ad attenuare eventuali interferenze di segnali egualmente forti, situati su canali adiacenti a quello sintonizzante.

Lo stadio preposto alla trasformazione dei segnali si chiama *convertitore di frequenza* o *mescolatore*. Esso dispone solitamente di una valvola doppia di cui una sezione oscilla, producendo una tensione ad alta frequenza che si fa battere col segnale d'antenna, e l'altra amplifica e *rivela* il battimento risultante.

La frequenza dell'oscillatore è variabile come quella dei circuiti sintonizzati di RF ma rimane sempre superiore (o inferiore in alcuni casi) a quella di questi di una quantità costante che corrisponde al valore stabilito come media frequenza. Il condensatore dell'oscillatore è comandato naturalmente insieme agli altri che effettuano la sintonia del ricevitore.

Non bisogna confondere la rivelazione del battimento di conversione con quella atta a scindere i segnali audio dall'involuppo ad alta frequenza dell'onda. Per evitare confusione spesso si dice *prima rivelazione* quella effettuata dalla valvola convertitrice direttamente sull'onda in arrivo, e *seconda rivelazione* l'altra che viene fatta sulla frequenza intermedia. Vediamo di spiegare la necessità della prima rivelazione.

Dal battimento di un'onda modulata con un'onda continua (quella dell'oscillatore) nasce un'oscillazione complessa avente l'aspetto indicato in (c) della fig. 48. Tale oscillazione presenta due segliettature uguali sopra e sotto l'asse di simmetria della portante, ciascuna delle quali essendo paragonabile ad un angolo di media frequenza modulato come la portante originale. Per poter amplificare uno qualsiasi di questi segnali FI occorre eliminare l'altro

e filtrare gli impulsi a radio frequenza che non interessano. Ciò si ottiene procedendo analogamente a quanto spiegato per liberare un segnale di modulazione dall'involuppo RF che lo contiene. È necessario quindi un disposi-

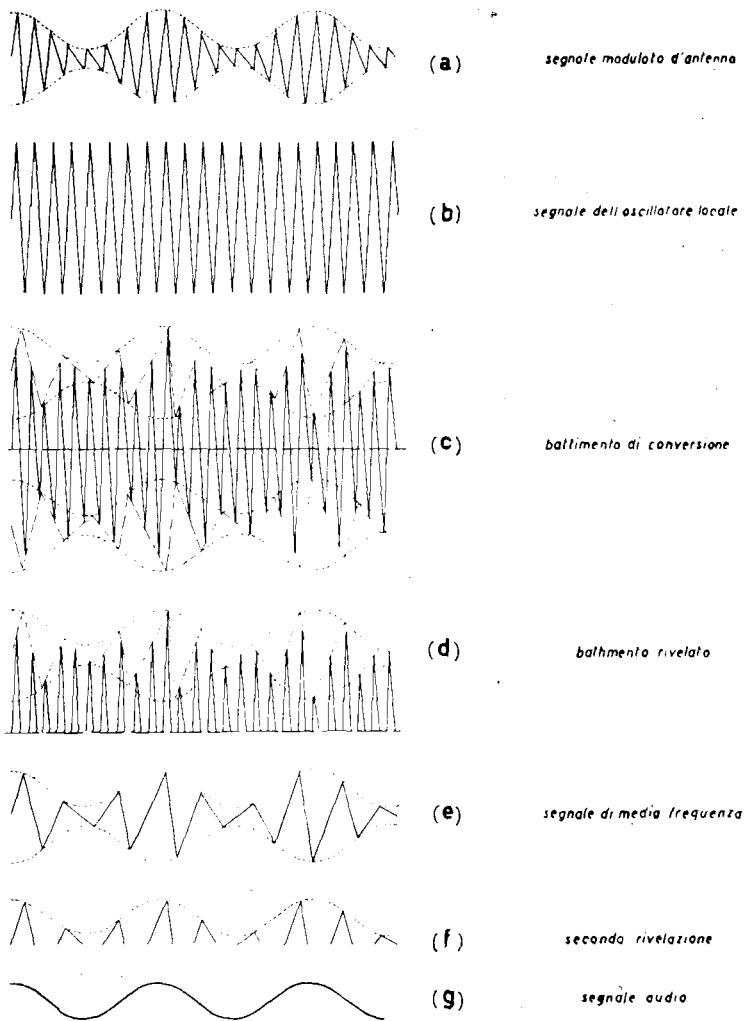


Fig. 48. - Fasi di trasformazione del segnale radio nel ricevitore supereterodina.

tivo rivelatore che modifichi il segnale di battimento dalla forma indicata in (c) a quella indicata in (d) e, successivamente, un circuito filtro che permetta di arrivare alla forma pura della media frequenza visibile in (e).

L'operazione di rivelazione del battimento di conversione, come è stato detto, è svolta dalla stessa valvola mescolatrice. L'azione di filtraggio è effettuata invece da due circuiti oscillanti molto selettivi, accordati sul valore della media frequenza e costituenti un trasformatore d'accoppiamento posto tra la valvola anzidetta e l'amplificatore FI. All'uscita di quest'ultimo un trasformatore analogo trasferisce il segnale al secondo rivelatore, il quale provvede finalmente a liberare la parte audio da ogni traccia di alta frequenza e a convogliarla agli organi di bassa frequenza (BF) del ricevitore.

A conclusione di quanto brevemente esposto, diamo in fig. 49 una rappresentazione schematica dell'apparecchio

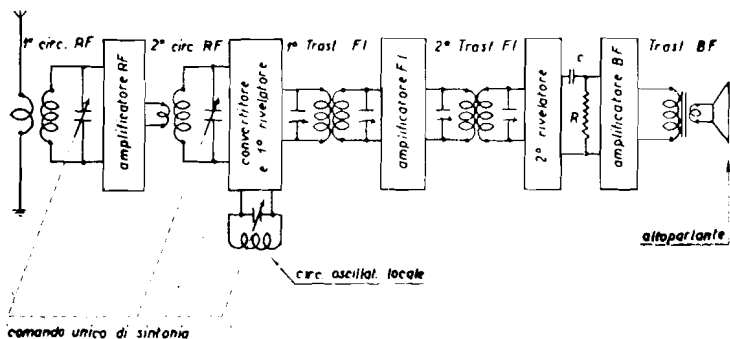


Fig. 49. - Rappresentazione schematica di un ricevitore supereterodina.

radioricevente di tipo supereterodina, il quale da tempo si è imposto su quello ad amplificazione diretta per i suoi maggiori pregi di sensibilità e selettività. Essa varrà a fissare fin da ora l'attenzione del lettore sulla successione delle varie parti componenti e sul modo con cui queste parti sono legate le une alle altre.

Gli stadi, come si vede, sono cinque, costituiti da altrettanti tubi elettronici e dai circuiti di alimentazione ad essi relativi.

L'antenna è accoppiata al circuito oscillante d'ingresso, il quale effettua una prima selezione del segnale desiderato e fornisce una piccola tensione RF all'amplificatore seguente.

L'uscita di questo stadio arriva al secondo circuito oscillante che migliora la separazione del segnale da residui d'interferenze e lo invia al convertitore; qui la frequenza fondamentale dell'onda viene cambiata dal valore primitivo a quello della media frequenza.

Attraverso l'azione filtrante e fortemente selettiva del primo trasformatore accordato, il segnale modificato perviene all'amplificatore FI che ne aumenta notevolmente l'ampiezza e lo manda al secondo rivelatore tramite l'altro trasformatore accordato.

A questo punto si potrebbe disporre di un segnale BF, che, a rigore, sarebbe già utilizzabile mediante una buona cuffia telefonica. Nel caso più comune, però, l'ascolto è effettuato in altoparlante, e quest'organo richiede una certa dose di potenza elettrica per ben funzionare. Sorge quindi la necessità di far seguire il secondo rivelatore da un amplificatore BF il quale sia in grado di aumentare fortemente il livello delle correnti a frequenza acustica.

L'accoppiamento fra i due ultimi stadi del ricevitore è fatto attraverso un gruppo R-C, e quello tra l'amplificatore finale e l'altoparlante mediante un trasformatore a nucleo di ferro dimensionato per una potenza di alcuni watt.

I ricevitori supereterodina più economici non hanno lo stadio di amplificazione RF, essendo così in essi ridotto a quattro il numero delle valvole utili. Ciò diminuisce alquanto la sensibilità e la selettività disponibili, ma, nella maggior parte dei casi, il grado raggiunto da queste due caratteristiche in tali apparecchi è ritenuto sufficientemente alto per il genere delle stazioni ascoltate di preferenza.

CAPITOLO V.

TUBI ELETTRONICI

58 Generalità.

Attualmente tutti i sistemi in uso per trasmettere o ricevere segnali radio si basano sull'impiego dei tubi elettronici. Un tubo elettronico infatti serve per generare o amplificare correnti di qualsiasi frequenza, per rivelare correnti debolissime che si inducono nell'antenna per opera delle radio onde, per trasformare la corrente alternata della rete in corrente continua e per innumerevoli altre funzioni che non potrebbero essere ottenute agevolmente senza di esso.

La tecnica dei circuiti radio non sarebbe progredita tanto rapidamente dalle prime esperienze di Guglielmo Marconi ai nostri giorni se non fosse stato scoperto il tubo elettronico, il quale ha subito mostrato una facilità e una versatilità d'impiego veramente sorprendenti. In pochissimo tempo esso si è sviluppato e modificato, e si è imposto adattandosi sempre più alle crescenti esigenze dei tecnici e degli sperimentatori.

Nelle sue linee essenziali il tubo elettronico è costituito da un bulbo di vetro a forma di pera o cilindrica contenente un sottile filo metallico detto *filamento* o *catodo*, da uno o più elettrodi spiralizzati detti *griglie*, ed infine da una piastrina metallica chiamata *placca* o *anodo*, la quale circonda gli altri elementi che sono disposti in modo concentrico. Nel tubo è praticato un alto grado di vuoto o, in qualche caso, è immesso del gas a bassissima pressione.

Il tubo può anche non avere alcuna griglia, ed allora è detto *diode*: storicamente il diode fu la prima forma di apparizione della valvola termoionica. Da essa, successi-

vamente, derivarono il *triode* che ha una griglia, il *tetrodo* che ne ha due, il *pentodo* che ne ha tre, e via di seguito fino all'*ottodo* che ha ben sei griglie.

Tutti gli organi che compongono un tubo elettronico sono collegati a dei conduttori che escono dal bulbo di vetro e vengono saldati in appositi piedini raccolti in una base o zoccolo comune isolante. Il filamento, a differenza degli altri elettrodi, esce con due fili che servono a far passare in esso una corrente elettrica, come si vedrà in seguito.

Il funzionameto di un tubo a vuoto è sempre prevedibile mediante calcoli più o meno semplici, purché si disponga di dati indispensabili relativi al suo impiego, dati che sono forniti dal costruttore assieme alla disposizione dei piedini corrispondenti a vari elettrodi riportati sullo zoccolo.

59 Emissione termoelettrica.

La differenza sostanziale che esiste fra il tubo elettronico ed altri dispositivi elettrici circuitali sta nel fatto che la corrente elettrica non scorre attraverso un conduttore ma bensì attraverso il vuoto.

Se un certo numero di elettroni liberi, cioè non attaccati agli atomi, vengono introdotti in qualche modo in uno spazio vuoto, essi sono attratti o respinti rispettivamente da oggetti aventi carica positiva o negativa. Il movimento di questi elettroni è ciò che si chiama *corrente nel vuoto*.

Il modo più pratico d'introdurre un numero sufficientemente grande di elettroni in uno spazio vuoto è quello dell'*emissione termoelettrica*.

Se si mette un filamento sottile di un adatto metallo in un bulbo di vetro ove sia stato praticato il vuoto e lo si riscalda portandolo all'incandescenza, il moto degli elettroni nel filo aumenta fortemente fino a che alcuni di essi, avendo acquisito sufficiente energia, vincono le forze che li trattengono al metallo e si distaccano vagando nello spazio circostante. Si dice che tali elettroni sono *emessi* dal filamento ed il loro numero è tanto maggiore quanto maggiore è la temperatura del filamento stesso.

Se il filamento è il solo elettrodo contenuto dal bulbo, gli elettroni emessi si raccolgono attorno ad esso formando

a breve distanza una *nuvola* che a poco a poco, per la sua carica negativa, ostacola il distaccarsi di altri elettroni.

Adesso si supponga che un secondo elettrodo — la *placca* — sia presente all'interno del bulbo e non abbia alcun contatto con il primo. Dando a questa placca una carica positiva rispetto al filamento, cioè collegandola esternamente con il polo positivo di una batteria, il cui negativo sia connesso ad un punto del filamento, gli elettroni liberi vengono attratti da essa e tendono a circolare attraverso la batteria per ritornare sul filamento. A questo punto il fenomeno dell'emissione ha prodotto altri elettroni liberi i quali subiscono la stessa sorte dei precedenti: una corrente elettrica si stabilisce quindi permanentemente tra il tubo e la batteria. Il senso della corrente, intesa come movimento di elettroni, è tra il filamento e la placca nell'interno del tubo e tra la placca ed il filamento all'esterno di esso.

Essendo gli elettroni corpuscoli di elettricità negativa, essi vengono attratti dalla placca soltanto se questa ha un potenziale positivo. Un potenziale negativo sulla placca non produce perciò alcuna corrente nel tubo a vuoto.

Da quanto è stato detto si può stabilire che il tubo a due elettrodi o diodo è paragonabile ad un conduttore unidirezionale, tale particolarità — o effetto valvolare — essendo dovuta al fatto che dei due elettrodi uno solo è in grado di emettere elettroni. Da ciò il nome corrente di *valvola* attribuito al tubo.

60 Vari tipi di catodi.

Si è detto che per produrre l'emissione elettronica in una valvola occorre portare il catodo di essa a temperatura piuttosto elevata. Il metodo più soddisfacente e pratico per effettuare tale riscaldamento è quello di far passare nel filo che costituisce il catodo una corrente elettrica ricavata da una sorgente esterna.

Perché un catodo sia efficiente occorre che esso emetta una grande quantità di elettroni con il minimo dispendio di energia termica. I metalli più comunemente impiegati a questo scopo sono il tungsteno, il molibdeno, il platino ed il torio. Molto adoperato è anche il tungsteno toriato, ossia un tungsteno ottenuto con una piccola percentuale di torio.

Si possono avere forti emissioni elettroniche a temperature relativamente basse usando catodi speciali rivestiti di ossido di bario o di stronzio. Tali catodi sono però consigliati solo nel caso di piccola potenza, come per le valvole di ricezione.

Non è essenziale in un tubo che la corrente riscaldante passi obbligatoriamente per l'elettrodo destinato all'emissione. I catodi ad ossido, che richiedono una moderata temperatura di funzionamento, possono venire riscaldati indirettamente. Si hanno perciò due tipi di catodo. Il primo, detto a *riscaldamento diretto*, è ottenuto depositando uno strato di ossidi su un sottile filo di platino o nichel che funziona così da supporto e da conduttore della corrente di accensione. Nel secondo, detto a *riscaldamento indiretto*, lo strato di ossidi è depositato su un cilindretto di nichel disposto su un tubicino di materiale refrattario nel cui interno è collocato il filamento riscaldatore.

I catodi a riscaldamento indiretto hanno, rispetto agli altri, il notevole vantaggio di disporre di una maggiore superficie e massa riscaldata e di conseguenza possiedono una maggiore capacità termica. Ciò permette allo strato di os-

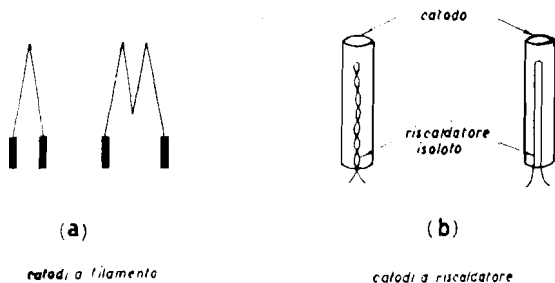


Fig. 50. - Forme costruttive di catodi: (a) a riscaldamento diretto; (b) a riscaldamento indiretto.

sidi di mantenere una temperatura pressoché costante anche se la corrente impiegata per l'accensione è quella alternata dalla rete. Infatti i tubi a riscaldamento diretto vengono alimentati esclusivamente con corrente continua, appunto per evitare il pulsare dell'emissione elettronica che si verificherebbe se la corrente del filamento fosse alternata (fig. 50).

61 Corrente di placca.

La quantità di elettroni attratti dalla placca dipende dalla entità della carica positiva ad essa applicata, cioè dal valore della tensione posta tra la placca ed il filamento. La corrente elettronica, detta in questo caso *corrente di placca* o *corrente anodica*, cresce quindi col crescere della tensione di placca. Tale aumento non è però indefinito. Esiste un certo valore del potenziale anodico oltre il quale la corrente anzidetta non può più aumentare, essendo tutti gli elettroni che il catodo è in grado di emettere attratti dalla placca. A questo punto si dice che la corrente raggiunge il suo valore di *saturazione*.

Si potrebbe portare più in alto il valore di saturazione della corrente anodica aumentando la temperatura del catodo, ma questo provocherebbe, nella maggior parte dei casi, un rapido esaurimento delle proprietà emissive dello stesso, se non addirittura la sua bruciatura.

In fig. 51 viene riportato lo schema di connessione di un diodo con il diagramma della corrente anodica in funzione della tensione di placca. *A* è la batteria di accensione

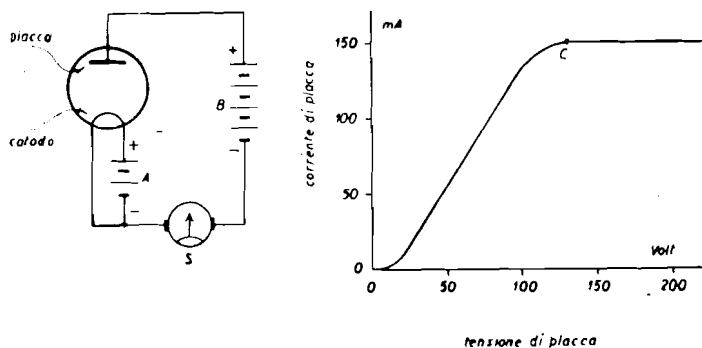


Fig. 51. - Circuito di un diodo e curva caratteristica della corrente di placca.

capace di fornire alcuni volt, e *B* è la batteria di placca. *S* è uno strumento col quale viene misurata la corrente elettronica. Nel punto *C* della curva ha luogo la saturazione. Naturalmente i valori di corrente e tensione indicati variano a seconda del tipo di diodo. L'andamento generico della curva è però uniforme per tutti i diodi.

Il prodotto della tensione di placca per la corrente di placca, preso in un punto della curva, rappresenta la *potenza d'ingresso* applicata al tubo: questa energia viene trasformata in calore che riscalda la placca. Se la potenza d'ingresso è troppo grande, la temperatura può elevarsi fortemente producendo l'arrossamento della placca stessa, fatto assolutamente da evitarsi perché danneggia rapidamente la valvola. Il calore sviluppato sulla placca viene irradiato al bulbo e da questo all'aria circostante.

62 Uso dei diodi per la rettificazione della corrente alternata.

Dal momento che la corrente può scorrere attraverso un tubo elettronico soltanto in un senso, un diodo può venire adoperato per convertire la corrente alternata in corrente continua. Infatti, applicando una tensione sinusoidale ad un diodo fra placca e filamento si verifica che ogni qualvolta la placca diventa positiva rispetto al catodo, il diodo è conduttore e si lascia attraversare da un impulso di corrente. Nei semicicli negativi della tensione il diodo rimane isolante e la corrente si interrompe.

La fig. 52 mostra un esempio d'inserzione del diodo in un circuito a c. a. La corrente che attraversa la valvola,

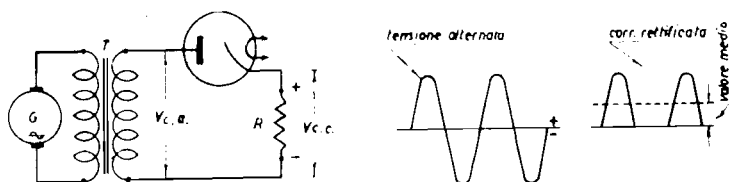


Fig. 52. - Diodo rettificatore e diagramma della corrente rettificata.

chiamata *corrente rettificata*, ha la forma indicata nel diagramma e può essere considerata come una corrente unidirezionale a carattere intermittente o pulsante.

Il resistore R , detto *resistore di carica*, rappresenta l'effettivo circuito di utilizzazione di tale corrente rettificata.

Se il diodo è connesso nel modo indicato, il segno della caduta di tensione sul carico è positivo sull'estremo di R che nella figura è collegato al catodo della valvola. Inver-

tendo la posizione del diodo, cioè connettendolo in modo che il suo catodo risulti attaccato direttamente ad un capo del secondario del trasformatore e la sua placca arrivi invece all'altro capo attraverso R, anche la polarità della tensione c. c. sullo stesso punto considerato s'inverte, divenendo negativa. In ogni caso sarà però verificato che l'estremo di R più vicino elettricamente al catodo è sempre positivo e quello più vicino alla placca è sempre negativo.

Al posto di un solo diodo se ne possono usare due ed ottenere così la rettificazione sia degli impulsi positivi che di quelli negativi della corrente alternata. In tal caso il montaggio può essere effettuato nel modo indicato in fig. 53.

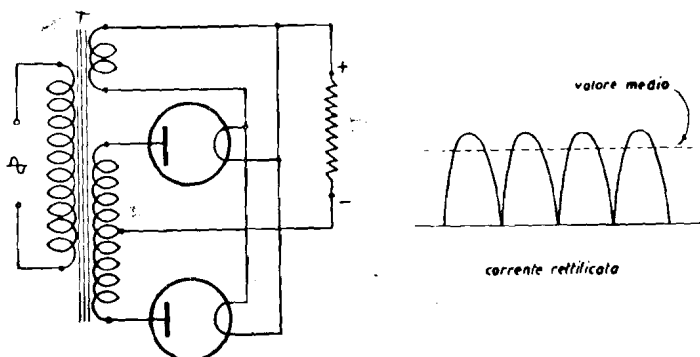


Fig. 53. - Circuito rettificatore a doppia onda con diodi a riscaldamento diretto.

I due diodi hanno i catodi collegati assieme e le placche connesse ai due estremi di un avvolgimento di trasformatore provvisto di presa centrale. Fra la presa centrale ed un punto comune ai due catodi è posto il resistore di carico.

Come è facile comprendere, i due diodi lavorano alternativamente in conseguenza dell'opposizione della tensione sulle due placche. Gli impulsi di corrente da loro prodotti nei rispettivi semiperiodi di conduzione si sommano all'uscita dando luogo ad una corrente rettificata avente un valore medio molto più alto di quello ottenibile da un solo diodo.

Il trasformatore T, detto *trasformatore di alimentazione*, ha due secondari, di cui uno a bassa tensione per l'accensione dei diodi e l'altro ad alta tensione per le

placche dei medesimi. La tensione c. a. tra placca e placca ha un valore presso a poco doppio di quello della tensione c. c. che si genera sul carico. Infatti, qualsiasi istante venga considerato, metà soltanto della totale tensione fornita dal trasformatore è attiva ai fini della rettificazione.

Nelle applicazioni di piccola potenza si usano più frequentemente tubi speciali in cui due unità diodiche sono montate nello stesso bulbo. Un catodo comune serve per entrambi. Questi tubi vengono chiamati *doppi diodi rettificatori*.

La rettificazione eseguita con un solo diodo è detta a *mezza onda*, quella con due diodi a *onda piena*. La prima è poco adoperata, trovando applicazioni solo nei rettificatori che debbono fornire elevate tensioni d'uscita con debolissime correnti di carico.

La forma alquanto grossolana di corrente unidirezionale ricavata dai circuiti descritti non è però adatta all'alimentazione anodica dei tubi elettronici destinati ai normali usi di ricezione o trasmissione. In tale impiego la corrente rettificata non è tollerabile (l'aspetto oscillografico di una simile corrente rettificata presenta notevoli componenti alternate): essa è tuttavia facilmente riducibile mediante capacità ed induttanze opportunamente inserite nei circuiti.

Se in parallelo al carico di un rettificatore si mette un condensatore di grande capacità, cioè tale da presentare una bassa reattanza alla frequenza degli impulsi di rettificazione e nei confronti della resistenza di carico, si nota un aumento della tensione c. c. di uscita. Ciò è spiegato dalle seguenti considerazioni: quando il diodo conduce, il condensatore assorbe energia dalla sorgente c. a. e si carica al valore di picco della tensione applicata alla placca (massima ampiezza degli impulsi). Negli intervalli di non conduzione il condensatore cede al circuito di carico parte dell'energia accumulata, permettendo così che il valore medio della tensione d'uscita salga ad un livello più elevato. Il valore massimo a cui questa può giungere non può logicamente superare il valore di picco della tensione alternata d'ingresso, ed arriva anzi a questo limite solo se il condensatore è infinitamente grande o se la corrente erogata è infinitamente piccola.

Un condensatore che abbia la funzione accennata si chiama *condensatore di filtro o di livellamento*. Spesso l'azione del condensatore è migliorata dalla presenza nel circuito, e precisamente in serie al carico, di una induttanza a nucleo di ferro. L'insieme capacità-induttanza, avendo lo scopo di eliminare dall'uscita del rettificatore la componente non voluta di bassa frequenza, viene detto *filtro*. L'induttore ostacola le variazioni d'intensità della corrente intorno al valore medio e quindi concorre a mantenere costante l'uscita.

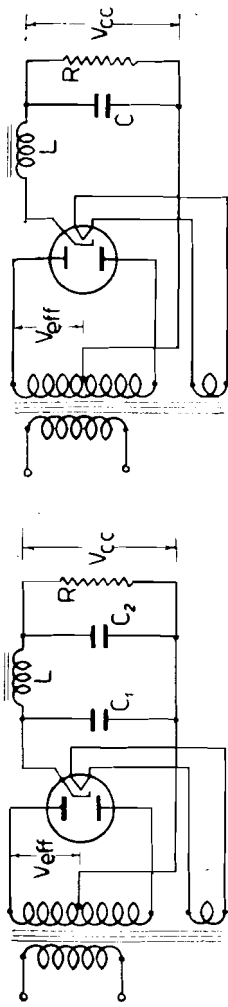
Due esempi più comuni di applicazione dei filtri di livellamento sono quelli riportati in fig. 54. Il primo ha un filtro del tipo detto ad *ingresso capacitivo*, l'altro un filtro del tipo detto ad *ingresso induttivo*.

Nel circuito (a) il condensatore C_1 si comporta nel modo spiegato, mentre C_2 ha solo il compito di ridurre ulteriormente la componente alternata ancora esistente all'uscita dell'induttanza.

Il circuito (b) ha un funzionamento alquanto diverso. In esso l'attenuazione della componente alternata (detta anche *ondulazione*) è affidata sia all'induttanza che al condensatore, senza che la capacità di quest'ultimo intervenga a far variare il valore medio della tensione d'uscita.

Il filtro ad ingresso induttivo dà una resa di tensione c. c. quasi costante, cioè pressoché indipendente dal valore della corrente di carico (nei limiti della possibilità della valvola, naturalmente). Il valore della tensione stessa dipende dalle cadute di potenziale attraverso il trasformatore, la valvola e l'induttanza di filtro. A corrente zero, cioè in assenza di carico, la tensione c. c. sale ad un massimo corrispondente a 0,9 volte il valore efficace della tensione alternata per placca ($V_{eff.}$).

Il filtro ad ingresso capacitivo è meno costante nella resa perché la tensione d'uscita, come abbiamo visto, dipende, oltre che dalle varie cadute nel circuito, anche dal valore di C_1 . A corrente zero la massima tensione c. c. è 1,4 volte il valore efficace della tensione alternata per placca. Man mano che la corrente cresce, la tensione c. c. diminuisce in modo tanto più rapido quanto più piccola è la capacità di C_1 e quanto maggiori sono le resistenze di caduta del circuito. Nonostante tali caratteristiche, questo



(a) (b)
 Fig. 54. - Circuiti rettificatori formii di filtro di livellamento: (a) ad ingresso capacitivo; (b) ad ingresso induttivo.

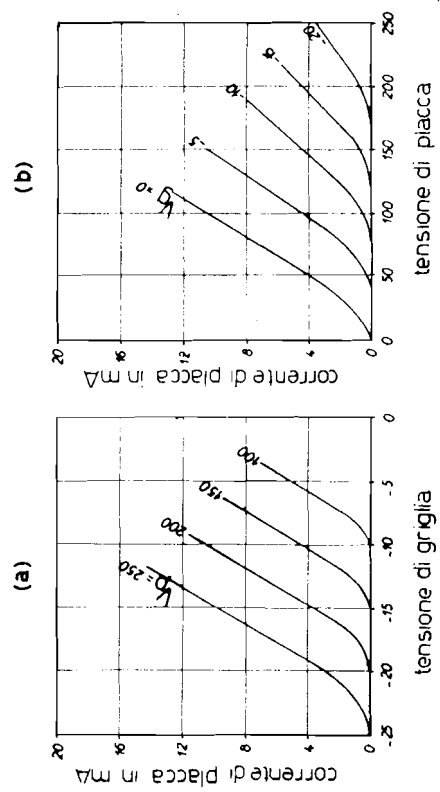


Fig. 55. - (a) Curve per caratteristica mutua; (a) curve per caratteristica di piastra.

tipo di filtro è molto adoperato nelle piccole apparecchiature perché più conveniente dal punto di vista economico.

63 Tubi a tre elettrodi o triodi.

Dalla figura 51 si può osservare che, nell'ambito del campo di lavoro del tubo, la corrente di placca aumenta con la tensione. Il fatto che soltanto una parte degli elettroni emessi dal catodo raggiunge la placca, quando a questa viene applicata una piccola tensione positiva, è dovuto alla carica (spaziale negativa) formata dalla nuvola elettronica di cui si è già parlato. Tale carica contrasta l'effetto della tensione positiva sulla placca limitandone l'azione. Aumentando la tensione di placca diminuisce l'effetto contrastante della carica spaziale.

Se si introduce nel tubo, fra la placca ed il catodo, un terzo elettrodo chiamato *griglia di controllo* o semplicemente *griglia*, si può facilmente regolare l'azione della carica spaziale. Infatti, dando a questa griglia una piccola carica positiva o negativa rispetto al catodo, la corrente elettronica varia rispettivamente in più od in meno come se si variasse nello stesso senso la tensione di placca.

La differenza sostanziale nei due casi sta nel fatto che le variazioni di potenziale da effettuare sulla griglia per ottenere determinate variazioni di corrente anodica sono molto minori delle corrispondenti variazioni di potenziale di placca.

La griglia è inserita nel tubo al solo scopo di controllare la carica spaziale e non perché essa stessa attragga gli elettroni; per questo motivo la griglia è costituita a forma di spirale o a retino in modo che gli elettroni possano attraversarla facilmente per arrivare alla placca.

Come è stato spiegato per il circuito di placca, anche il circuito della griglia deve essere *ritornato*, cioè collegato al catodo. Ciò significa che se si vuol dare un potenziale alla griglia mediante, per esempio, una batteria di pile, occorrerà collegare i due capi di tale batteria uno alla griglia e l'altro al catodo. Se il polo negativo della batteria è sulla griglia, si dirà che ad essa è stato dato un potenziale negativo; se lo stesso polo è sul catodo, si dirà che alla griglia è stato dato un potenziale positivo.

Nel caso che alcun potenziale debba essere dato alla griglia, non si terrà la stessa isolata ma la si collegherà sempre in qualche modo al catodo. Come si vedrà in seguito, in griglia è sempre posto un circuito chiamato *circuito d'ingresso* che mantiene la continuità elettrica tra la griglia ed il catodo.

Invece di apportare variazioni statiche al potenziale della griglia, si può applicare ad essa una debole tensione alternata — diciamo un « segnale » — ed utilizzare mediante un carico le corrispondenti variazioni ritmiche che vengono prodotte nella corrente della placca. All'uopo si inserirà nel circuito di placca un resistore di valore opportuno.

In assenza del segnale il triodo ha una corrente anodica media costante che produce una caduta costante nel resistore di carico. La differenza tra il totale potenziale della batteria anodica e la caduta in questione rappresenta l'effettiva tensione agente sulla placca. Applicando il segnale alla griglia, la corrente di placca varia in perfetto accordo con esso e quindi ai capi del resistore si forma una differenza di potenziale variabile avente la medesima forma del segnale di griglia.

Generalmente il potenziale variabile raccolto sul resistore di carico è sempre maggiore, in ampiezza, del potenziale variabile di griglia. Si dice allora che il triodo *amplifica* il segnale applicato alla sua griglia.

L'amplificazione di una valvola può essere di tensione o di potenza. Nel primo caso la corrente di placca compie piccole escursioni intorno ad un valore medio pure piccolo, ed il carico è di valore ohmico piuttosto elevato. Nel secondo, sia le escursioni che il valore medio della corrente di placca sono elevati, mentre il carico è generalmente di valore ohmico relativamente basso.

A proposito di carico, dobbiamo dire che tutte le valvole hanno nel loro circuito d'impiego una resistenza o un'impedenza di carico; sotto questo riguardo una valvola può essere paragonata ad un generatore o trasformatore. Un circuito che non presenti un carico per la valvola in esso contenuta è come un trasformatore al cui secondario sia effettuato un cortocircuito: non se ne ricava alcuno scopo utile e l'unico risultato è quello di riscaldare il tra-

sformatore. Lo stesso si può dire per le valvole le quali hanno il compito di sviluppare tensione e dare energia sopra un carico.

La potenza amplificata o la tensione *d'uscita* di una valvola non proviene dalla valvola in se stessa ma bensì dalla sorgente c. c. che alimenta la placca. La valvola non fa che controllare la potenza prelevata da questa sorgente dandole la forma derivante dal segnale agente sulla griglia.

64 Curve caratteristiche di un triodo.

Per ogni particolare valvola l'effetto prodotto dalle variazioni della tensione di griglia sulla corrente anodica può essere mostrato da un insieme di *curve caratteristiche*. Lo stesso può dirsi per l'effetto della tensione di placca.

Ciascuna delle curve tracciate facendo variare il potenziale di griglia è ottenuta per un determinato valore assegnato al potenziale di placca: queste curve sono chiamate *curve per caratteristica mutua*. Ciascuna delle curve tracciate facendo variare il potenziale di placca è ottenuta per un determinato valore assegnato al potenziale di griglia: queste altre curve sono chiamate *curve per caratteristica di placca*.

La fig. 55 mostra un esempio delle due specie di curve relative ad una valvola, unitamente al circuito sperimentale per ricavarle. Come è facile notare, per ogni valore della tensione di placca c'è un valore della tensione di griglia che riduce a zero la corrente anodica. Questo valore per la griglia è detto *valore d'interdizione*.

Le curve per caratteristica mutua possono essere estese invertendo la polarità della batteria di griglia e ripetendo le misure per valori positivi dati al potenziale di griglia. Il risultato pratico è quello di allungare ciascuna curva dal lato superiore. Però nella maggior parte delle applicazioni la griglia è tenuta negativa rispetto al catodo.

Quando la griglia è positiva essa attrae elettroni e quindi nasce una corrente nel suo circuito, similmente a quanto avviene nella placca.

Tutte le volte che si forma corrente attraverso la griglia c'è dispersione di energia nel circuito di griglia; siccome tale energia è prelevata dal segnale applicato, questo

fatto è generalmente da evitarsi. Finché la griglia rimane negativa nessuna energia è sottratta al segnale che si vuole amplificare.

Sotto l'azione del segnale applicato, il potenziale di griglia di una valvola assume tutti i valori compresi tra lo zero e il picco del segnale, sia in senso positivo che in senso negativo. Per far sì che la griglia rimanga sempre negativa, occorrerà collocare nel suo circuito, in serie al segnale, una batteria che la polarizzi (negativamente) ad un valore uguale o superiore alla tensione di picco del segnale. Durante il semiciclo positivo di questo, infatti, la tensione risultante sulla griglia verrà ad essere la differenza tra il negativo fisso e il detto picco (due tensioni opposte in serie si sottraggono). Prevalendo il primo, la griglia è protetta dalla formazione di corrente propria.

65 Parametri di un tubo elettronico.

La costruzione particolare di un triodo determina la relativa efficacia che la griglia e la placca hanno nel controllare la corrente anodica. Se una piccolissima variazione della tensione di griglia produce lo stesso effetto sulla corrente anodica di una forte variazione della corrente di placca, si dice che il tubo ha un elevato *fattore di amplificazione* (simbolo μ). Prendendo, ad esempio, un tubo il cui fattore di amplificazione sia 20, si verifica questo: se si fa variare la tensione di griglia di 1 volt, la corrente della placca varia come se la tensione di placca venisse fatta variare di 20 volt. I triodi generalmente hanno fattori di amplificazione che vanno dal valore minimo di circa 3 al valore massimo di circa 100.

Viene naturale di pensare che un tubo con elevato coefficiente di amplificazione sia più adatto ad amplificare; ma non sempre è necessariamente così. Se il μ è alto vuol dire che costruttivamente la griglia si trova vicina al catodo mentre la placca, al contrario, ne è lontana. Sono necessarie, quindi, forti variazioni di potenziale di placca per ottenere determinate variazioni di corrente anodica. Ciò significa che la *resistenza interna* (simbolo R_i) della valvola, cioè la resistenza del tratto catodo-placca, è elevata. Dato che questa resistenza agisce in serie al carico,

il valore della corrente che può scorrere nel carico è relativamente piccolo. D'altra parte, una valvola a basso μ ha una resistenza interna relativamente bassa. In sostanza, la questione se una valvola a μ elevato sia più idonea ad amplificare di un'altra a μ basso dipende principalmente dal tipo di prestazione che si desidera dalla valvola stessa.

Il miglior elemento indicativo nell'efficacia di una valvola a funzionare come amplificatrice è la sua *conduttanza mutua* (simbolo G_m). Questa caratteristica tiene conto sia del fattore di amplificazione sia della resistenza interna. In effetti, la conduttanza mutua è il rapporto tra la variazione della *corrente* di placca e la variazione della *tensione* di griglia che l'ha provocata, fermo restando il valore della tensione di placca. Dato che una corrente divisa per una tensione equivale ad una conduttanza (reciproco di resistenza), la conduttanza mutua di una valvola viene misurata con una unità che ha per nome l'inverso della parola ohm, cioè *mho*. In pratica i valori di conduttanza mutua (detta anche *trasconduttanza*) sono piuttosto piccoli, per cui si è convenuto di adottare un sottomultiplo di questa unità, ossia il *micromho* che è un milionesimo di mho.

I normali tubi amplificatori hanno conduttanze mutue comprese tra alcune centinaia ed alcune migliaia di micromho. Più alta è la trasconduttanza, maggiore è l'amplificazione resa da una valvola.

Per μ ed R_i si hanno le seguenti definizioni: *il coefficiente di amplificazione è il rapporto tra la variazione del potenziale anodico e la variazione del potenziale di griglia che producono uguale variazione della corrente anodica.*

La resistenza interna è il rapporto tra la variazione del potenziale anodico e la variazione della corrente anodica che vi corrisponde, fermo restando il potenziale di griglia.

I tre parametri di una valvola vanno ricavati da un complesso o *famiglia* di curve per caratteristica mutua, riferendosi ai tratti più rettilinei di dette curve. Le unità elettriche per esprimere i rapporti d'uso corrente sono quelle convenzionali, cioè il volt, l'ohm e l'ampere. Solo nel caso della conduttanza mutua, usandosi il micromho, è necessario esprimere la corrente in microampere.

Qualche casa costruttrice europea chiama la conduttanza mutua *pendenza* (simbolo S) e la esprime in mA/volt. Usando questa unità è ovvio che nel rapporto la variazione di corrente dovrà essere espressa in milliampere.

Si applichi quanto ora è stato detto alle curve (a) di fig. 54. Scegliendo una tensione di placca di 200 volt ed osservando la variazione di corrente di placca tra i valori di griglia — 10 e — 15 volt, si ha:

$$G_m = \frac{10000 - 4000}{10 - 5} = \frac{6000 \mu A}{5 \text{ volt}} = 1200 \text{ micromho.}$$

Mantenendo fissa la tensione di griglia al valore di — 10 volt ed osservando la variazione di corrente di placca in corrispondenza dei potenziali anodici 150 e 200 volt, si ha:

$$R_i = \frac{200 - 150}{0,01 - 0,004} = \frac{50 \text{ volt}}{0,006 \text{ Amp.}} = 8333 \Omega.$$

Essendo risultato che una variazione di 5 volt del negativo di griglia produce una variazione nella corrente anodica uguale a quella prodotta dalla variazione di 50 volt della tensione anodica, si può dire che:

$$\mu = \frac{50}{5} = 10.$$

66 Amplificazione.

Per comprendere il processo di amplificazione di una valvola è necessario conoscere uno speciale tipo di grafico chiamato *caratteristica dinamica*. Tale grafico è visibile nella fig. 56, insieme al circuito per ottenerlo. La tensione anodica ha un valore prestabilito e nel circuito di placca è inserito un resistore di carico. Ogni curva è tracciata per un diverso valore assegnato al carico.

Come è facile notare, i valori più bassi del carico danno curve più pendenti e viceversa. Quando la resistenza è piccola, la corrente di placca varia piuttosto rapidamente per una data variazione della tensione di griglia. Se però la resistenza del carico è elevata, la variazione nella corrente di placca per la stessa variazione di griglia è rela-

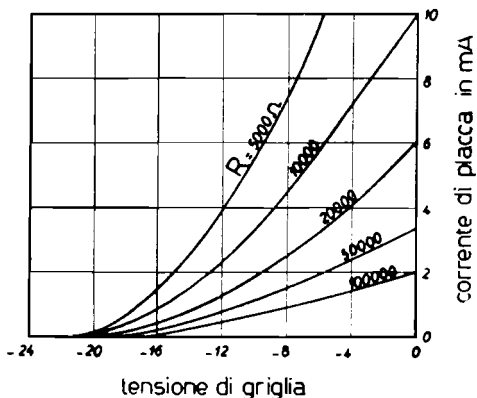


Fig. 56. - Caratteristiche dinamiche di un triodo.

tivamente piccola. Ciò, del resto, è abbastanza comprensibile se si pensa che aumentando R fino all'infinito, cioè interrompendo praticamente il circuito di placca, la corrente anodica si annulla e quindi la griglia non ha più nessun effetto.

Riferiamoci ora alla fig. 57 che mostra uno stesso tipo di curva, ma reca un circuito in cui una sorgente di tensione alternativa è inserita tra la griglia e la batteria di

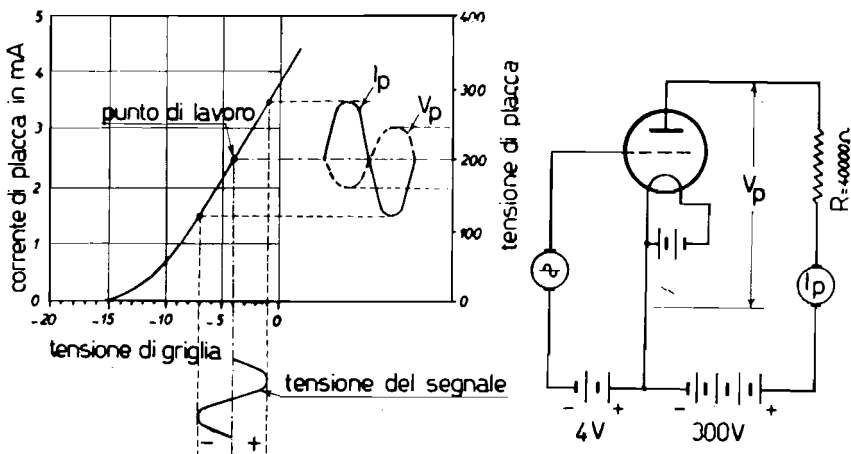


Fig. 57. - Funzionamento di un tubo amplificatore.

polarizzazione. La tensione di polarizzazione è fissata al valore di -4 volt. La corrente anodica, a questo valore della griglia, è di $2,5$ mA. Quando non c'è segnale sulla griglia, la caduta di tensione sul carico è:

$$40000 \times 0,0025 = 100 \text{ volt}$$

restando una tensione di 200 volt tra la placca ed il catodo.

Allorché un segnale sinusoidale avente il valore di picco di 3 volt viene inserito nel circuito di griglia, la tensione istantanea di griglia si porta al valore di -1 volt nel momento di picco positivo del segnale, per passare al valore di -7 volt al momento del picco negativo. La massima corrente di placca si verifica nell'istante in cui la griglia assume il potenziale di -1 volt, la minima corrente di placca quando la stessa griglia assume il potenziale di -7 volt. I valori della corrente sono rispettivamente $3,5$ mA e $1,5$ mA. A valori intermedi del potenziale di griglia corrispondono valori intermedi della corrente di placca.

La tensione istantanea tra la placca ed il catodo della valvola è pure indicata nel grafico. Quando la corrente di placca è massima, la caduta istantanea in R è:

$$40000 \times 0,0535 = 140 \text{ volt}$$

quando la stessa corrente è minima, la caduta istantanea nel carico è:

$$40000 \times 0,0015 = 60 \text{ volt}.$$

La tensione effettiva tra placca e catodo è quindi nei due casi:

$$300 - 140 = 160 \text{ volt} \quad \text{e} \quad 300 - 60 = 240 \text{ volt}.$$

La tensione variabile di placca è in sostanza costituita da una *tensione alternata* sovrapposta al potenziale statico di 200 V che la placca ha rispetto al catodo in assenza del segnale. Il valore di picco di questa tensione c. a. è dato dalla differenza tra la tensione media di 200 V e la tensione massima o minima che la placca raggiunge durante la completa escursione della griglia. Nell'esempio citato tale differenza è $200 - 160$ oppure $240 - 200$, ossia 40 volt nei due casi.

Dal momento che il segnale applicato alla griglia ha il valore picco di 3 volt, l'*amplificazione di tensione* effettuata dal tubo è espressa dal rapporto 40/3 ossia 13,3. Ciò significa che sul resistore di carico della valvola, nelle condizioni di lavoro previste, il segnale di uscita è circa 13 volte maggiore di quello d'entrata.

Un aspetto della componente alternativa della tensione di placca merita speciale rilievo. Osservando la fig. 57 si nota che il semiperiodo positivo del segnale sulla griglia dà origine ad un impulso negativo nella tensione di placca, mentre il semiperiodo negativo del segnale produce un impulso positivo sulla tensione di placca. In altre parole, quando la griglia diventa più positiva per effetto del segnale, la tensione tra placca e catodo diminuisce rispetto al valore medio e viceversa. Questo fatto ci permette di affermare che la componente alternativa della tensione di placca, cioè il segnale amplificato di uscita, è sfasato di 180 gradi rispetto alla tensione del segnale applicato sulla griglia.

67 Polarizzazione.

Oltre a quanto è stato già detto nei riguardi della polarizzazione di griglia, esiste un altro fattore importante da mettere in evidenza.

Quando si predispose il circuito di una valvola amplificatrice, occorre tener presente che il segnale raccolto sulla placca deve essere una esatta riproduzione di quello applicato alla griglia. Ciò significa che la forma d'onda della tensione alternata di placca deve risultare perfettamente simile alla forma d'onda della tensione alternata di griglia.

Per ottenere questo è indispensabile che il punto di lavoro della valvola si trovi in una zona ben *rettilinea* della sua caratteristica dinamica: la curva deve anzi disporre di un tratto rettilineo sia al di qua che al di là del punto di lavoro, almeno per quel tanto che corrisponde alla escursione massima del potenziale.

La tensione negativa fissa di griglia, ossia la polarizzazione, va scelta quindi con due criteri: deve essere maggiore del valore di picco del segnale e deve far lavorare la valvola intorno ad un punto situato in una zona sufficien-