

# I N D I C E

## PREFAZIONE

### CAPITOLO I : Avvolgimenti per collettori a lamelle

I. 1 - Generalità e definizioni	5
I. 2 - Avvolgimenti a tamburo	10
I. 3 - Avvolgimenti a doppio strato	11
I. 4 - Collegamento delle sezioni	13
I. 5 - Avvolgimento embricato semplice (o parallelo semplice)	14
I. 6 - Avvolgimento embricato multiplo (o parallelo multiplo)	21
I. 7 - Avvolgimento ondulato semplice	23
I. 8 - Avvolgimenti ondulati multipli (serie-parallelo)	28
I. 9 - Eseguibilità degli avvolgimenti	30
I.10 - Avvolgimenti progressivi e regressivi	31
I.11 - Disposizionic delle sezioni nelle cave	32
I.12 - Avvolgimenti con sezione esclusa	35
I.13 - Avvolgimenti suddivisi	37
I.14 - Numero, posizione e polarità delle spazzole	40
I.15 - Stella di cave	41
I.16 - Numero dei raggi $Z'$ della stella di cave	45
I.18 - Costruzione della poligonalità delle tensioni	50
I.19 - Collegamenti equipotenziali negli avvolgimenti embricati semplici	61
I.20 - Collegamenti equipotenziali negli avvolgimenti multipli	65
I.21 - Avvolgimenti di Latour	68
I.22 - F.E.M. indotta	74
I.23 - Tensione media fra le lamelle	77
I.24 - F.M.M. d'indotto	78
I.25 - Condizioni di simmetria	80
I.26 - Scelta del tipo di avvolgimento	82
I.27 - Dati d'avvolgimento	82

### CAPITOLO II : Avvolgimenti per corrente alternata

II. 1 - Generalità	87
A - AVVOLGIMENTI TRIFASI EMBRICATI	
II. 2 - Numero ed estensione dei gruppi	90
II. 3 - Progettazione degli avvolgimenti trifasi ad uno strato ( $q = \text{un intero}$ )	95
II. 4 - Avvolgimenti embricati trifasi ad uno strato con bobine disuguali	97
II. 5 - Progettazione degli avvolgimenti embricati trifasi a soppio strato ( $q = \text{un intero}$ )	99

II. 6 - Rappresentazione lineare degli avvolgimenti a doppio strato	102
II. 7 - Forza elettromotrice indotta. Generalità	103
II. 8 - Determinazione della f.e.m. indotta in una fase con l'ausilio della stella di cave	106
II. 9 - Determinazione analitica del fattore di distribuzione $K_{q1}$ per $q =$ = un intero	109
II.10 - F.e.m. per fase negli avvolgimenti a doppio strato a passo accorciato. Fattore di passo $K_x$	111
II.11 - Avvolgimenti embricati trifasi a doppio strato a $q$ intero ed a gruppi disuguali	113
II.12 - Collegamento delle fasi negli avvolgimenti trifasi	115
II.13 - Rami in parallelo per fase	118
<b>B - AVVOLGIMENTI TRIFASI ONDULATI</b>	
II.14 - Avvolgimenti trifasi a sbarre	122
II.15 - Avvolgimenti trifasi ondulati ad uno strato	122
II.16 - Avvolgimenti trifasi ondulati a doppio strato	123
<b>C - AVVOLGIMENTI BIFASI E MONOFASI</b>	
II.17 - Avvolgimenti bifasi ( $m = 2$ ) a cave intere	125
II.18 - Avvolgimenti monofasi ( $m = 1$ )	127
<b>D - AVVOLGIMENTI A GABBIA</b>	
II.19 - Generalità	130
<b>E - AVVOLGIMENTI A CAVE FRAZIONARIE</b>	
II.20 - Generalità	137
II.21 - Progettazione degli avvolgimenti trifasi compatti a cave frazionarie mediante la stella di cave	138
Esempi	139
II.22 - Progettazione degli avvolgimenti trifasi a cave frazionarie secondo l'Autore. Considerazioni preliminari	143
II.23 - Progettazione degli avvolgimenti a cave frazionarie secondo l'Autore. Ordinamento equilibrato dei poli	150
II.24 - Progettazione degli avvolgimenti a cave frazionarie secondo l'Autore. Esempi	154
II.25 - Progettazione degli avvolgimenti a cave frazionarie secondo l'Autore. Tabella degli schemi fino a 20 poli	158
II.26 - Il passo alle fasi $y_m$	164
II.27 - Avvolgimenti con $a = 0$	166
II.28 - F.E.M. negli avvolgimenti con rami in parallelo	166
II.29 - Impiego dei rami in parallelo	168
<b>F - IL PROBLEMA DELLE ARMONICHE</b>	
II.30 - Generalità	169
II.31 - Determinazione del fattore di distribuzione $K_{qh}$	171
Esempi	172
II.32 - Fattore di passo $K_{xh}$	175

II.33 - Il fattore di disuguaglianza $K_{yh}$ (per $q =$ un intero)	177
II.34 - Campi armonici di dentatura	178
II.35 - Le f.c.m. armoniche concatenate negli avvolgimenti polifasi. Il fattore di collegamento $K_{m,h}$	181
II.36 - F.E.M. armoniche negli avvolgimenti bifasi e monofasi	183
II.37 - Avvolgimenti trifasi a doppio strato con $q = 2/3 Q$	184

**G - F.M.M. PRODOTTE DAGLI AVVOLGIMENTI DISTRIBUITI ATTRAVERSATI DA CORRENTI ALTERNATE**

II.38 - Generalità	190
II.39 - Tracciamento dei diagrammi	191
II.40 - Determinazione della posizione dell'asse $x$	194
II.41 - F.M.M. prodotta da una bobina a passo diametrale attraversata da corrente alternata	195
II.42 - F.M.M. prodotta da un gruppo di $q$ bobine a passo diametrale	196
II.43 - F.M.M. di un avvolgimento trifase	198
II.44 - Campo pulsante e campo rotante	200
II.45 - Scomposizione di una f.m.m. pulsante in due rotanti in senso opposto	202
II.46 - Campi ellittici	203
II.47 - F.M.M. degli avvolgimenti bifasi. Caso generale degli avvolgimenti con $m$ fasi	203
II.48 - F.M.M. armoniche negli avvolgimenti polifasi a passo diametrale, a $q =$ intero. Avvolgimenti trifasi	205
II.49 - F.M.M. armoniche negli avvolgimenti monofasi e bifasi	207
II.50 - Influenza del passo accorciato. Espressioni generali dell'ampiezza delle onde di f.m.m.	208
II.51 - F.M.M. prodotte dagli avvolgimenti a cave frazionarie	210
II.52 - F.M.M. e densità lineare di corrente	211
II.53 - Rappresentazione vettoriale delle f.m.m. Diagrammi di Görges	212

**H - AVVOLGIMENTI SPECIALI PER CORRENTE ALTERNATA**

II.54 - Avvolgimenti a c.a. chiusi derivati dagli avvolgimenti a c.c.	216
II.55 - Rapporti fra tensione continua ed alternata	219
II.56 - Avvolgimenti a poli commutabili. Generalità	220
II.57 - Progettazione degli avvolgimenti tipo Dahlander	222
II.58 - Confronto fra i collegamenti esaminati nel paragrafo precedente	225

**CAPITOLO III : Fenomeni di dispersione**

**A - FENOMENI COMUNI ALLE MACCHINE ROTANTI**

III. 1 - Generalità	229
III. 2 - Dispersione nelle cave degli avvolgimenti a passo diametrale	231
III. 3 - Dispersione nelle cave degli avvolgimenti a doppio strato, a passo $y_x$ accorciato. Avvolgimenti trifasi con gruppi di $60^\circ$	239
III. 4 - Dispersione negli avvolgimenti trifasi con gruppi di $12^\circ$ e di $90^\circ$	246
III. 5 - Esempio	248

III. 6 - Dispersione frontale	249
III. 7 - Reattanze principali $X_{p1}$ ed $X_{p2}$	252
III. 8 - Dispersione doppiamente concatenata	255
III. 9 - Dispersione dovuta all'inclinazione delle cave	259
III.10 - Dispersione sulla testa dei denti	261
III.11 - Avvolgimento secondario equivalente. Fattori di trasporto	262
III.12 - Reattanza totale di dispersione per fase $X_{\sigma_1}$ del primario delle macchine sincrone	269
III.13 - Reattanza negli avvolgimenti con rami in parallelo. Espressioni delle f.m.m. e delle resistenze	276
III.14 - Reattanza a rotore estratto $X_{\sigma_{R1}}$	278
III.15 - Reattanza di dispersione nelle macchine asincrone polifasi	281
III.16 - Reattanza totale delle macchine asincrone. Mutua induttanza fra primario e secondario	285
III.17 - La reattanza ideale $X_i$	287
III.18 - Esempio di calcolo della reattanza $X_i$	291
III.19 - Tipi di avvolgimenti	298
III.20 - Richiami sul comportamento dei trasformatori	300
III.21 - Reattanza, impedenza, tensione di corto circuito	304
III.22 - Calcolo delle reattanze	308
<b>CAPITOLO IV : Conduttori, resistenze, perdite</b>	
IV. 1 - Generalità	320
IV. 2 - Il rame	324
IV. 3 - L'alluminio	326
IV. 4 - Confronto fra il rame e l'alluminio	327
IV. 5 - Altri conduttori	328
IV. 6 - Calcolo delle perdite ohmiche $P_{\Omega}$ negli indotti delle macchine rotanti e nei trasformatori	329
IV. 7 - L'addensamento di corrente. Generalità	335
IV. 8 - L'addensamento nei conduttori massicci. Caso generale	339
IV. 9 - Addensamento nei conduttori massicci; influenza nei tratti fuori ferro	343
IV.10 - Avvolgimenti statorici con conduttori massicci	345
IV.11 - Addensamento nei conduttori massicci a sezione circolare. Altezza critica dei conduttori	349
IV.12 - Esempi di calcolo	351
IV.13 - Influenza dell'addensamento sull'induttanza	354
IV.14 - Addensamento di corrente. Avvolgimenti a gabbia	356
IV.15 - Esempio	362
IV.16 - L'insieme barre ed anelli di corto circuito	365
IV.17 - Perdite negli avvolgimenti con conduttori suddivisi. Generalità	369
IV.18 - Perdite addizionali negli avvolgimenti a bobine	372
IV.19 - Perdite negli avvolgimenti a barre composte	377
IV.20 - Calcolo delle perdite nelle barre Roebel. Elementi a sezione piena	382
IV.21 - Calcolo delle perdite nelle barre Roebel. Elementi forati	385

IV.22 - Perdite addizionali negli avvolgimenti d'indotto delle macchine a corrente continua	387
IV.23 - Perdite addizionali negli avvolgimenti dei trasformatori. Spire con un solo conduttore	390
IV.24 - Avvolgimenti a spire multiple	395
IV.25 - Perdite addizionali nel cassone e nelle armature	400
IV.26 - Esempio di calcolo di perdite addizionali	402
IV.27 - Le spazzole	404
IV.28 - Perdite dovute alle spazzole	408

#### CAPITOLO V : Materiali dielettrici

V. 1 - Generalità	410
V. 2 - Richiami sul campo dielettrico	411
V. 3 - Rigidità dielettrica	414
V. 4 - Dielettrici in serie	415
V. 5 - Sollecitazioni nelle configurazioni cilindriche	420
V. 6 - Resistività di massa e perdite dielettriche	422
V. 7 - Altre proprietà dei materiali dielettrici	424
V. 8 - Classificazione	425
V. 9 - Sovratemperature delle macchine e dei trasformatori	428
V.10 - L'aria e gli altri gas	433

#### ISOLANTI LIQUIDI

V.11 - Generalità	434
V.12 - Oli minerali per trasformatori ed apparecchiature	435
V.13 - Askarel	437
V.14 - Altri dielettrici liquidi	438

#### VERNICI

V.15 - Generalità	440
V.16 - Le resine	441
V.17 - Tipi di vernici e loro impiego	443

#### ISOLANTI SOLIDI

V.18 - Carta e derivati	444
V.19 - Fibre tessili	447
V.20 - Legno	447
V.21 - Fibre di vetro	448
V.22 - Amianto	451
V.23 - Prodotti ceramici	451
V.24 - Mica	452
V.25 - Micaniti	453
V.26 - Foglio di mica continua	455
V.27 - Carta aramide Nomex	456
V.28 - Film e fogli sintetici	457

V.29 - Teflon (Politetrafluoroetilene)	460
V.30 - Elastomeri	460
V.31 - Durata degli isolanti	461
<b>CAPITOLO VI : Costruzione degli avvolgimenti</b>	
VI. 1 - Generalità	464
VI. 2 - Conduttori smaltati	465
VI. 3 - Conduttori smaltati in classe B, F, H	467
VI. 4 - Fili e piattine ricoperte	468
VI. 5 - Costruzione degli avvolgimenti delle macchine trifasi	470
VI. 6 - Avvolgimenti di eccitazione delle macchine sincrone	487
VI. 7 - Avvolgimenti delle macchine a induzione	519
VI. 8 - Avvolgimenti delle macchine a c.c. Generalità	536
VI. 9 - Reazione d'indotto	538
VI.10 - Avvolgimenti compensatori	542
VI.11 - Commutazione. Tempi e zona di commutazione	544
VI.12 - Commutazione. Larghezza dell'espansione polare (polo ausiliario)	550
VI.13 - Tensione massima tra le lamelle. Tensione di commutazione	551
VI.14 - F.M.M. del polo ausiliario	554
VI.15 - F.M.M. a carico dei poli principali	557
VI.16 - Dimensionamento degli avvolgimenti di campo principali	560
VI.17 - Metodi di progettazione	563
VI.18 - Costruzione dei commutatori	570
VI.19 - Verifica meccanica	575
<b>CAPITOLO VII : Costruzione degli avvolgimenti dei trasformatori</b>	
VII. 1 - Generalità	579
VII. 2 - Equilibrio delle f.m.m. Flussi dispersi radiali	580
VII. 3 - Forze elettrodinamiche	583
VII. 4 - Forze radiali	586
VII. 5 - Determinazione preliminare di $\sigma$	588
VII. 6 - Forze assiali	591
VII. 7 - Costruzione degli avvolgimenti. Generalità	593
VII. 8 - Avvolgimenti ad elica	594
VII. 9 - Avvolgimenti multistrato	596
VII.10 - Avvolgimenti con bobine a disco	597
VII.11 - Avvolgimenti in filo	600
VII.12 - Avvolgimenti in fogli o lastre, ed in nastri	602
VII.13 - Regolazione	602
VII.14 - Isolamento. Generalità	606
VII.15 - Distribuzione della tensione ad impulso	606
VII.16 - Avvolgimenti a disco a spire intercalate	610
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	617