

電機設計

上 冊

Liwschitz 原著

主 譯

程 福 秀

譯 者

湯肇善 劉宗富

黃齊嵩 耿 毅 曾卓商

龍 門 聯 合 書 局 出 版

電機設計與計算

Liwschitz 原著

主 譯

程 福 秀

譯 者

湯 肇 善 劉 宗 富

黃 齊 嵩 耿 毅 曾 卓 商

龍 門 聯 合 書 局 出 版

譯 者 序

解放之後，政府即號召精簡課程、改進教學，由於國內中文科學書籍的缺乏，大學裏所採用的教本與參考書籍幾全部都是外國文的，同學們不但要學習業務，而且要費許多時間與精力先學外國文，因此降低了學習效率。

爲了減少文字上的困難，提高教學效率，並且爲了配合國家建設的需要及普及科學智識起見，同濟大學電機系全體師生感覺編譯中文科學書籍，實有必要，乃於1950年夏成立電工叢書編譯委員會，從事編譯電工書籍。本書初稿遂於1950年冬及1951年春先由湯肇善、劉宗富、黃齊嵩、耿毅、曾卓商五同志合譯，再經本人進行全部整理，唯以課餘時間有限，1951年十月底始將譯稿送交龍門聯合書局，繼以出版困難，遲至現在方能與讀者見面。

本書內容主要優點：

(1) 在前四章中首先對於各種電機設計的共同問題，例如磁路、漏磁、損失、溫昇等作了綜合的詳細的討論，尤其是對於溫昇問題特別注意，並用實際例題說明計算方法，使讀者更易掌握理論。

(2) 在最後六章中對於各種電機設計的觀點作了深入的分析，而例題亦異常詳盡完整，並供給許多實際設計需要的經驗數值。

(3) 特別電機底設計，例如單樞變流機，各種交流整流式電機以及自激、他激三相勵磁電機等都應有盡有。該種電機之設計亦自可易於循例完成。

至於本書的對象原著者已在其序言中說明，茲不贅述。

本書在校對期間，蒙吳頌麟、王祖佑、胡迪如、雷新陶諸同志協助校正，特致謝意。

最後譯文中疏忽錯誤之處恐所不免，尚希國內電工界同志隨時予以指正爲幸。

程 福 秀 1953年2月24日於上海交通大學

著 者 序

本書爲拙編電機學之最後一卷(第三冊),本書之目的亦和其他兩冊一樣,供給研究者及工程師參考之用。第一冊敘述研究電機理論時所必需之基本原理。第二冊介紹設計時應知之構造及絕緣概念。本書則專講電機設計及計算之要點。

本書前四章詳細討論電機內一般之磁路、漏磁、損失及溫升現象。其中之計算方法皆係引用最新之研究結果及各種著名之科學著作,遇有較難之計算時,則以實例說明之。第五章討論感應電機之圓圖。後六章分別敘述各類電機及變壓器,爲照顧前四章的總論,故此處敘述較短,其內容專門分析設計時計算及估計尺寸之要點,並對實際例題之計算過程加以詳細說明。仿照第一冊分類法,本書講過變壓器後,接着講引用變壓器定律而工作的電機,即感應電機與同步電機,然後再講直流電機、旋轉換流機及交流整流式電機。交流整流式電機的實例計算有:單相電車電動機、三相串激電動機、三相分激電動機、自激三相激磁機及轉子饋電他激三相激磁機。

基於今日知識範圍及電機工程學之進展,編著電機學教本應選下列兩種方式;一爲多冊詳細的著作,對各部門皆作逐一之討論;另一種則較簡短,其內容僅包含必要部份,而對某些部份則引註專家著述與特別論文。爲方便起見,本冊採用後面一種方法。在參考文獻目錄中將最重要的著作及發表文件一併彙集,附於書後以備讀者參考補充之用。

本書承西門子公司: Dr. Ing. e. h. M. Schenkel, Dr. Ing. e. h. C. Trettin, Obering. L. Kropff, Obering. J. Kozisek, Obering. C.

Oertel, Obering. Dr. Th. Kopczynski, Dipl.-Ing. J. Klamt, **Dr.**
Ing. E. Kübler 諸位先生協助, 提供寶貴意見和資料, 至深感謝。

M. Liwschitz.

一九三四年夏于柏林

本書採用符號表

A = 電流負荷。 A_a = 電樞電流負荷。 A_μ = 磁化電流之電流負荷。

A_g = 單樞換流機之直流電流負荷。 A_u = 決定換向電壓的單樞變流機之電流負荷。

A = 振幅。 A = 激磁繞組的磁通勢曲線之基本波振幅。 A_i = 有效電樞縱向磁通勢之振幅。 A_q = 有效電樞橫向磁通勢之振幅。

A = 機械功。

A = 計算交流電阻之因數。

A = 積分常數。

α = 並聯電樞支路之半數。

α = 盤形線捲軸向長度，筒形線捲幅向長度。

α = 距離。 α_{km} = 磁極間之平均距離。 α_p = 極靴間之平均距離。

α = 槽鞘伸出距離。

B = 磁通密度(振幅)。 B_i = 空氣隙中之磁通密度。 B_j = 軛中之磁通密度。 B_z = 齒中之磁通密度。 B_{zf} = 齒根處之磁通密度。 B_{zm} = 齒腰之磁通密度。 B_{zk} = 齒端之磁通密度。 B_k = 極心之磁通密度。 B_q = 槽橫向磁場之磁通密度。 B'_z = 齒視在磁通密度。 B_o = 磁通密度振動之振幅。 B_p = 齒內之脈振振幅。 B_w = 換向區之合成磁通密度。 B_m = 正弦形分佈磁通密度，在半個槽距上之平均值。 B_ν = ν 次諧波之振幅。

B = 計算交流電阻之因數。

B = 積分常數。

B, b = 寬度。 b_i = 有效極寬。 b_p = 極弧。 b_{ps} = 極靴寬度。 b_w = 換向極寬。 b_{wt} = 有效換向極寬。 b_{wz} = 合成換向區之寬度。 b_n = 槽寬。 b_s = 冷却槽寬。 b = 冷却槽內磁力線所佔之等值鐵心寬度。

$b'_s = b_s - b$ = 因冷却槽使鐵心損失之鐵心長度。 b_b = 電刷寬度。 b'_b = 換算到電樞周邊上之電刷寬度。 b_k = 極心寬度。 b_z = 齒寬。 b_{zf} = 齒根處之寬度。 b_{zm} = 齒腰平均寬度。 b_{zk} = 齒端之寬度。 b_k = 絕緣的銀捲端寬。

b = 絕緣鞘出槽之距離。

b = 磁化電流大小之衡度標準。

B_f = 窗寬。

C = 利用因數。

C = 斷面積常數。

C, c = 常數, 積分常數。

C = 負載時計算表面損失之常數。

c_v = 負載時計算表面損失之常數。

c_k = 計算整流子發熱之常數。

c_l, c_q = 計算有效電樞磁通勢之因數。

c = 並聯繞組支路數。

c = 比熱。

D = 電樞直徑, 定子腔直徑。 D_a = 外軛直徑。 D_i = 轉子為電樞之內直徑。 D_k = 整流子直徑。

d = 各單一銀捲端間之空氣距離。

E, e = 電勢。 E_l = 縱向合成磁場之感應電勢。 E_q = 橫向合成磁場之感應電勢。

$E_{q0} = \cos \psi$ 等於 1 時橫向磁場之感應電勢。 E_Δ = 三刷聯接法電勢。

E_ϕ = 六刷聯接法電勢。 E_{ar} = 由於主磁通的旋轉在電樞繞組中產生之電勢。 E_{ei} = 由於變壓作用主磁通在激磁繞組內產生之電勢。

E_{sch} = 每窗柱之感應電勢。 E_r = 每窗柱之歐姆壓降。

E_s = 每窗柱之漏磁壓降。 E_s = 每導條之電勢。 e_s = 電流換向電壓。

e_{su} = 單樞變流機之電流換向電壓。 e_w = 在短路銀捲內由換向極磁場所感應之電勢。

e_i = 在短路銀捲內, 由變壓器作用所

感應之電勢。

e = 自然對數之底。

F = 面積。 F_b = 電刷之承壓面積。

F = 計算附加電阻時顧及有限整流時間之因數。

f = 錄捲斷面積。

f = 頻率。

f_k = 銅填充因數。

f_B = 電勢之波形因數。

f_W, f_H = 反效應因數。

G = 重量。 G_{Fe} = 變壓器之鐵重量。 G_k = 變壓器之銅重量。 G_{Cu} = 銅重量。 G_z = 齒重量。 G_j = 軛重量。 G_a = 電樞繞組之銅重量。 G_e = 激磁繞組之銅重量。 G_w = 換向極繞組之銅重量。

g = 重力加速度。

g = 計算槽電感之因數。

g = 優良度。

g = 鐵損失之衡度標準。

H, h = 磁場強度, 磁壓。 H_k = 極心磁壓。 H_j = 軛磁壓。 H_z = 齒磁壓。 H_{zm} = 齒平均磁壓。

$\vec{H}$ = 磁場強度向量。 $\vec{H}_l = d\vec{l}$ 方向 $\vec{H}$ 之分量。 $\vec{H}_s = l_s$ 方向 $\vec{H}$ 之分量。

H, h = 高度。 h = 導線之高度。 h'_k = 極心高度。 h_n = 槽高。 h_1, h_2, h_3 , $h_{\pm}$ = 槽各部份之高度。 h_{kr} = 導線臨界高度。 h_w = 激磁繞組之繞高。 h_p = 極軛高度。 h_j = 輻向軛高。

H = 變壓器鐵心高度。

h = 散熱係數。 h_k = 整流子散熱係數。 $h_{k油}$ = 向油內之散熱係數。

$h_{k空氣}$ = 向空氣之散熱係數。 h_s = 輻向冷却疊片組向空氣之散熱係數。 h_1 = 錄捲端向空氣之散熱係數。 h_2 = 冷却槽中繞組向空氣之散熱係數。 h_s = 輻射散熱係數。

J, i = 電流。 J_a = 電樞電流。 J_b = 電刷電流。 J_B = 電刷栓桿電流。

J_e = 激磁繞組中之電流。 J_g = 單樞變流機之直流電流。 J_t = 單樞變流機內部總交流電流。 J_k = 短路電流。 J_{kt} = 理想短路電流。 J_n = 額定電流。 J_0 = 無載電流。 J_{0w} = 有效無載電流。 J_w = 換向極電流。 J_l = 標記之導線層電流。 J_u = 下層導體中之電流。 J_μ = 磁化電流。 $J_{\mu k}$ = 調相時之磁化電流。 $J_{\mu s}$ = 由定子供給之磁化電流。 $J_{\mu a}$ = 由電樞供給之磁化電流。 J_1 = 原級繞組中之電流。 J_2 = 副級繞組中之電流。 J_{2k} = 在調相時副級之電流。

$j = \sqrt{-1}$ = 虛單位。

K, k = 因數。 k_c = Carter 因數。 $k_e = \frac{\text{鐵心實長}}{\text{無通風溝之鐵心長度}}$ 。 k_s = 飽

和因數。 $k_z = \frac{\text{空氣隙斷面}}{\text{齒鐵心斷面}}$ 。 k_0 = 計算表面損失之因數。 k_{ws} =

計算齒內渦流損失之因數。 k_{Hj} = 磁滯因數。 k_{Wj} = 渦流因數。

k_{Gw}, k_K = 計算漏磁之校正因數。

K = 交流電阻與直流電阻之比率。 K_∞ = 短路時間無限小時之比率。

$k = K - 1$ = 附加電阻係數。 k_{sp} = 線捲端電阻之附加係數。

k = 整流子之整流片數。

k = 熱導係數。 k_s = 單位熱導係數。 k_g = 鐵片之橫熱導係數。 k_L = 鐵片之縱熱導係數。

L, l = 長度。 L = 連同冷却槽之疊片組總長度。 L_1 = 線捲端總長度。

L_k = 極心長度。 L_p = 極靴長度。 l = 不計冷却槽而帶絕緣層之

疊片組總長。 l' = 單一疊片組長度。 l_i = 有效電樞長度。 l_k =

可用整流子長度。 l_{wt} = 有效換向極長度。 l_i = 導線平均長度。

l_k = 變壓器原副級繞組之平均線圈長度。 l_{Fe} = 變壓器鐵心與軛之總長。 l_n = 計算槽漏磁之有效鐵長。 l_x = 路徑段長。 l_k = 沿

極心之積分路徑。 l_z = 沿齒之積分路徑。 l_j = 沿軛之積分路徑。

l_b = 電刷長度。

L = 電感。 L_1 = 原級電路之電感。 L_2 = 副級電路之電感。 L_{11}, L_{22} =

自感量。 L_{12}, L_{21} = 互感量。 L_m = 槽之合成電感。 L_s, L_{1s}, L_{2s} = 漏磁電感。

M = 互感量。

M = 轉矩。 M_b = 加速轉矩。 M_g = 抵抗轉矩。 M_k = 崩潰轉矩。

m = 相數。

m = 疊放之導線數。

m = 長度標準。

N = 功率。 N_e = 電功率。 N_n = 額定功率。 N_s = 視在功率。 N_s = 同步轉速時之功率。 N_i = 內功率。 N_{st} = 小時功率。 N_d = 轉場功率(空氣隙功率)。 N_m = 機械功率。 $N_{m\max}$ = 從軸上輸出之最大功率。 N_k = 整流子功率。 N_T = 中間變壓器之功率。

N = 槽數。

n = 轉數。 n_s = 同步轉數。 n_n = 額定轉數。 $n_{\max}$ = 最大轉數。

n = 部分導線互相重疊之數。

n_s = 冷卻槽數。 n_{ss} = 定子之冷卻槽數。 n_{sL} = 轉子之冷卻槽數。

O = 表面積。

P = 力。 P_z = 拉力。

p = 極對數。 p_ν = 與 ν 次諧波相對應之極對數。

p = 壓力。 p_b = 電刷之單位面積承受壓力。

Q = 單位時間內產生之熱量。

$Q_{\text{空氣}}$ = 空氣量。

Q = 每極之槽數。

q = 每相每極之槽數。

q = 斷面積。 q_l = 每極之設想空氣隙面積。 q_z = 齒斷面積。 q_j = 軛斷面積。 q_{Fe} = 變壓器之鐵心斷面積。

R, r = 電阻。 r_1 = 原級電阻。 r_2' = 副級電阻。 r_2 = 向原級換算之副級電阻。 r_t = 向原級換算之合成電阻。 r_e = 激磁繞組之電阻。

r_r = 短接環電阻。 r_s = 導條電阻。

$$r = \frac{b_{cu} \cdot s'}{b_n \cdot s}.$$

s = 電流密度。 s_a = 電樞繞組內之電流密度。 s_e = 激磁繞組內之電流密度。 s_k = 補償繞組內之電流密度。 s_b = 電刷電流密度。

s_n = 顧及槽主磁場所引起之渦流，在導線中之等效電流密度。

s = 部分導線之高度。 s' = 絕緣部分導線之高度。

s = 線捲寬度。 s' = 從槽中心度量之線捲寬度。

s = 比重。

s_n = 槽口寬度，在開口槽時 $s_n = b_n$ 。 $s' = \sigma s_n$ = 等效槽口寬度。

T = 週期。 T_k = 短路時間。

T = 絕對溫度。 T_0 = 四週絕對溫度。

T = 等效槽深。

T_1, T_2 = 時間常數。

t = 時間。

t = 極對數與槽數之最大公因子。

U, u = 端電壓。 U_g = 單樞變流機之直流電壓。 U_k = 變壓器之短路電壓。

u = 同槽並排之線捲邊數。

u = 線捲之周邊長。

i = 過載度。

i = 變壓比率。 i_ϕ = 六刷聯接法變壓比。 i_Δ = 三刷聯接法變壓比。

V = 磁壓。 V_l = 主磁極中心之空氣隙磁壓。 V_s = 齒磁壓。 V_f = 軛磁壓。 V_k = 極心磁壓。 V_s = 兩相鄰極軛間空氣距離之磁壓。

V_m = 正弦形磁通勢曲線捲振幅。

V = 損失。 V_{br} = 電刷摩擦損失。 V_{bu} = 電刷接觸損失。 V_{cu} = 銅損失。 V_{fe} = 鐵損失。 V'_{fe} = 每疊片組之鐵損失。 V_{feo} = 單相串激電動機靜止時之電樞鐵損失。 V_{fean} = 轉數為 n 時單相串激電動機之電樞鐵損失。 V_H = 磁滯損失。 V_o = 表面

損失。 V_{om} = 平均表面損失。 V_2 = 負載時轉子之表面損失。 V_ν = ν 次諧波所引起之表面損失。 V_w = 渦流損失。

v = 單位損失。 v_{10} = 鐵片單位重量損失。

v = 速度。 v_a = 電樞周邊速度。 v_{as} = 同步轉速時之電樞周邊速度。

v_{an} = 額定轉速時之電樞周邊速度。 v_k = 整流子周邊速度。 $v_{\nu r}$ = ν 次諧波與轉子間之相對速度。

W = 熱量。 w = 熱導體表面單位面積之散熱量。

W_m = 磁能。

w = 每相之串聯圈數。 w_s = 定子每相之串聯圈數。 w_1 = 原級每相之串聯圈數。 w_2 = 副級每相之串聯圈數。 w_e = 每對磁極之激磁繞組圈數。

x = 漏磁電抗。 x_1 = 原級漏磁電抗。 x_2 = 副級漏磁電抗。 x_t = 合成漏磁電抗。 x_n = 槽漏磁電抗。 x_k = 齒端漏磁電抗。 x_s = 機端面漏磁電抗。 x_a = 啓動籠漏磁電抗。 x_l = 轉動籠漏磁電抗。 x_{al} = 互感漏磁電抗。

x = 計算脈振損失之因數。

y = 合成繞組節距(步距)。 y_1 = 前節距(線捲距)。 y_2 = 後節距(聯接步距)。

$\vec{y} = g + jb$ = 電導。

Z = 鼠籠式轉子之導線數(槽數)。

Z = 線圈寬度所含之齒數。

z = 導線數。 z_k = 整流子繞組之導線數。 z_n = 每槽導線數。 z_g = 電樞上總導線數。 z_B = 刷栓桿數。

z = 阻抗。

α = 相角。

α = 溫度係數。

$\alpha_t = \frac{b_t}{\tau_p}$

$$\beta = \frac{B_0}{B_{\max}}$$

$$\beta = \frac{b_0}{\tau_R}$$

γ = 相角。

γ = 比重。

γ = 每相單線捲數。

Δ = 鐵片厚度。

δ = 空氣隙寬度。 $\delta_{\text{中心}}$ = 極中心處之空氣隙寬度。 δ_w = 換向極下空氣隙寬度。 δ' = 等效空氣隙寬度。

δ = 絕緣層厚度。

ε = 整流片間電壓。 $\varepsilon_{\text{平均}}$ = 平均整流片間電壓。 $\varepsilon_{\max}$ = 最大整流片間電壓。

ζ = 繞組因數。 $\zeta_\nu = \nu$ 次諧波之繞組因數。 ζ_s = 地域因數。 ζ_s = 弦因數。

η = 效率。

η = 縱坐標。 η_m = 圓心之縱坐標。

η = 鐵片之材料常數。

Θ = 磁通勢。 Θ_a = 電樞磁通勢(振幅)。 $\Theta_{\text{環路}}$ = 磁環路之合成磁通勢(每對磁極)。 $\Theta_{w\text{環路}}$ = 每對換向極之磁通勢。 Θ_{al} = 電樞縱向磁通勢。 Θ_{aq} = 電樞橫向磁通勢。

θ = 溫升。

$\mathcal{A}$ = 磁導。 $\mathcal{A}_n$ = 槽漏磁磁導。 $\mathcal{A}_s$ = 齒端漏磁磁導。 $\mathcal{A}_t$ = 機端面漏磁磁導。 $\mathcal{A}_p$ = 極靴間漏磁磁導。 $\mathcal{A}_k$ = 極心間漏磁磁導。

λ = 單位磁導(每單位長)。 λ_s = 槽中理想單位磁導。 λ_{ng} = 直流理想單位磁導。 λ_{nw} = 交流理想單位磁導。 λ_k = 齒端漏磁之單位磁導。

λ_s = 雙鏈漏磁之理想單位磁導。

$\lambda = \frac{l_i}{\tau_p}$ = 理想樞長與極距之比值。

$\lambda = \frac{l}{l_1}$ = 鐵心長度與導線平均長度之比值。

μ = 相對磁導係數。

μ_b = 電刷種類之摩擦係數。

ν = 相對輻射係數。

ν = 諧波之次數。

ξ = 等效鐵片厚度，等效導線高度。 ξ_{kr} = 等效導線臨界高度。

ξ = Hobart 電感因數。

ξ = 橫坐標。 ξ_m = 圓心之橫坐標。

ρ = 電阻係數(比電阻)。

ρ = 在確定排端面漏磁時顧及短路環尺寸之因數。

σ = 計算直流電機電樞繞組中附加損失之比例因數。

σ = 計算變壓器油箱尺寸之比例因數。

σ = 轉差率。 σ_K = 崩潰轉差率。

σ = 純黑物體之輻射係數。

σ_B = Blondel 漏磁因數。

σ_H = 磁滯損失因數。

σ_w = 渦流損失因數。

τ = Heyland 漏磁因數。 τ_1 = 原級漏磁因數。 τ_2 = 副級漏磁因數。

τ_k = 整流週邊上之整流片距。

τ_n = 槽距。

τ_p = 極距。 τ'_p = 從槽高中心度量之極距。

Φ = 磁通。 Φ_k = 極心內之磁通。 Φ_w = 換向極上之磁通。 Φ_s = 漏磁通。 Φ_g = 共同產生之磁通。 Φ_{g1} = 原級部份之磁通。 Φ_{g2} = 副級部份之磁通。

φ = 角度。

X = 計算附加損失之因數。

Ψ = 線捲磁通。

ψ = 計算變壓器溫升之因數。

ψ' = 計算雙層繞組之銅附加損失之因數。

ψ = 電流與縱向電勢間之相角。

$\omega = 2\pi f$ = 角速度。

目 錄

本書採用符號表	1-10
---------	------

第一章 磁 路

1-1. 磁通勢定律	1
1-2. 部份磁壓	2
(a) 空氣隙磁壓	2
(b) 齒磁壓	12
(c) 軛磁壓	14
(d) 極磁壓	15
1-3. 無載時之激磁通勢。無載特性曲線	16
(a) 感應電機	16
(b) 隱極同步電機	19
(c) 顯極同步電機	22
(d) 直流電機	26
1-4. 負載時之激磁通勢(電樞反應)	28
(a) 感應電機	28
(b) 隱極同步電機	31
(c) 顯極同步電機	32
(d) 直流電機	38
1-5. 磁場曲線之決定	39
(a) 顯極電機	39
(b) 隱極電機	40

第二章 漏 磁

2-1. 漏磁概念	44
2-2. 漏磁定義	45
(a) 以電感說明漏磁的定義	45
(b) 以磁能說明漏磁的定義	47
(c) 以磁力線圖說明漏磁的定義	47
2-3. 漏磁定義在變壓器和電機方面之應用	48
2-4. 電機漏磁之計算	51
(a) 槽漏磁 單層繞組	52
(b) 雙鏈漏磁 (諧波磁場漏磁)	60
(c) 齒端漏磁	65
(d) 線捲端漏磁	66
(e) 總漏磁電抗	71
2-5. 變壓器漏磁之計算	72
(a) 盤形繞組	72
(b) 筒形繞組	74

第三章 損 失

3-A. 鐵 損 失

3-A1. 無載鐵損失	76
(a) 鐵片損失	76
(b) 電機齒損失	79
(c) 電機軛損失	80