

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

電工學底理論基礎

第 二 冊

П. Л. КАЛАНТАРОВ и Л. Р. НЕЙМАН 著

鍾 兆 琥 譯



龍 門 聯 合 書 局

中國人民解放軍海軍司令部
海軍工程學院編

電子學原理基礎

第二版

國防科技大學編

第一冊



國防科技大學

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



電 工 學 底 理 論 基 礎

第 二 冊

卡蘭達羅夫 聶 孟 著
鍾兆璠 譯 喬汝祺 校

龍 門 聯 合 書 局

前 言

本書係根據 1951 年蘇聯國營動力出版社 (ГОСЭНЕРГОИЗДАТ) 出版的卡蘭達羅夫 (П.Л. КАЛАНТАРОВ) 與喬孟 (Л.Р. НЕЙМАН) 合著 “電工學底理論基礎” (ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ) 修正的第三版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為動力工程學院、電機工程學院以及動力工程學系、電機工程學系用教科書。

全書計三十一章，中譯本分三冊出版。第一冊包括原書第一章至第十一章，第二冊包括原書第十二章至第二十三章，第三冊包括原書第二十四章至第三十一章。原書附錄，都分別將有關部分附於每冊之後；並在每冊之末特附印由譯者編製的中俄英三種文字對照的索引。

工 學 底 理 論 基 礎 第 二 冊

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

П.Л. Калантаров и Л.Р. Нейман 著
鍾 兆 琥 譯 喬 汝 祺 校

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上海南京東路 61 號 101 室

中國圖書發行公司總經售

1953 年 5 月初版

印數 0001—5000 冊

定價 ¥ 18,000

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯系實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將陸續向全國推薦，作為現階段我國高等學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

目 錄

第十二章 交流電路底基本特性與電路內發生的現象

§ 85. 交流電路底參數	261
§ 86. 週期性的電動勢與電流	263
§ 87. 正弦波形的電動勢與電流	264
§ 88. 週期性電動勢與電流底有效值及平均值	266
§ 89. 正弦電動勢底基本發電機	269
§ 90. 交變電動勢底實用發電機	270
§ 91. 磁通與感應電動勢	271
§ 92. 矢量圖	273
§ 93. 最簡單的電路內當其端極上有正弦電壓時的穩定電流	276
§ 94. 電路的阻抗、電阻與電抗	279
§ 95. 電壓與電流之相位差	281
§ 96. 電壓與阻抗之三角形	283
§ 97. 電流與導納之三角形	285
§ 98. 阻抗與導納間的關係	288
§ 99. 在坐標軸上分段的矢量圖	289
§ 100. 最簡單的直綫圖與圓圖	291
§ 101. 交流電路內的平均功率	293
§ 102. 交流電路內的能量波動(漲落)	295

§ 103.	功率三角形	301
§ 104.	等效參數	303
§ 105.	關於表面(集膚)效應的概念	305
§ 106.	渦流	307
§ 107.	作為交流電路元件的同步電動機	311
§ 108.	不完全容電器底參數	313
§ 109.	等效參數底實驗測定法	314

第十三章 交流電路中受電器底串聯、並聯 及混合聯接

§ 110.	受電器底串聯	316
§ 111.	受電器底並聯	318
§ 112.	受電器混合聯接時的電路計算法	321
§ 113.	“地形”圖	322
§ 114.	沿感應性綫路的能量(電力)傳輸	323
§ 115.	藉反應(無功)分支來調節受電器端極電壓的方法	325
§ 116.	串聯與並聯下的互感	327

第十四章 電路內的共振

§ 117.	對於共振的概念	331
§ 118.	串聯共振	331
§ 119.	並聯共振	336
§ 120.	共振下的能量振盪	340
§ 121.	超電導環路裏的共振	342
§ 122.	串並聯共振	343

§ 123.	兩個耦合的超電導環路中的共振	344
--------	----------------	-----

第十五章 符號計算法

§ 124.	符號法底基礎	348
§ 125.	正弦函數、其和數、積分及導數之符號表示法	351
§ 126.	符號法在交流電路計算中的應用	353
§ 127.	阻抗與導納底複量	355
§ 128.	根據電動勢與電流底複量求功率	357
§ 129.	以符號式表示的克希荷夫定律	358
§ 130.	論複雜交流電路底計算	360
§ 131.	無芯變壓器	362
§ 132.	郎日萬定理	366
§ 133.	反演電路	367

第十六章 四極網絡與鏈型網絡

§ 134.	四極網絡方程式	371
§ 135.	無源四極網絡底等效電路	375
§ 136.	四極網絡底空載與短路	376
§ 137.	對稱四極網絡之重複阻抗與傳播常數	378
§ 138.	對稱均勻鏈型網絡	381
§ 139.	懸式碍子串上的電壓分佈	383
§ 140.	頻率濾波器	385
§ 141.	最簡單的濾波器之通頻帶範圍	387
§ 142.	T形反應環節底共振曲線	392
§ 143.	反應鏈型網絡底共振曲線	395

§ 164.	脈動磁場	441
§ 165.	旋轉磁場	444
§ 166.	堵住轉子的異步電機	446
§ 167.	轉子旋轉的異步電機	447
§ 168.	綜論多相制	449
§ 169.	三相制底對稱成分	451
§ 170.	對稱成分濾器	455
§ 171.	在對稱三相電路中對稱成分之獨立性	460
§ 172.	對稱成分法在短路電流計算中之運用	461
§ 173.	在一般性不對稱情況下的三相電路底功率	463

第十九章 非正弦波形的週期性電動勢與電流

§ 174.	週期性函數之分解為傅立葉級數	465
§ 175.	非正弦電動勢與電流底有效值	470
§ 176.	有高級諧波時的平均功率	471
§ 177.	論電動勢為非正弦波形時的電路計算問題	473
§ 178.	恆參數電路底特性對於電流曲綫形狀的影響	475
§ 179.	三相電路內的高級諧波	479

第二十章 有鐵芯的反應線圈與變壓器

§ 180.	有鐵芯的反應線圈	482
§ 181.	鐵芯內的損失	482
§ 182.	磁滯對電流曲綫與電壓曲綫形狀的影響	484
§ 183.	等效正弦波及磁通與電流之關係	486
§ 184.	鐵芯反應線圈底矢量圖及等效電路	488

§ 185.	鐵芯變壓器	490
§ 186.	鐵芯變壓器底方程式	491
§ 187.	變壓器各繞組化成同一匝數的換算	493
§ 188.	變壓器底等效電路	495
§ 189.	鐵芯變壓器底矢量圖	497
§ 190.	鐵芯變壓器底變換比率與效率之測定	500
§ 191.	自耦變壓器	501
§ 192.	用變壓器改變多相制底相數	502

第二十一章 非直綫律電路

§ 193.	變參數電路	505
§ 194.	電路底非直綫性元件	506
§ 195.	非直綫律直流電路內的串聯與並聯	508
§ 196.	交流之整直	512
§ 197.	三極管	514
§ 198.	調頻與檢波	517
§ 199.	鐵芯反應線圈與容電器底串聯及並聯	520
§ 200.	鐵磁電壓鎮定器	526
§ 201.	鐵磁共振倍頻器	527
§ 202.	鐵磁頻率三倍器	528
§ 203.	鐵磁頻率二倍器	529
§ 204.	鐵磁功率放大器	531

第二十二章 集中參數電路內的過渡歷程

§ 205.	過渡歷程分析底一般原理	534
--------	-------------	-----

§ 206.	在建立直流時感應性電路內的過渡歷程	537
§ 207.	感應性電路與正弦電壓來源之接通	541
§ 208.	鐵芯反應線圈與正弦電壓來源之接通	543
§ 209.	電容性電路內建立恆定電壓時的過渡歷程	544
§ 210.	電容性電路在正弦電壓下的接通	549
§ 211.	弛張振盪	551
§ 212.	容電器底放電	553
§ 213.	真空管振盪器	562
§ 214.	含有電感和電容的電路在直流電壓下之接通	566
§ 215.	具有電感和電容的電路在正弦電壓下的接通	569
§ 216.	電路接在任何波形的電動勢下的情形	577
§ 217.	論運算術	578
§ 218.	最簡單的函數變換式	581
§ 219.	歐姆定律和克希荷夫定律之推廣	583
§ 220.	分解定理	588

第二十三章 均勻輸電綫

§ 221.	均勻輸電綫方程式	592
§ 222.	均勻綫方程式在穩定的正弦狀態下的解法	594
§ 223.	被特徵阻抗短接的均勻綫	597
§ 224.	行波	598
§ 225.	均勻綫底特性	602
§ 226.	無畸變綫	604
§ 227.	在各種不同運行狀態下的均勻綫	605
§ 228.	無損耗綫	608

§ 229. 無畸變均勻綫方程式底通解.....	612
§ 230. 無畸變綫路裏的波.....	616
§ 231. 論傳輸綫內波底起源和性質.....	618
§ 232. 兩均勻綫共軛處波底折射和反射.....	619
§ 233. 波從綫路終端的反射.....	622
§ 234. 均勻綫底接通過程.....	626
§ 235. 兩均勻綫共軛處有電抗時波底通過.....	629
§ 236. 兩均勻綫共軛處有電阻時波底通過.....	632
附錄	635
中、俄、英文對照索引.....	637

第十二章

交流電路底基本特性與電路內發生的現象

§ 85. 交流電路底參數

組成電流路徑的一切裝置底集合體，假設此路徑沒有分支路，稱為電環路或輪廓。

在研究交流電流內發生的各種現象時，極其重要的一點就是要記得，電流與磁場是永遠不可分割的。因此，當電路內有電流時，在電路本身內以及在環繞電路的媒質內不僅有電場存在，並且還有磁場存在。除此以外，在電路本身內，而有時也在環繞電路的媒質內，發生電磁能轉入熱能的變換。

在實際存在的電路中，磁場與電場是沿整個電路分佈的；不會有這樣一段電路，在其近傍或在其本身內缺少這兩種場。但是沿電路全長均勻地分佈的場，却僅能在較少有的場合中，例如傳輸電能的遠程線路內觀察到。最常見的情形是磁場與電場不僅沿電路分佈得不均勻，甚至在某一段上或某幾段上這些場表現得這樣突出，以致其它各段底電場或磁場可以略而不計。電路內電磁能變成熱能的情形也是如此。讓我們先來討論一下這樣的電路，在這種電路裏，磁場、電場以及發熱現象可以相當準確地算作是集中於某個別段內；同時應當指出，這種電路稱為有集中參數的電路。

我們將研究一個沒有分支而由 ab, bc, cd 三段組成的電路（圖 154），並且假定電磁能變熱的過程

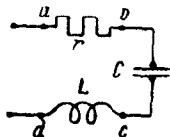


圖 154.

僅在 ab 段內發生， bc 段內只有電場，而與整個電路有關的磁場都集中在 cd 段內。應當說明，所謂孤獨電路是不受其它電路底電磁作用影響的電路。

電路第一段 ab 底特性我們以電阻 r 來表示。知道 r 以後，在電流強度 i 為指定值時就可利用歐姆定律求出克服這一段電路電阻所需要的電壓 u_a ，就是說：

$$u_a = ri.$$

電路底第二段 bc 是一個容電器。這段電路底特性我們以容電器底電容 C 來表示，後者像大家所熟知的是容電器電荷 q 與加於極片上的電壓 u_c 底比率。這一外電壓是以與其大小相等而方向直接相反的容電器底電動勢 e_c 所平衡，此電動勢阻止着容電器電荷繼續增長。知道了容電器底電容 C 之後，在其電荷 q 為指定值時容電器底電動勢 e_c 就可用下列關聯式

$$e_c = -u_c = -\frac{q}{C}$$

求得。

根據我們底假定，與此電路有關的全部磁場所集中的第三段 cd 底特性我們以感應係數 L 表示，此係數像大家所熟悉的，是與此電路鍵連的自感全磁通 Ψ_L 與該電路內電流強度 i 底比率。在這種情形下，不論此處或以後，如果沒有特別說明，我們將假定磁路——組成磁通路徑的一切裝置底集合——不含有鐵磁材料。這樣一來，全磁通 Ψ_L 與電流強度 i 間就有一種正比例的關係而感應係數變成了一個恆量。

知道了電路底感應係數 L ，就可以在電流 i 為指定值的時候求出與此電路相鍵連的自感全磁通 $\Psi_L = Li$ ，並在指定的電流變化速率 $\frac{di}{dt}$ 下求得電路內發生的自感電動勢 $e_L = -L\frac{di}{dt}$ ，以及必須與自感電動勢

平衡的電壓 $u_L = -e_L = +L \frac{di}{dt}$ 。

這樣看來，如果電路第一段底電阻 r 、第二段內容電器底電容 C 和第三段底感應係數 L 是已知的話，那麼上述的孤獨電路是完全可以確定的電路。以後我們將稱電路底特性 r, L, C 三者為電路底參數，並且假定它們是恆量，就是說它們不跟着時間變化，也不隨電路內電流強度以及個別段內的電壓變化。

在結束本節時應當指出，容電器底電動勢 $e_C = -q/C$ 和自感電動勢 $e_L = -d\Psi_L/dt$ 稱為反應電動勢，因為這些電動勢是電路對於加在其本身的外來作用的反應表現。

§ 86. 週期性的電動勢與電流

讓我們規定稱電動勢和電流在某一時刻 t 的價值為電動勢和電流底瞬時值。這樣一來，如以 e 和 i 代表電動勢和電流底瞬時值，並且注意到在一般情形下電動勢和電流是隨着時間變化的，我們就可以寫出：

$$e = F_1(t), \quad i = F_2(t).$$

在電氣工程中最常用的是週期性的電動勢和電流，就是說其價值在經過相等的時間後又重複的電動勢和電流，因此，對於這種電動勢和電流，下列公式

$$e = F_1(t) = F_1(t + kT),$$

$$i = F_2(t) = F_2(t + kT),$$

是合理的，公式中 k 是一個任何整數，而 T 是一個稱為週期的恆定量，它代表電動勢和電流值在重複時必須經過的最小時間。週期底倒數稱為交變電動勢或交變電流底頻率。用 f 代表頻率，我們有：

$$f = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{1}{f}.$$

這樣看來，頻率在數值上等於單位時間內的週期數。直流電動勢和電流可以看成是週期性電動勢和電流底一種特殊情況，它底變化週期是無限大而頻率等於零，也就是說 $T = \infty$ 而 $f = 0$ 。

電氣工程中應用的頻率幅度是異常大的——從幾十赫茨（每秒週期）到幾十億赫茨。在動力設備中用的是低頻率，具體地說，傳輸與分配動力的標準頻率在歐洲用 50 週，在美國用 60 週。在電話通訊中用較高的頻率，約為幾百到幾千週，而在無線電設備中，所用頻率却高到幾十億週。

確定電動勢或電流底變化規律的週期函數可能是很複雜的。但是，像大家所熟悉的，週期函數可以分解成傅立葉（Fourier）級數而把此函數表現為級數各項之和。在一般情況下，傅立葉級數中包括：（1）恆定成分；（2）頻率與該週期函數底頻率相等的正弦函數，並稱為基本波或第一諧波；（3）一串其他正弦函數，其頻率整倍於該週期函數底頻率，並稱為高級諧波。

應該指出，週期性電動勢和電流，如其恆定成分等於零，則稱之為交變電動勢和交變電流。

我們先着手研究最簡單的交變電動勢和電流，它們是時間底正弦函數。對於正弦波電動勢和電流底研究之所以如此重視，是因為由現代發電機產生的電動勢，其波形通常都接近正弦波，而在這種情形下，我們以後還會看到，在恆定參數的電路內電流曲線也將是正弦波。

§ 87. 正弦波形的電動勢與電流

週期性的電動勢和電流，其變化規律如能以下列函數

$$e = E_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_e\right)$$

和

$$i = I_m \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_i \right)$$

表示的，稱為正弦波電動勢和電流，或稱諧波電動勢和電流。在這種函數底右方，唯一的交變量就是時間 t 。從正弦電動勢和電流底公式中

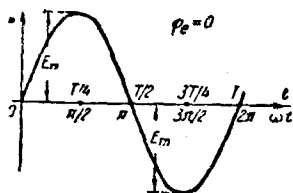


圖 155.

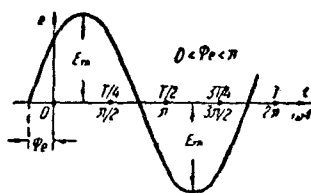


圖 156.

可以看出，它們底週期是 T ，而 e 和 i 底最大值各為 E_m 和 I_m 。最後的兩個值就稱為電動勢和電流底最大值或振幅。正弦的幅角稱為電動勢或電流底相，而確定電動勢和電流在 $t = 0$ 時的價值的 ψ_e 和 ψ_i 則稱為電動勢和電流底初相。因為 $1/T = f$ ，所以，如以 ω 代表 $2\pi f$ ，則可以寫出：

$$e = E_m \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_e \right) = E_m \sin (2\pi f t + \psi_e)$$

$$= E_m \sin (\omega t + \psi_e),$$

$$i = I_m \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_i \right) = I_m \sin (2\pi f t + \psi_i)$$

$$= I_m \sin (\omega t + \psi_i).$$

物理量 ω 稱為交變電壓或電流底角頻率，而與頻率及週期有下列的關係：

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}.$$

圖 155、156 與 157 表示了初相不同的正弦波電動勢在笛卡兒坐標