

高等學校教學用書

# 電工原理

中 冊

K. A. КРУГ 主編

東北工學院電工原理教研組周孔章等譯

龍門聯合書局

高等學校教學用書



電 工 原 理  
中 冊

K. A. 克魯格 教授 主 編

K. A. 克魯格 A. И. 達列夫斯基 Г. В. 塞維凱 П. А. 依翁金 合著  
B. Ю. 洛蒙諾索夫 A. B. 聶杜什爾 С. B. 斯特拉霍夫

東北工學院電工原理教研組 周孔章 等譯

龍 門 聯 合 書 局

高等學校教學用書



電 工 原 理  
下 冊

К. А. 克魯格 教授 主 編  
К. А. 克魯格 А. И. 達列夫斯基 Г. В. 塞維凱 П. А. 依翁金 合著  
В. Ю. 洛蒙諾索夫 А. В. 森杜什爾 С. В. 斯特拉霍夫  
東北工學院電工原理教研組 周孔章 等譯

龍 門 聯 合 書 局

D667/17

本書係根據蘇聯國營動力出版社(Государственное энергетическое издательство) 1952年出版的“電工原理”(Основы электротехники)譯出的。原書是榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院的電工原理教研室的教師們的集體著作，是在電工原理教研室主任克魯格(К. А. Круг)教授主編之下寫成的；並經蘇聯高等教育部審定為動力工程學院及電工學院和動力工程系及電工系的教學參考書。

本書中討論了直流和交流的線性和非線性的電路，靜電電路和磁路，具有分佈參數的電路，瞬變過程，以及靜電場、磁場、導電媒介質中的電場和電磁場。

本書的中譯本分三冊出版，上冊包括直流電路、磁路、靜電電路和正弦交流電路。中冊包括非正弦交流電路和電路的瞬變過程。下冊為電磁場。

中冊的翻譯工作由東北工學院機電系電工原理教研組担任：第十四章、第十五章和第十六章由沈慶堃同志翻譯；第十七章和第十八章的前半(18-1到18-19)由湯肇善同志翻譯；第十八章的後半(18-20到18-32)、第十九章和第二十章由周孔章同志翻譯。

中冊的譯稿並經周崇經和李華天同志校閱。

# 電 工 原 理

## 中 冊

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

К. А. КРУГ 主編

東北工學院電工原理教研組 周孔章 等譯

★ 版權所有 ★

龍門聯合書局出版

上海市書刊出版業營業許可証出029號

上海淮海中路1813號

新華書店總經售

大眾文化印刷廠印刷

上海柳林路112號

開本: 850×1168 1/32	印數: 15,001—17,500冊
印張: 7 22/32	1954年9月重譯第一版
字數: 207,000	1957年10月第七次印刷
定價: (10) 1.20元	

D-167/17

本書係根據蘇聯國營動力出版社(Государственное энергетическое издательство) 1952年出版的“電工原理”(Основы электротехники)譯出的。原書是榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院的電工原理教研室的教師們的集體著作，是在電工原理教研室主任克魯格(К. А. Круг)教授主編之下寫成的；並經蘇聯高等教育部審定為動力工程學院及電工學院和動力工程系及電工系的教學參考書。

本書中討論了直流和交流的線性和非線性的電路，靜電電路和磁路，具有分佈參數的電路，瞬變過程，以及靜電場、磁場、導電媒介質中的電場和電磁場。

本書的中譯本分三冊出版，上冊包括直流電路、磁路、靜電電路和正弦交流電路。中冊包括非正弦交流電路和電路的瞬變過程。下冊為電磁場。

下冊的翻譯工作由東北工學院機電系電工原理教研組擔任：第二十一章前部(21-1—21-10)由陳紹龍同志翻譯；第二十一章後部(21-11—21-22)、第二十二章和附錄由周孔章同志翻譯；第二十三章由湯肇善同志翻譯；第二十四章前部(24-1—24-13)由何文興同志翻譯；第二十四章中部(24-14—24-26)由李華天同志翻譯；第二十四章後部(24-27—24-31)由周崇經同志翻譯。

下冊的譯稿並經周崇經、李華天、周孔章三同志校閱。

## 電 工 原 理

下 冊

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

К. А. КРУГ 主編

東北工學院電工原理教研組 周孔章 等譯

★ 版權所有 ★

龍門聯合書局出版

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

上海茂名北路 300 弄 3 號

新華書店總經理

大新印刷廠印刷

上海西藏北路 251 弄 13 號

開本：850×1168 1/32 印數：7,701—11,700册

印張：8 14/32 1954年12月重譯第一版

字數：228,000 1956年5月第三次印刷

定價：(10)1.30元

# 目 錄

## 第三編 在非正弦電流和非正弦電壓下電路的性質及其計算方法

第十四章 非正弦電流	329
14-1. 非正弦電勢和非正弦電流	329
14-2. 週期性非正弦曲線分解成三角級數	329
14-3. 非正弦週期性電勢和電流的極大值、有效值及平均值	334
14-4. 表明非正弦週期性曲線形狀的係數	336
14-5. 具有週期性包線的非正弦曲線	337
a) 拍	337
b) 調波	338
14-6. 具有非正弦電勢和非正弦電流的電路之計算	340
14-7. 在非正弦電勢及非正弦電流下的諧振現象	343
14-8. 週期性非正弦電流的功率	345
14-9. 三相制中的高次諧波	347
第十五章 濾波器	351
15-1. 濾波器	351
15-2. 單環節濾波器的頻率特性曲線及計算原理	353

## 第十六章 鐵心線圈和鐵心變壓器 .....363

- 16-1. 鐵心線圈裏的現象.....363
- 16-2. 具有鐵心的線圈裏的電流曲線和電壓曲線.....364
- 16-3. 鐵裏的磁滯損耗.....367
- 16-4. 鐵裏的渦流損耗.....369
- 16-5. 鐵的往復磁化的總損耗.....372
- 16-6. 鐵心抗流線圈.....374
- 16-7. 具有鐵心的變壓器.....376

## 第十七章 非線性交流電路 .....382

- 17-1. 非線性交流電路的一般特性.....382
- 17-2. 具有單一電源的電路.....384
- 17-3. 在具有單向電阻的電路中電流曲線的形狀.....385
- 17-4. 最簡單的整流器.....387
- 17-5. 在具有非線性電抗的電路中電流和電壓曲線的形狀.....390
- 17-6. 頻率三倍器.....393
- 17-7. 在具有熱電阻的電路中電流和電壓曲線的形狀.....396
- 17-8. 鐵磁諧振現象.....397
- 17-9. 電壓鐵磁諧振.....398
- 17-10. 電流鐵磁諧振.....400
- 17-11. 電壓穩定器.....402
- 17-12. 具有非單一電源的電路.....403
- 17-13. 在具有直流電勢源和交流電勢源的非線性電路中電流和電壓曲線的形狀.....404
- 17-14. 在具有交流和直流兩種電勢的電路中的整流器.....410
- 17-15. 頻率二倍器.....412
- 17-16. 直流分量對交流分量數值的影響.....415
- 17-17. 鐵磁功率放大器.....419
- 17-18. 調幅的原理.....422

## 第四編 電路中的瞬變過程 及其計算方法

第十八章 具有集中參數的電路中的瞬變過程	425
18-1. 在電路中瞬變過程的發生和開閉定律	425
18-2. 在電路中的瞬變、強制和自由狀態	426
18-3. 具有電阻和電感的電路的短接	429
18-4. $r, L$ 電路接通到直流電壓源	432
18-5. 在 $r, L$ 電路中電阻的改變	433
18-6. $r, L$ 電路接通到正弦電壓源	434
18-7. 具有電阻和電容的電路的短接	436
18-8. $r, C$ 電路接通到直流電壓源	438
18-9. $r, C$ 電路接通到正弦電壓源	440
18-10. 在無分支的 $r, L, C$ 電路中的瞬變過程	442
18-11. 電容器的非週期性放電	443
18-12. 電容器非週期性放電的臨界情形	447
18-13. 電容器的週期性(振盪)放電	447
18-14. 非週期的 $r, L, C$ 電路接通到直流電壓源	453
18-15. 振盪的 $r, L, C$ 電路接通到直流電壓源	454
18-16. 非週期的 $r, L, C$ 電路接通到正弦電壓源	455
18-17. 振盪的 $r, L, C$ 電路接通到正弦電壓源	458
18-18. 在有分支電路中用經典法計算瞬變過程的一般情形	465
18-19. 具有互感的電路的接通	470
18-20. 電路接通到連續變化的電壓源(丟阿蔑爾積分)	477
18-21. 丟阿蔑爾積分的其他形式	479
18-22. 電路接通到任意形式的電壓源	480
18-23. 運算法的基本原理	484
18-24. 最簡單的函數變換式	486



18-25. 函數的微商和積分的變換式	488
18-26. 分解定理	490
18-27. 歐姆定律和克希荷夫定律的運算形式	492
18-28. 指數電壓接通的公式	499
18-29. 直流電壓接通的公式	501
18-30. 正弦電壓接通的公式	501
18-31. 瞬變過程的計算歸結成爲零值初具條件	502
18-32. 依據變換式求自由電流法	505
<b>第十九章 具有分佈參數的電路中的瞬變過程</b>	<b>507</b>
19-1. 在具有分佈參數的電路中瞬變過程的發生	507
19-2. 均勻長線中的波	507
19-3. 有矩形波前的波	510
19-4. 終端開路的線的接通	512
19-5. 終端短接的線的接通	515
19-6. 接於電阻的線的接通	517
19-7. 以電阻接向有負載的線	519
19-8. 終端有負載的長線的扳斷	520
19-9. 已充電的線接於電阻	522
19-10. 雜散波	524
19-11. 決定反射波電壓和電流的普遍方法	526
19-12. 波從某一線進入到另一線的情形	528
19-13. 具有電感性負載的線的接通	529
19-14. 當兩線接點處接有電容時, 波從某一線進入到另一線的情形	532
19-15. 矩形脈衝通過電感的情形	534
19-16. 在含有集中電容和電感的線中, 瞬變過程的定性研究	535
<b>第二十章 非線性電路中的瞬變過程</b>	<b>538</b>
20-1. 非線性電路中瞬變過程的一般特性	538

20-2. 在非線性電路中瞬變過程的計算方法·····	539
20-3. 鐵心線圈接通到直流電壓源·····	540
20-4. 電容器經非線性電阻充電·····	549
20-5. 鐵心線圈接通到正弦電壓源·····	551
20-6. 有電容負載的整流器接通到正弦電壓源·····	556
20-7. 具有電弧、電感和電阻的電路接通到正弦電壓源 ·····	558
中俄文對照索引·····	1

# 目 錄

## 第五編 電磁場及其計算方法

第二十一章 靜電場	563
21-1. 靜止電荷間相互作用的力	563
21-2. 電場強度與電位	564
21-3. 向量的通量。高斯定理	567
21-4. 體積電荷、表面電荷及線電荷	569
21-5. 電場幾何	571
21-6. 電偶極子	573
21-7. 電介質的極化	575
21-8. 兩媒介質分界面上的邊界條件	579
21-9. 多層絕緣	583
21-10. 雙導線輸電線的電場和電容	585
21-11. 考慮到大地的影響時多導線輸電線的電場	589
21-12. 三相輸電線的電容	591
21-13. 靜電場的微分方程式	593
21-14. 靜電學的典型問題	595
21-15. 均勻場中的電介質圓柱體和電介質球	596
21-16. 兩個針的電場	601
21-17. 均勻電場中的導電球	604
21-18. 複變數函數應用於計算平行的平面場	605
21-19. 均勻電場中的導電圓柱體	608
21-20. 保角變換的概念	609

21-21. 電場能量	613
21-22. 電場中的徙動力	617

## 第二十二章 導電媒介質中的電場 620

22-1. 電流和電流密度	620
22-2. 歐姆定律和楞次-焦耳定律的微分形式	621
22-3. 克希荷夫定律的微分形式	622
22-4. 電場中的邊界條件	626
22-5. 電介質中的靜電場和導體中的電場之間的對比	628
22-6. 半球形接地器的電場	630
22-7. 單芯電纜中的漏電流	631

## 第二十三章 磁場 634

23-1. 磁場對電流的作用	634
23-2. 磁感線和磁通	635
23-3. 在磁場中的閉合電流	636
23-4. 電流的磁場	639
23-5. 電流的相互作用	642
23-6. 全電流定律	643
23-7. 磁化強度與磁場強度	646
23-8. 磁場中的邊界條件	651
23-9. 磁場的向量位	653
23-10. 雙導線輸電線的磁場	656
23-11. 無限長的線狀電流在不均勻媒介質中的磁場	660
23-12. 磁場的數量位。磁偶極子	663
23-13. 磁屏蔽	665
23-14. 去磁係數	668
23-15. 電磁感應	669
23-16. 自感與互感	671
23-17. 三相輸電線的電感	676
23-18. 電子在磁場中運動的軌道	679

23-19. 磁場能量	680
23-20. 磁場中的能量平衡	683
23-21. 磁場中的徙動力	685

## 第二十四章 靜止媒介質中的交變電磁場 ..... 688

24-1. 關於電磁場的基本方程式	688
24-2. 磁場的旋度(馬克斯威爾第一方程式)	688
24-3. 電場的旋度(馬克斯威爾第二方程式)	690
24-4. 電磁場的散度	691
24-5. 場的向量與媒介質的參數間的關係	692
24-6. 電磁場的能量	692
24-7. 電磁場向量的邊界條件	693
24-8. 全電流線的閉合性。電荷不滅定律	693
24-9. 烏莫夫-波印亭定理	696
24-10. 電磁場的位的微分方程式	701
24-11. 複數形式的電磁場基本方程式	706
24-12. 複數形式的烏莫夫-波印亭定理	708
24-13. 唯一性定理	709
24-14. 單元電輻射子(赫芝偶極子)	711
a) 近區或似穩區	719
b) 遠區或輻射區	720
24-15. 輻射子的場圖	722
24-16. 單元磁輻射子	725
24-17. 似穩場。瞬時值的克希荷夫定律	726
24-18. 均勻媒介質中對於任意的電流系統的推遲位	729
24-19. 對於單元振子的互換定理	730
24-20. 等效面電流法	732
24-21. 均勻電介質中的平面波	734
24-22. 電介質中平面波的反射和折射	741
a) 向量 $E$ 垂直於入射面	744
b) 向量 $E$ 平行於入射面	745

24-23. 全反射 .....	746
24-24. 集膚效應和鄰擾效應 .....	747
24-25. 均勻導體中的平面簡諧波 .....	748
24-26. 薄片中的集膚效應 .....	758
24-27. 在圓導線中的集膚效應 .....	757
24-28. 無線電波導及空腔諧振器的基本原理 .....	762
a) 橫磁波 (E-TM) .....	764
b) 橫電波 (H-TE) .....	771
c) 在波導中的相速、羣速和能量傳輸的速度 .....	776
d) 直角六面形空腔諧振器 .....	780
24-29. 電磁波沿同軸式輸電線(電纜)的傳播 .....	781
24-30. 在非完全導體中熱量的產生(用集膚效應的方法來計算) .....	785
a) 衰減係數的決定 .....	787
b) 空腔諧振器的品質因數 .....	789
24-31. 在非完全電介質中熱量的產生 .....	789
<b>附錄 向量分析摘要 .....</b>	<b>791</b>
附-1. 曲線正交坐標 .....	791
附-2. 數量場和向量場 .....	796
附-3. 數量場的梯度 .....	797
附-4. 向量的散度 .....	799
附-5. 奧斯特羅格拉斯基定理 .....	801
附-6. 向量的旋度 .....	802
附-7. 斯托克斯定理 .....	804
附-8. 納布拉算子及其應用舉例 .....	805
附-9. 拉普拉新 .....	806
附-10. 拉普拉斯方程式的特解及其對應的場 .....	808
<b>中俄文對照索引 .....</b>	<b>1</b>

# 第三編 在非正弦電流和非正弦電壓下電路的性質及其計算方法

## 第十四章 非正弦電流

### 14-1 非正弦電勢和非正弦電流

在以前數章裏，研究了在正弦變化的電源電勢作用下，具有恆定參數  $r$ 、 $L$  及  $C$  的線性電路中所產生的交變電流。但在實際上，電勢及電流的曲線常常與正弦波形多少有些不同。

在交流發電機裏，由於沿氣隙的磁感應分佈曲線與正弦波形有差別，在繞組裏所感生的電勢曲線就與正弦波形有差別。在含有非線性電阻、電感和電容的電路裏（例如，整流器、電弧、鐵心線圈），即使在正弦電勢的電源下，也產生非正弦電流和非正弦電壓。例如，整流後的電壓曲線就與正弦波形有顯著的差別（表 14-1）。無線電話和無線電報信號的曲線與正弦波形也有顯著的差別，它們不但是非正弦波，並且是非週期性的。

在本章裏研究線性電路的計算方法，在線性電路裏所作用的非正弦電勢、電流和電壓都可被分解成爲諧波的分量。

### 14-2. 週期性非正弦曲線分解成三角級數

如果將電勢或電流的曲線分解成尤拉-富理哀三角級數，對於發生在具有週期性而非正弦的電勢或電流的電路裏的現象，研究起來便很簡單了。

表 14-1

號次	$f(\omega t)$ 的圖形	$f(\omega t)$ 分解成級數	$A$	$A_{cp}$	$k_{\phi}$	$k_a$	$k_u$
1		$f(\omega t) = A_m \sin \omega t$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2A_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	1
2		$f(\omega t) = \frac{4a_m k_{\phi c}}{\pi} \left( \sin \alpha \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \cdot \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \cdot \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{k^2} \sin k\alpha \sin k\omega t + \dots \right)$	$a_m k_{\phi c} \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$	$a_m k_{\phi c} \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} \right)$	$\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$ $\frac{1 - \frac{\alpha}{\pi}}{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$ $\frac{2\sqrt{2} \sin \alpha}{\cos \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$	$\frac{2\sqrt{2} \sin \alpha}{\cos \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$
3		$f(\omega t) = \frac{8a_m k_{\phi c}}{\pi^2} \left( \sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \dots + \frac{(-1)^{\frac{k-1}{2}}}{k^2} \sin k\omega t + \dots \right)$	$\frac{a_m k_{\phi c}}{\sqrt{3}}$	$\frac{a_m k_{\phi c}}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	$\frac{4\sqrt{6}}{\pi^2}$
4		$f(\omega t) = \frac{4a_m k_{\phi c}}{\pi} \left( \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{k} \sin k\omega t + \dots \right)$	$a_m k_{\phi c}$	$a_m k_{\phi c}$	1	1	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$



續表 14-1

號次	$f(\omega t)$ 的圖形	$f(\omega t)$ 分解成級數	$A$	$A_{cp}$	$k_{\phi}$	$k_a$	$k_u$
5		$f(\omega t) = \frac{2A_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t \right) + \frac{1}{1.3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3.5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5.7} \cos 6\omega t + \dots$	$\frac{A_m}{2}$	$\frac{A_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2}$	2	—
6		$f(\omega t) = \frac{4A_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} + 1.3 \cos \omega t \right) - \frac{1}{3.5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5.7} \cos 6\omega t - \dots$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2.4A_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	—
7		$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3} \cdot 4A_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} + 2.4 \cos \omega t - \frac{1}{5.7} \cos 3\omega t + \frac{1}{8.10} \cos 5\omega t - \dots \right)$	$A_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4}}$	$\frac{3\sqrt{3} \cdot 4A_m}{2\pi}$	$\frac{1}{\pi \sqrt{\frac{2}{27} + 3\pi \sqrt{3}}}$	$\frac{2}{\sqrt{2 + \frac{3\sqrt{3}}{\pi}}}$	—