

电工学的理論基础

DIANGONGXUE DI LILUN JICHU

第 二 册

列·罗·聶曼 著
帕·拉·卡兰塔罗夫

人民教育出版社

高等·学校教学用书



电工学的理論基础

第二册

交流电路理論

列·罗·霸曼 著
帕·拉·卡兰塔罗夫
鍾兆琥 譯

人民教育出版社

本书原来是根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1951 年出版的帕·拉·卡兰塔罗夫 (П. Л. Калантаров) 和列·罗·聶曼 (Л. Р. Нейман) 合著的“电工学的理論基础” (Теоретические основы электротехники) 第三版譯出的。1955 年曾由原譯者根据原书 1954 年新版修訂过一次, 现又由譯者根据原书 1959 年第五版加以修訂。原书經苏联高等教育部批准为动力工程学院、电机工程学院以及动力工程系和电机工程系用的教科书。

全书分三册出版。第一册为“电工的物理基础及直流电路理論”, 除“直綫律直流电路的計算”一章系卡兰塔罗夫所写外, 其余各章均系聶曼所写。第二册为“交流电路理論”, 原系卡兰塔罗夫所写, 因卡兰塔罗夫已逝世, 新版由聶曼加以部分改写和补充。第三册为“电磁場理論”, 系聶曼所写。新版第一册已由我社于 1960 年 5 月出版。

电 工 学 的 理 論 基 础

第 二 册

列·罗·聶曼 帕·拉·卡兰塔罗夫著

鍾兆琥譯

人民教育出版社出版

高等学校数学用書編輯部
北京宣武門內承恩寺 7 号

北京市書刊出版业營業許可証出字第 2 号

外文印刷厂印裝 新华書店发行

統一書号 15010·923 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 14 $\frac{1}{16}$ 插頁 4

字数 364,000 印数 00001—10,000 定价 (7) ¥2.00 (精裝本)

1960 年 8 月第 1 版 1960 年 8 月北京第 1 次印刷

(另平 20000 册)

目 录

第一章 交流电路的基本特性与电路里发生的现象 1

§ 1. 周期性的和正弦波形的电动势、电压和电流	1
§ 2. 交流电路里的物理现象	4
§ 3. 应用于交流电路理论中的科学抽象, 其实际意义及应用范围	7
§ 4. 交流电路的参数	10
§ 5. 周期性电动势、电压和电流的有效值和平均值	13
§ 6. 如何在交流发电机内获得正弦电动势	17
§ 7. 磁通和感应电动势的曲线。曲线形状的特征	20
§ 8. 矢量图	22
§ 9. 最简单的 r 、 L 和 C 串联的电路里当其端极上有正弦电压时的稳定电流	25
§ 10. 电路的阻抗、电阻和电抗	29
§ 11. 电压与电流的相位差	31
§ 12. 最简单的 g 、 L 和 C 并联的电路内当其端极上有正弦电压时的稳定电流	32
§ 13. 电压三角形和阻抗三角形	35
§ 14. 电流三角形和导纳三角形	37
§ 15. 联系着等效阻抗和等效导纳的关系式	39
§ 16. 在坐标轴上分段的矢量图	40
§ 17. 最简单的直线图与圆图	42
§ 18. 交流电路内的有功功率	43
§ 19. 交流电路内的无功功率和视在功率	45
§ 20. 交流电路内的能量波动	47
§ 21. 功率三角形	53
§ 22. 等效参数及其实验测定	54
§ 23. 趋肤效应和涡流对于电路参数的影响	57
§ 24. 不完全电容器的参数	61
§ 25. 交流电路中各种装置的参数	62

第二章 交流电路的符号算法 64

§ 26. 符号法的基础	64
§ 27. 正弦函数、其和数、积分及导数的符号表示法	67
§ 28. 符号法在交流电路计算中的应用	69
§ 29. 复量阻抗与复量导纳	70
§ 30. 以符号式表示的欧姆定律和基尔霍夫定律	72
§ 31. 根据复量电压和复量电流求功率	74

第三章 有正弦过程时电路的计算	75
§ 32. 受电器串联时的电路计算	75
§ 33. 受电器并联时的电路计算	77
§ 34. 受电器混合联接时的电路计算	79
§ 35. 能量沿感性线路的传输	81
§ 36. 论复杂交流电路的计算	83
§ 37. 郎日万定理	85
§ 38. 有互感时的电路计算	86
§ 39. 无芯变压器	91
第四章 电路中的谐振	94
§ 40. 关于谐振的概念	94
§ 41. r 、 L 、 C 各段串联时电路内的谐振	94
§ 42. r 、 L 、 C 各段串联时电路的频率特性	97
§ 43. g 、 L 、 C 各段并联时电路内的谐振	100
§ 44. g 、 L 、 C 各段并联时电路的频率特性	103
§ 45. 复杂电路中的谐振	104
§ 46. 两个耦合的超电回路中的谐振	107
§ 47. 电路内谐振现象的实用意义	110
第五章 四极网络与链型网络	113
§ 48. 四极网络方程式	113
§ 49. 无源四极网络的等效电路	116
§ 50. 四极网络的空载与短路	118
§ 51. 对称四极网络的重复阻抗与传播常数	119
§ 52. 对称均匀链型网络	122
§ 53. 频率滤波器	124
§ 54. 最简单的滤波器的通频带范围	126
§ 55. T 形电抗环节的谐振曲线	130
§ 56. 电抗链型网络的谐振曲线	132
§ 57. 四极网络方程的不同书写形式	133
§ 58. 有源四极网络	135
第六章 直线图与圆图	133
§ 59. 轨迹法在交流电路研究工作中的应用	133
§ 60. 曲线的乘与除	138
§ 61. 曲线的反演	140
§ 62. 复数平面内的反演	143
§ 63. 能量输入功率因数恒定的受电器时的轨迹图	145
§ 64. 能量输入恒电纳受电器时的轨迹图	148

§ 65. 直线与圆周的复数方程式	150
§ 66. 四极网络的轨迹图	152
§ 67. 功率的图解法	154
§ 68. 效率的标尺	157
§ 69. 功率直线在能量沿感性线路传输的两种特殊情形下的繪制法	159
第七章 多相电路	161
§ 70. 关于多相系统与多相电路的概念	161
§ 71. 对称多相系统	162
§ 72. 平衡的与不平衡的多相系统	165
§ 73. 多相系统的联接法	167
§ 74. 电压与电流系统均为对称时的多相电路	168
§ 75. 三相系统中的星形与三角形联接	171
§ 76. 位形矢量图	173
§ 77. 没有互感时不对称三相电路的计算	174
§ 78. 脉动磁场	177
§ 79. 旋轉磁场	179
§ 80. 带堵住轉子的异步电机	181
§ 81. 带旋轉轉子的异步电机	182
§ 82. 对称多相系统概念的推广	183
§ 83. 三相系统的对称分量	185
§ 84. 对称分量滤波器	189
§ 85. 在对称三相电路中对称分量的独立性	192
§ 86. 对称分量法在短路电流计算中的应用	194
§ 87. 在一般不对称情况下的三相电路的功率	197
第八章 非正弦的周期性电动势、电压与电流	198
§ 88. 周期性函数之分解为傅立叶级数	198
§ 89. 非正弦电动势、电压与电流的有效值	204
§ 90. 有高次谐波时的有功功率	206
§ 91. 論电压为非正弦曲线时常参数电路的计算	208
§ 92. 常参数电路的特征对于电流曲线形状的影响	210
§ 93. 三相电路里的高次谐波	214
§ 94. 振荡节箱	216
§ 95. 振荡的調制	218
第九章 有鉄芯的感应线圈与变压器	221
§ 96. 有鉄芯的感应线圈	221
§ 97. 鉄芯中的損耗	221
§ 98. 磁滯对电流曲线与电压曲线形状的影响	224

§ 99. 等效正弦曲线及磁通与电流之间的关系	226
§ 100. 铁芯感应线圈的矢量图及等效电路	228
§ 101. 铜芯变压器	230
§ 102. 铜芯变压器的方程式	232
§ 103. 变压器各绕组化归同一匝数的换算	234
§ 104. 变压器的等效电路	235
§ 105. 铜芯变压器的矢量图	237
§ 106. 铜芯变压器的变换比率与效率之测定	240
§ 107. 自耦变压器	241
§ 108. 用变压器改变多相系统的相数	242
第十章 集中参数电路内的过渡过程	245
§ 109. 过渡过程分析的一般原理	245
§ 110. 在建立恒定电流时感性电路内的过渡过程	247
§ 111. 感性电路在正弦电压下的接通	254
§ 112. 电容性电路内建立恒定电压时的过渡过程	255
§ 113. 电容性电路在正弦电压下的接通	260
§ 114. 电容器的放电	262
§ 115. 具有电感和电容的电路在直流电压下的接通	272
§ 116. 具有电感和电容的电路在正弦电压下的接通	274
§ 117. 电路接在任何波形的电动势下的情形	281
§ 118. 关于运算术的概念	284
§ 119. 最简单函数的象函数	288
§ 120. 欧姆定律和基尔霍夫定律之推广	290
§ 121. 分解定理	295
§ 122. 傅立叶积分	298
§ 123. 已知的时间函数的谱特性之求取	304
§ 124. 傅立叶积分在过渡过程计算中的应用	308
§ 125. 传递函数	310
§ 126. 微分电路和积分电路	311
§ 127. 回授	314
§ 128. 关于电路合成的概念	317
第十一章 稳定状态下的均匀输电线	319
§ 129. 均匀输电线方程	319
§ 130. 均匀线方程在稳定的正弦状态下的解法	321
§ 131. 论用链型电路模拟均匀线	324
§ 132. 接通在特性阻抗上的均匀线	325
§ 133. 行波	326
§ 134. 均匀线的特性	329

§ 135. 无畸变綫	331
§ 136. 在各种不同运行状态下的均匀綫	332
§ 137. 无损耗綫	335
第十二章 均匀綫路中的过渡过程	340
§ 138. 无畸变均匀綫方程的通解	340
§ 139. 无畸变綫路里的波	343
§ 140. 論傳輸綫內波的起源和性质	344
§ 141. 两均匀綫联接处波的折射和反射	346
§ 142. 波从綫路終端的反射	348
§ 143. 均匀綫的接通过程	352
§ 144. 两均匀綫联接处有电抗时波的通过	355
§ 145. 两均匀綫联接处有电阻时波的通过	358
第十三章 非直綫律交流电路	361
§ 146. 非直綫律交流电路, 其参数和性能以及研究这种电路的方法	361
§ 147. 交流电路中的非直綫性电阻	363
§ 148. 由恒电压来源饋电的非直綫律电路中的穩定状态	365
§ 149. 关于由恒电压电源饋电的复杂非直綫律电路中运行情况 稳定性的一般见解	370
§ 150. 交流的整流	372
§ 151. 可控制的非直綫性元件。带控制电极的离子器件	374
§ 152. 可控制的非直綫性元件。三极电子管	375
§ 153. 可控制的非直綫性元件。半导体三极管	377
§ 154. 作为电路元件半导体三极管	380
§ 155. 用可控制的离子器件調整整流器并使直流变换成交流	384
§ 156. 电子管振荡器	387
§ 157. 借非直綫性元件之助来实现的調制和检波	390
§ 158. 张弛振荡	393
§ 159. 交流电路中的感应性的和电容性的非直綫性元件	395
§ 160. 含有鉄芯感应綫圈和电容器的非直綫律电路	397
§ 161. 鉄磁电压鎮定器	402
§ 162. 鉄磁諧振倍增器	404
§ 163. 鉄磁頻率三倍器	404
§ 164. 鉄磁頻率二倍器	406
§ 165. 鉄磁功率放大器	408
§ 166. 交流电路里的非直綫性电容器	410
第十四章 非直綫律电路中的过渡过程	414
§ 167. 非直綫律电路中过渡过程的計算法	414

§ 168. 鉄芯綫圈的短接	415
§ 169. 鉄芯綫圈在直流电压下的接通	421
§ 170. 鉄芯綫圈在正弦电压下的接通	426
§ 171. 过渡过程在相平面上的表象	428
§ 172. 繪制相軌迹和計算过渡过程的等傾綫法	434
§ 173. 电路的非直綫律性能在电工技术各部門中的实际应用	438
俄文下角一覽表	441

第一章

交流电路的基本特性与 电路里發生的現象

§ 1. 周期性的和正弦波形的电动势、电压和电流

在广义上讲，随時間变化的电动势、电压和电流称为**交变的电动势、电压和电流**。

讓我們規定称电动势、电压和电流在某一时刻 t 的值为电动势、电压和电流的**瞬时值**。这样一来，如以 e 、 u 和 i 代表电动势、电压和电流的瞬时值，我們就可以写出：

$$e = E(t), \quad u = U(t), \quad i = I(t).$$

在技术部門中最常用的是**周期性的电动势、电压和电流**，就是說其瞬时值在經過相等的時間后又重复的电动势、电压和电流，因此，对于这种电动势、电压和电流，公式

$$F(t) = F(t + kT)$$

是合理的，公式中 k 是一个任何整数，而 T 是一个恒定量，称为电动势、电压和电流的**周期**。它代表周期性的电动势、电压和电流值在重复时必须經過的最小時間間隔。周期的倒数称为电动势、电压或电流的**頻率**。用 f 代表頻率，我們有：

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

这样看来，頻率在数值上等于单位時間內的周期数。直流电动势、电压和电流可以看成是周期性电动势、电压和电流的一种特殊情况，它

們的变化周期是无限大而頻率等于零,也就是說 $T = \infty$, 而 $f = 0$ 。

頻率的量度单位等于每秒钟一个周期,称为赫茲(1 赫)^①。

电气工程中应用的頻率幅度是异常大的——从几十周到几十亿周。在动力設備中用的是低頻率,具体地說,傳輸与分布动力的标准頻率在苏联和欧洲用 50 周,在美国用 60 周^②。在电话通訊中用較高的頻率,約为几百到几千周,而在无线电設備中,所用頻率却高到几十亿周。

决定电动势或电流的变化規律的周期函数可能是很复杂的。但是,象大家所熟悉的,周期函数可以分解成傅立叶(Fourier)級数而把这个函数表示为級数各項之和。在一般情况下,傅立叶級数中包括:

- 1) 恒定成分,
- 2) 頻率与該周期函数的頻率相等的正弦函数,称为基本波或第一諧波,
- 3) 一連串其他正弦函数,其頻率整倍于該周期函数的頻率,这些函数称为高次諧波。

应该指出,交变电动势、电压和电流这些名称往往被理解成比上述的有更狹的意义,它們是用来指恒定成分等于零的周期性电动势、电压和电流的。

我們將先着手研究最簡單的交变电动势、电压和电流,它們是時間的正弦函数。对于正弦电动势和电流的研究之所以特別重視可以解釋如下:在技术实践中往往力图在电路中获得正弦电压和电流,因为,我們以后就要看到,高次諧波的出現在許多情形下会导致我們所不願有的現象——引起多余的能量損耗,为电路各段中发生过电压創造条件,使强大的輸电綫路对于邻近的通訊綫路的影响为之加大。因此,現代工业頻率发电机总是制造成使其电动势曲綫的形状很接近正弦曲綫。

① 按我国慣例簡称周——譯者。

② 我国所用标准頻率也是 50 周——譯者。

在这种情形下，我們以后可以看到，在常参数电路中电流曲线的形状也将是正弦的。在高频率技术中也同样广泛地利用正弦电压和电流。

周期性的电动势、电压和电流，其变化规律如能表示为下列函数

$$e = E_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_e\right); \quad u = U_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_u\right); \quad i = I_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \psi_i\right)$$

的，称为**正弦**电动势、电压和电流。在这些函数的右方，唯一的变量就是时间 t 。从正弦电动势、电压和电流的表达式中可以看出，它们的周期是 T ，而 e 、 u 和 i 的最大值分别为 E_m 、 U_m 和 I_m 。最后的三个值就称为电动势、电压和电流的**最大值**或**振幅**。从正弦量由负值通过零而转到正值的最近一点算起的正弦的幅角称为电动势、电压或电流的**相**，而确定电动势、电压和电流在 $t=0$ 时的值的 ψ_e 、 ψ_u 和 ψ_i 各量则称为电动势、电压和电流的**初相**。因为 $\frac{1}{T} = f$ ，所以，如以 ω 代表 $2\pi f$ ，则可以写出：

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

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

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

物理量 ω 等于 2π 乘频率 f ，称为交变电动势、电压或电流的**角频率**，并且与频率及周期有下列的关系：

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

图 1.2 与 3 表示了初相不同的正弦波电动势在笛卡儿坐标系内的曲线。在这种场合沿横轴标注时间 t 或与其成正比例的 ωt 值。从图 2 可以看出，如果初相是正值，正弦的始点就沿横轴移至坐标原点的左方。

在同时研究两个频率相同的正弦波函数时，它们的**相位差**，就是初相间的差，通常称为**相位移角**并且用 φ 代表。例如电压 $u =$

$= U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ 与电流 $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ 間的相位差, 就是电流曲线对电压曲线的相位移角为 $\varphi = \psi_u - \psi_i$ (图 4)。如果两个同频率的正弦波函数有同一初相, 那末我们称它们是**同相的**, 如果初相位差等于 $\pm\pi$, 那末它们是**反相的**, 如果初相位差是 $\pm\frac{\pi}{2}$, 那末我们说它们是**正交的**。

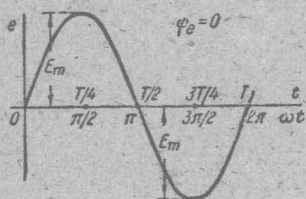


图 1.

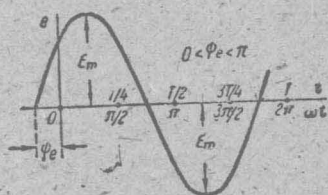


图 2.

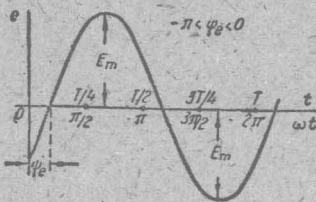


图 3.

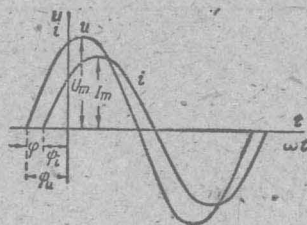


图 4.

§ 2. 交流电路里的物理现象

根据第一册中所给的定义, 构成电流路径的各种装置的集合, 其内部的电磁过程可以用电动势、电流和电压等概念来描述的, 我们称之为电路。

电路里连续的恒定电流^①只能是传导电流, 或者是徙动电流。电介质里的位移电流不可能是在任何长时期内恒定的, 因为电介质的电位移和极化强度不能无限增长而不破坏电介质的抗电强度。因此直流电路只能包括一些电流能以传导电流的形态在其中存在的装置, 例如

① 就是通常所谓直流——译者。

輸电綫路的导綫、电机的繞組、电解槽、原电池、蓄电池等等，或者电流能以徙动电流的形态在其中存在的装置，例如电子管。

交变电流，就是随時間变化的电流，即使在电介质內也能以位移电流的形态存在。因此，在交流电路里也能有电容器，它的极板是被电介质隔开的。当电容器端极上有交变电压时，在其金屬极板間就会产生交变电場，因而在隔开极板的电介质中就会发生位移电流。在交变电压之下，位移电流不仅发生于电容器中；也就是发生于專門为利用其电容而制造的装置中，并且也发生于包围任何交流电路元件的电介质中，因为在这些元件之間存在着交变电压，也就是存在着交变电場。举例說，如果輸电綫路的导綫間电压是随時間变化的，則导綫間的电介质里也会发生位移电流。由于这种关系，在綫路的不同地方綫路导綫中的交变电流将是不同的，因为沿整条綫路电流将从导綫中以位移电流的形态通过电介质分支出来。人們說，綫路导綫間的关系就象一个电容器那样，它們之間有了电容。上述一切对于交流电路中的任何装置都是合理的。举例說，当交变电流通过变阻器时就会出现交变电压降，就是說，在变阻器的金屬絲內以及包围它的电介质內就发生了交变电場。因此，变阻器金屬絲各段之間会有位移电流通过，由于这种关系，在原則上說来变阻器的不同地方会有不同值的电流。人們說，变阻器各段之間有了电容。

如果沿感应綫圈有交变电流通过，那末，在綫圈各匝內将感应起交变电动势。在綫圈端极上以及各匝之間将有交变电压出現，也就是有交变电場出現，这就使綫圈各匝間的电介质內出現位移电流。严格地說来，在这种情形下沿綫圈不同地方也会有不同值的电流。人們說，綫圈各匝間有电容存在。

总之，在交变电压下位移电流和电容是沿整个电路分布的。

关于电路的电感我們也可說同样的話。沒有一段电路能在电流流过时免于为磁通所包围。因此，在交变电流的情况下在每一段电路里

会感应自感电动势和互感电动势。人們說,电路的每一段、每一元件都具有电感。不光是綫圈有电感,綫路的导綫、变阻器以及交流电路的任何元件都具有电感。在原則上說来,甚至电容器也有电感,虽然是很微小的电感。

在交变电流的情况下,电磁能量的消耗和轉变成热能的过程也同样是在电路的所有元件中进行的。不仅是变阻器,就是感应綫圈和輸电綫路的导綫,以及电路的其他元件,都具有不等于零的电阻,因而当电流流过它們时就会消耗电磁能而分散出热能。如果綫圈有一个鉄磁材料制成的芯子,那末,除了綫圈中的能量損耗之外,还有鉄芯里的磁滯損耗和渦流損耗。在电容器中,在交变电压之下会有电介质中的損耗。在电子管中,阳极上会发生热能,因为在电場中取得了加速的电子在阳极上失去了速度。在离子管中,电磁能不仅在电极上,并且在电极間の間隙中也会轉变成热能。

用某段电路的电阻来表征該段电路中某元件在通过电流时消耗电磁能的本領,按照上述我們应当肯定,电阻是沿整个电路分布的。

在电路的个别段中,电磁能不仅会轉变成热能,还可能轉变成其他形态的能量,例如电磁能在蓄电池充电时就变换成蓄电池中的化学能,在电动机中变换成机械功等等。但是这种变换不一定在电路的所有元件中进行。

电路中发生的功能过程,对于我們來說,当然是有特殊意义的,因为創造电路主要就是为了傳輸和变换能量。即使建立电路的直接目的不是为了要通过它来傳輸电磁能,而是为了控制或調节某些其他装置中的过程,那末,即使在这种情况下,这个电路的动作也总是伴随着电磁能在其中傳輸和变换的过程。在研究交流电路中的功能过程时,我們必須特別注意,电場和磁場是某一定量的能的携带者。在交变电流和交变电压的情况下,这两个場是随時間变化的。当場加强时,場中能的貯积量增加了,当場减弱时,这一能量貯积就要减少,轉变成其他

形态的能或返还給在电路中作用的能源。

我們在本书第三册末尾在研究交变电磁場时将要看到, 当电路中的电流和电压迅速变化时, 一般說来总会发生电磁場及其固有的能量輻射。但是在普通电路中, 在电流和电压的頻率是比較低的情形下, 能量輻射是可以忽略不計的。

最后, 我們还应当注意一个在第一册中就曾指出过的很重要的情况, 那就是: 交流电路的任何两点 A 和 B 之間的电压是与决定电压时所选的这两点間的路徑有关的。的确, 我們有:

$$u_{AB} = \int_B^A \mathbf{E} d\mathbf{l}.$$

但是两个不同的路徑, 例如路徑 AmB 和路徑 AnB , 会組成一个閉合回路 $AmBnA$, 而存在于所研究的电路附近的交变磁通 Φ , 是与这个回路交鏈的。变化的磁通 Φ 在回路 $AmBnA$ 內感生电动势。因此,

$$\begin{aligned} u_{AmB} - u_{AnB} &= \int_{AmB} \mathbf{E} d\mathbf{l} - \int_{AnB} \mathbf{E} d\mathbf{l} = \int_{AmB} \mathbf{E} d\mathbf{l} + \int_{BnA} \mathbf{E} d\mathbf{l} = \\ &= \oint_{AmBnA} \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \frac{d\Phi}{dt} \neq 0, \end{aligned}$$

也就是說,

$$u_{AmB} \neq u_{AnB}.$$

这样看来, 如果是完全严格的話, 我們就不能在交流的情况下把电路某两点間的电压, 其中包括电路端极上的电压, 說成是某一完全确定的量, 应当說明这一电压是沿两点間哪一条路徑的。

上述一切都說明交流电路中发生的物理过程是极其复杂的。

§ 3. 应用于交流电路理論中的科学抽象, 其实际意义及应用范围

交流电路中发生的物理过程, 其全部复杂性并不是在一切情形下

都需要加予考虑的。与此相反，在大多数情形下能容許許多假定，使問題大大簡化，而且并不造成脱离实际情况的显著偏差。

电场和磁场沿电路均匀分布的现象只有在比較少的情形下会观察到，例如在用来傳輸能量的长途輸电綫上。更常見的情形是磁场和电场沿电路不均匀地分布。在电路的某几段內，例如在电容器內，电场占着优势，以致与电场有关的现象显得突出；在电路的另外几段內，例如在感应綫圈內，磁场占着优势，因而由于磁场变化而发生的现象就成为主要的现象。

与上述完全相同，电磁能轉成热能的变换也往往基本上集中在一段或若干段电路中。

拿变阻器作为一个例子来看看。除了电阻 r 之外，它还有一些电容存在于各綫匝之間和一些电感。但是，如果交变电流的頻率不高，或者一般說，电流按任何規律变化得相当慢，那末从各綫段中分支出来的电介质內的位移电流与綫內傳导电流相比，就小得微不足道了。在这种情形下这些位移电流可以忽略不計，这就等于說，变阻器各綫段間的电容 C 算作等于零。与此完全相同的是当电流頻率很低时，或者一般說，当它变化得相当慢时，变阻器中的自感电动势与它的电阻內的电压降相比就可以略去不計，这就等于把变阻器的电感 L 算作零。換句話說，脱离了现象的真正复杂图景而加以抽象化，我們可以假定变阻器只具有 $r \neq 0$ 的电阻，而其电感和电容則是 $L=0$ 和 $C=0$ 。应当指出，这样一段电路也可用其电导 $g = \frac{1}{r}$ 来表征。

我們再拿电容器作为另一个重要的例子来看看。一直到很高的頻率我們可以忽視电容器的电感 L 而仅考虑它的电容 C 。如果在电路里有变阻器和电容器，而消耗在变阻器里的能量比損失于电容器里的能量大得多，那末作为初步估計，后者可以略去或者甚至在作計算时适当地改变一下变阻器的电阻来把电容器中的損耗考虑进去。在作这样的抽象化时，我們假定电容器具有电容 $C \neq 0$ ，但是它的 $L=0$ 和