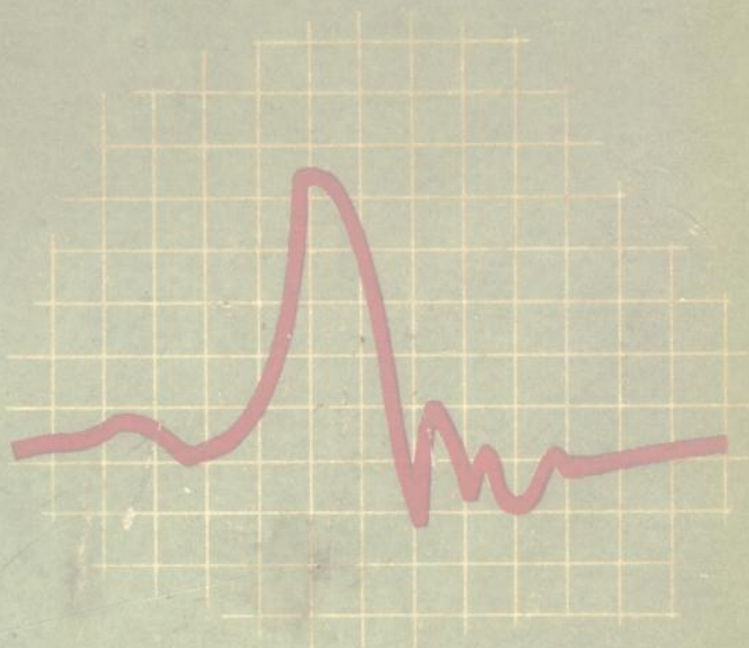




J. 密尔曼 H. 塔伯

脉冲与数字电路

科学出版社

脉冲与数字电路

J. 密尔曼 H. 塔伯 著

楊龙生 柴振明 蔡德孚 譯

顧德仁 楊龙生 校

科学出版社

1963.5.14
1963

J. MILLMAN, H. TAUB
PULSE AND DIGITAL CIRCUITS

McGraw-Hill Book Company

1956

內 容 簡 介

本书根据 J. 密尔曼和 H. 塔伯所著“脉冲与数字电路”，并参阅了该书的俄译本译成。全书共分十八章，比较全面和系统地讲述脉冲和数字计算技术中所用的基本电路的原理。叙述方法着重于物理过程的阐明和分析，但也结合工程中常遇到的具体问题，给出设计中便于应用的结果和一些实例。还简单介绍了典型的系统，作为脉冲和数字电路应用的例子。最后一章中叙述了晶体管的基本原理及其在脉冲和数字电路中的应用。书中还附有大量的习题。

本书适合无线电电子学、计算技术等专业的学生和研究生学习之用。也可供从事有关近代电子技术的研究人员和工程技术人员阅读。

脉 冲 与 数 字 电 路

J. 密 尔 曼、H. 塔 伯 著

楊龙生、柴振明、蔡德孚 译

顧 德 仁 楊 龙 生 校

*

科 学 出 版 社 出 版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1963 年 5 月第 一 版

书号：2718 字数：667,000

1963 年 5 月第一次印刷

开本：787×1092 1/18

(京) 0001—4,550

印张：28 5/9 插頁：3

定价：4.50 元

· · · · ·

序 言

在許多电机工程課程中,讲授电子学的原始目的是为学生准备一个基础,以备理解无綫电通訊。可是,特别是近十年来,开拓了很多其他同等重要的領域,亦需要电子学綫路知識,但与无綫电系統中所用电路常截然不同。这些新領域包括雷达,电视,模拟式和数字式计算机,控制系統,数据处理系統,核子工程,脉冲通訊,遙測和仪器設備(物理的、生物的、医学的、机械的、心理的等等)。

在无綫电工程中所遇到的波形主要是正弦波。而在新領域中,所遇到的波形种类則較多,包括窄脉冲(微秒的或毫微秒的),寬脉冲(毫秒或秒的),方形波,扫描用电压和电流波形等。在无綫电工程中,主要的訊号源是正弦波訊号发生器。而在新型的电設備中,訊号源还包括象多諧振蕩器,扫描发生器,以及間歇振蕩器之类电路。在无綫电工程中,需要电路来完成放大,調制和检波等作用。而在較新發展的領域中,还需要完成其他很多作用的电路。其中有:改变波形(削波)电路,变换波形的直流电位(箝位)的电路,决定两个波形間发生电压等值(幅度比較)的电路,指示波形中出現某个特殊部分的时间(時間比較)的电路等等。所有这些新电路的作用,都是基于非綫性电路元件的利用。因而二极管,真空管和晶体管的非綫特性,在新領域中比在无綫电工程中关系更大。在无綫电系統中,无源和有源(放大器)的綫性傳輸网络所需的頻帶寬度很少超过几百千赫。在新領域中,綫性脉冲(或視頻)放大器和寬頻帶傳輸网络,不論是集总或是分布参数式的,都要有頻寬展开从零到数十兆赫的范围。最后,我們可以指出,在較新領域中已經發展了一种在无綫电工程中沒有相应部分的重要技术,即所謂数字技术(digital technique)。这种技术是基于应用电子管、晶体管和磁芯来作为开关,工作时它們或者是接通或者是开断,而从不停留在中間的状态。

本书的目的是描述和分析在电机工程的新領域中时常要用到的电路和技术。这里要強調指出,本书不打算作为关于某一专题(例如数字式计算机,电视,雷达等等)的书籍,而在这里所叙述的电路和技术是作为了解許多不同专门領域的基础。(作者希望本书书名的选择能对其內容給出一些提示。别的作者采用了这些名字,象“特种电路”,“波形”,“新型电子綫路”,“重复瞬变过程”,“脉冲技术”,“定时电路”等等。)

作者认为,电机工程的現代教程至少应包括电子学方面的三門(最好是四門)課程。課程的順序应当从物理电子学开始,再学現在可以称之为經典电路(或无綫电电路)这一課程,最后以脉冲和数字电路学为結束。本书是准备作为这样的大学課程中的脉冲和数字电路学的課本。

脉冲和数字技术这个题目已經具备了这样的重要性,因而把它安排作为两学期,对于研究生的讲授是肯定合适的。本书中具有适宜于这样一門研究生的課程所需的

材料。

在过去八年中,作者已在他們所講授的班級中利用了本书(不断修正的講稿)中的几乎全部材料。本书材料的組織經過慎重的考虑作了如下安排。首先,分析綫性网络(包括有源和无源的)对脉冲电路中常遇到的波形的响应。再叙述电子管和半导体器件的基本的非綫性,并研究这些非綫特性对波形传输的作用。然后詳細分析波形产生电路和其他基本的电路单元。最后,把讀者这时已經熟悉的基本电路組成脉冲和数字系統。每一个章的組織方式,是把需要完成一个基本作用的电路和技术組合起来、联系起来,并加以分析。

作者所采用的叙述方法是在物理基础上分析电路,使对电路性質有清晰的了解和直观的感觉。必要时应用数学(通过微分方程)分析,但这只是在数学的物理动机經過討論之后才进行。因为本书是为电子学而不是为微分方程的課程,作者认为略去求解的某些数学的細節是恰当的。在大多数情形中,对特征方程的根(轉移函数的极点)作了詳細的檢驗,因为这对于了解鉴别响应的性質有很大帮助。然后再写出解的解析式,画出其响应,并研究其物理意义。本书假定讀者对于常系数綫性微分方程的解法(古典法或拉普拉斯变换法)已很熟悉。

本书主要着重于使对脉冲与数字电路有深入的理論上的了解。同时作者也包括了相当多的实用上的細節,以使在實驗室中也有所裨益。

本书中有很多說明例題都詳盡地解出。书末附有大量的习题(四百多个,譯后习题改列于各章后——譯者)。其中一部分是理論性質的,少数习题給学生練習求解本书中所建立的微分方程,而有很多习题闡明实用的电路和系統。在所有的情况下,参数的数量級都是結合实际而选择的,这样讀者可以学到应用工程师所应具有的一些知識。在部分习题的求解中所需要的电子管特性包括在附录中。

可以預期,晶体管在脉冲和数字电路中的重要性将与日俱增。第十八章的目的是讲述以晶体管作为基本元件的电路。本章包括了足够的半导体物理,以使讀者对于晶体管的性質及其限制有所了解。因此,讀者在学习第十八章之前可不必參閱其他的資料。本章着重于晶体管在脉冲和数字电路中作为开关的应用。

在本书的准备中得到了各方面的协作,作者謹在此致謝。以下各公司供給了零件特性,仪器說明书等等資料:貝尔電話實驗室(Bell Telephone Laboratories),倍克曼仪器公司柏克萊部(Berkeley Division of Beckman Instruments, Inc.), A. B. 寶蒙特實驗室(A. B. Du Mont Laboratories, Inc.), 通用电气公司(General Electric Company), 休兰特-派卡德公司(Hewlett Packard Company), 帕特仪器公司(Potter Instrument Company), 雪尔凡尼亚电气公司(Sylvania Electric Corporation), 得克特朗涅克斯公司(Tektronix) 和電訊仪表公司(Tel-Instrument Company)等。我們感謝以下各單位的朋友們和同事們技術上的討論:哥伦比亚大学(Columbia University), 紐約市学院(The City College of New York), 哥伦比亚大学电子学研究實驗室, 和電訊仪表公司。麻省理工学院輻射實驗室丛书(The Massachusetts Institute of Technology Radiation Laboratory Series) 有关雷达的各卷也是許多有用資料的来源。

我們衷心地感謝以下各位人士的帮助: E. Brenner 和 G. J. Clemens 教授, 以及 L. B. Lambert, R. Laupheimer 和 D. L. Schacher 閱讀了本书手稿的大部分并給予許多有价值的建議。S. Amarel 博士供給許多关于比較器方面的資料, J. W. Easley 博士和 J. L. Moll 博士供給关于晶体管方面的資料, G. F. Bland 供給海軍軍械研究所計算机 (NORC) 的資料, L. Packer 供給了某些計算电路的資料, 以及 R. P. Vogel 供給关于傳輸門方面的資料。H. J. Bickel, A. V. Mitchell 和 R. P. Vogel 建議了一部分习題。G. E. Kaufer 协助进行部分整理工作。J. Psygoda 女士作了很多数字的計算。我們特別希望表示对紐約市学院电机系秘书 S. Silverstein 女士的謝意, 她对稿件的准备工作給了莫大的帮助。

我們还感謝以下各位协助校对工作: E. Brenner 教授, J. H. Bose, E. Cohen 和 F. C. Schwarz.

J. 密尔曼 (Millman)

H. 塔 伯 (Taub)

2K565/35

2K565/35

目 录

序言	xi
第一章 放大器电路复习	1
1-1. 电子管的等效电路	1
1-2. 放大器中的电压反馈	3
1-3. 放大器中的电流反馈	4
1-4. 电流反馈和电压反馈的例子	5
1-5. 反馈放大器的几个特性	6
1-6. 阴极输出器	8
1-7. 阴极输出器的图解分析	10
1-8. 实用阴极输出器电路	12
1-9. 阴极输出器的特性和用途	13
1-10. 阴极输出器式的电路	13
1-11. 运算放大器	17
1-12. 运算放大器中的虚地原理	18
1-13. 运算放大器的基本应用	19
第二章 线性波形变换	25
2-1. 高通 RC 电路	25
2-2. 高通 RC 电路作为微分器	31
2-3. 二次微分	33
2-4. 低通 RC 电路	34
2-5. 低通 RC 电路用作积分器	39
2-6. RL 电路	39
2-7. RLC 电路	41
2-8. 振铃电路	44
第三章 线性脉冲放大器	51
3-1. RC 耦合放大级	51
3-2. 放大器稳态分析	51
3-3. RC 耦合放大级的幅度和时延响应	52
3-4. 放大器对单位阶跃电压的响应	55
3-5. RC 耦合放大级的瞬变响应	56
3-6. 并联补偿改进上升时间响应	57
3-7. 上升时间进一步补偿的方法	61
3-8. 串联 RC 耦合放大器的上升时间响应	62
3-9. 具有超量的放大器串联时的上升时间响应	64
3-10. 衰减器	64

06331

3-11. 在阴极电路中的上升时间补偿	67
3-12. 阴极输出器的高频性能	70
3-13. 低频补偿	73
3-14. 阴极旁路电容对低频响应的影响	76
3-15. 帘栅旁路电容对低频响应的影响	77
3-16. 串级放大器的平顶响应	78
3-17. 单端推挽放大器	80
3-18. 阴极界面层电阻	82
第四章 非线性波形变换	88
4-1. 二极管特性	88
4-2. 三极管特性	89
4-3. 削波或限幅电路	92
4-4. 幅度选择器中阴极温度变化的补偿	97
4-5. 箝位电路	98
4-6. 同步箝位	103
4-7. 电子管用作开关	105
4-8. 过激励二极 RC 耦合放大器	110
4-9. 接有电容性负荷的阴极输出器	112
第五章 双稳态多谐振荡器	119
5-1. 双稳器的稳态	119
5-2. 自偏压双稳器	122
5-3. 转换电容	123
5-4. 双稳态电路内的再生现象	124
5-5. 双稳态电路的分辨时间	126
5-6. 改进分辨力的方法	128
5-7. 双稳态电路的触发	130
5-8. 经触发管的非对称触发	132
5-9. 对称触发	134
5-10. 阴极耦合双稳器	136
5-11. 阴极耦合双稳器的滞后现象	139
5-12. 阴极界面层电阻对双稳器的影响	141
第六章 单稳态与自激态多谐振荡器	144
6-1. 板极耦合的单稳态多谐振荡器——稳定状态	144
6-2. 似稳状态	145
6-3. 板极耦合多谐振荡器的波形	147
6-4. 电子管电流 I_1 对波形的影响	150
6-5. 单稳态多谐振荡器中的恢复时间	151
6-6. 阴极耦合单稳态多谐振荡器的波形	153
6-7. 阴极耦合多谐振荡器中的超量	155
6-8. 阴极耦合多谐振荡器时延的直线性	157

6-9. E 对波形的影响	158
6-10. 单稳态多諧振荡器的触发	159
6-11. 单稳态电路調整至自激工作	160
6-12. 自激态板极耦合多諧振荡器	161
第七章 电压扫描发生器	167
7-1. 扫描波形的一般特性	167
7-2. 閘流管扫描电路	168
7-3. 电子管扫描电路	171
7-4. 改进扫描綫性度的电路	175
7-5. 密勒扫描电路	178
7-6. 用抑制栅开关的五极管密勒扫描电路	180
7-7. 幻象电路	182
7-8. 自举扫描电路	186
7-9. 改善綫性度的其他方法	188
第八章 电流扫描发生器	196
8-1. 扫描发生器的波形	196
8-2. 电流发生器中缺少脉冲分量的影响	197
8-3. 电流激励器	199
8-4. 改善綫性度的方法	202
8-5. 电流扫描电路举例	204
8-6. 电视水平扫描电路	205
第九章 脉冲变压器及間歇振荡器	212
9-1. 等效电路	212
9-2. 变压器的电感参数	215
9-3. 变压器的电容	217
9-4. 杯形鉄淦氧磁芯变压器	219
9-5. 变压器的上升時間响应	220
9-6. 脉冲的平頂	222
9-7. 变压器的下降時間响应	223
9-8. 脉冲变压器設計考虑	226
9-9. 間歇振荡器	226
9-10. 間歇振荡器的上升時間	228
9-11. 間歇振荡器脉冲幅度	230
9-12. 間歇振荡器脉冲寬度	231
9-13. 間歇振荡器的回摆	232
9-14. 間歇振荡器的周期	233
9-15. 間歇振荡器的輸出阻抗	234
9-16. 間歇振荡器的輸出端	234
9-17. 单稳态間歇振荡器	235
9-18. 間歇振荡器的应用	235

第十章 电磁时延綫·····	240
10-1. 分布参数綫·····	240
10-2. 集总参数时延綫·····	243
10-3. 传输綫上的反射·····	249
10-4. 由时延綫控制的間歇振荡器·····	254
10-5. 脉冲編碼电路·····	256
10-6. 脉冲譯碼电路·····	257
10-7. 分布式放大器·····	261
10-8. 分布式放大器的級連·····	263
10-9. 分布放大器中的实际考虑·····	265
第十一章 計数·····	271
11-1. 作为分頻器的二进位鏈·····	271
11-2. 二进位器作为計数器·····	272
11-3. 基数不同于2的計数·····	274
11-4. 改善在具有反饋的二进位鏈中的分辨能力·····	275
11-5. 十进位計数器的另外型式·····	276
11-6. 可反向的二进制計数器·····	280
11-7. 一种特殊的充气計数管·····	280
11-8. 眞空式計数管·····	283
11-9. 环式計数器·····	285
11-10. 計数器的应用·····	287
11-11. 儲存式計数器·····	288
11-12. 儲存計数器的綫性化·····	291
11-13. 儲存計数器的应用·····	292
第十二章 同步与分頻·····	298
12-1. 张弛电路的脉冲同步·····	298
12-2. 閘流管扫描的分頻·····	300
12-3. 其它自激张弛电路·····	301
12-4. 单稳态张弛电路作为分頻器·····	304
12-5. 张弛分頻器的稳定性·····	305
12-6. 用諧振电路稳定的分頻器·····	307
12-7. 用正弦訊号同步閘流管扫描·····	311
12-8. 用閘流管扫描电路来作正弦波分頻·····	313
12-9. 其它张弛电路的正弦波同步·····	315
12-10. 一个采用再生和調制的正弦波分頻器·····	317
12-11. 鎖定振荡器作为分頻器·····	319
12-12. 正弦振荡器用脉冲同步·····	320
第十三章 电子計算机电路·····	327
13-1. 数字計算机的一些特征·····	327
13-2. “或”电路·····	328

13-3.	“与”电路	331
13-4.	“非”电路	333
13-5.	“禁止”电路	334
13-6.	开关电路的一个实例	335
13-7.	“与”电路用于脉冲整形	338
13-8.	再生展寬	339
13-9.	“异”电路	340
13-10.	寄存器	340
13-11.	动态寄存器	342
13-12.	动态二进位器	343
13-13.	哈文斯时延电路	344
13-14.	二进位加法	346
13-15.	代碼操作的多位开关	348
13-16.	磁芯二进位元件	350
13-17.	二进位磁芯元件的应用	351
第十四章	传输电子門	359
14-1.	电子門的基本工作原理	359
14-2.	二极管单向电子門	360
14-3.	二极管单向电子門的应用	361
14-4.	二极管单向电子門的其它型式	362
14-5.	采用多极电子管的双向电子門	363
14-6.	門电路中台阶的降低	364
14-7.	二极管双向电子門	365
14-8.	二极管双向电子門中的平衡条件	367
14-9.	訊号輸入阻抗及訊号接入	368
14-10.	电路电容的影响,举例	369
14-11.	四个二极管組成的电子門	370
14-12.	六个二极管組成的电子門	371
14-13.	同步箝位器	373
14-14.	同步箝位器的工作	374
14-15.	同步箝位器中的平衡条件	376
14-16.	电子門或箝位电路的其它型式	377
第十五章	电压比較电路	383
15-1.	电压比較器的应用	383
15-2.	比較电路的分类	384
15-3.	由二极管与非正反饋放大器串联組成的比較电路	384
15-4.	影响比較器工作的因素	387
15-5.	电子管工作于截止状态	388
15-6.	再生式比較电路	390
15-7.	变压器反饋的比較电路	390

15-8. 間歇振蕩器比較电路	394
15-9. 交流耦合多諧振蕩器作为比較电路	394
15-10. 直流阴极耦合多諧振蕩器比較电路	395
15-11. 充气管比較电路作为开关元件	396
15-12. 用正弦电压的比較电路	397
15-13. 比較器用的前置放大电路	399
第十六章 時間調制与測量	406
16-1. 时基調制系統	406
16-2. 自举电路与密勒氏时基产生器的比較	407
16-3. 模拟量——数字变换器	410
16-4. 相位調制系統	412
16-5. 移相装置及移相电路	413
16-6. 多标度調制器	415
16-7. 时延綫調制	417
16-8. 脉冲正弦振蕩器	419
16-9. 外同步的双标度時間調制系統	420
16-10. 時間測量	421
第十七章 脉冲和数字系統	427
17-1. 电视发送的基本原理	427
17-2. 隔行扫描	428
17-3. 复合电视訊号	430
17-4. 同步訊号	430
17-5. 訊号在接收机內的分离	434
17-6. 同步訊号发生器	435
17-7. 复合电视訊号的合成	439
17-8. 电视訊道的頻帶寬度要求	440
17-9. 雷达系統的各基本单元	441
17-10. A型和R型指示器	441
17-11. 平面位置指示器	442
17-12. 分解扫描	443
17-13. 其他程式的显示装置	445
17-14. 显示图上的电子标志	447
第十八章 晶体管及其在脉冲和数字电路中的应用	452
18-1. 半导体	452
18-2. 施主杂质和受主杂质	453
18-3. 漂移和扩散	454
18-4. $p-n$ 結	455
18-5. 結型晶体管	457
18-6. 晶体管的特性——基极接地运用	459
18-7. 发射极接地运用	461

18-8. 集电极接地运用.....	463
18-9. 晶体管与电子管的比拟.....	463
18-10. 在晶体管开关电路中的电压和电流的限制.....	465
18-11. 晶体管的綫性等效电路.....	466
18-12. 晶体管用作小訊号放大器.....	468
18-13. 晶体管放大器各种接法的比較.....	470
18-14. 晶体管的高频等效电路.....	472
18-15. 晶体管的瞬变响应.....	475
18-16. 集电极电容的影响.....	476
18-17. 晶体管中的延迟时间.....	478
18-18. 晶体管中的儲存时间.....	478
18-19. 晶体管开关的整个响应.....	479
18-20. 晶体管特性的解析表示.....	481
18-21. 截止和饱和区域的直流状态.....	483
18-22. 晶体管双稳态电路.....	485
18-23. 直接耦合双稳态电路.....	487
18-24. 晶体管单稳和自激多諧振蕩器.....	488
18-25. 間歇振蕩器.....	490
18-26. 邏輯电路.....	491
附录: 电子管特性曲綫.....	497

第一章 放大器电路复习

在电子学的很多部门中,广泛地应用电压和电流反馈电路,在脉冲设备中也同样地经常用到。在本书中常遇到的这些电路是阴极输出器,倒相电路,差量放大器和运算放大器。因此,我们将主要复习负反馈原理,并推导其等效电路以给出一个确切的物理概念。最后,用这种方法来分析最常见于脉冲技术中的电路。

1-1. 电子管的等效电路^[1]

在线性运用范围内,图 1-1a 的电子管可用图 1-1b 的等效电路来代表。符号 e_{gk} 代表电子管栅极、阴极间的电压降, r_p 为电子管板阻。分析电子管电路时,可把每个电子管用其等效电路来代替,并略去只对静态有影响的直流偏压电路*。用等效电路替代电子管后所得的网络,可用分析一般线性电路的方法来处理。

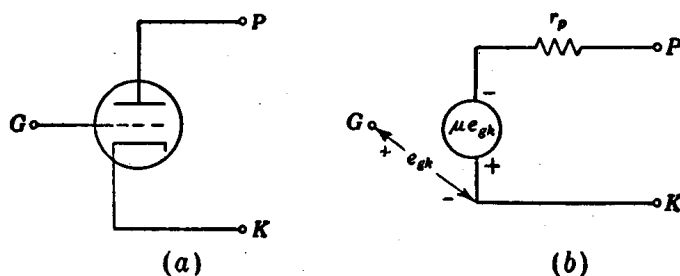


图1-1. 线性运用的三极管的等效电路

例: 图 1-2a 所示三极管,其板阻为 r_p , 放大系数为 μ , 外加电压为 e_g , 输出电压为 e_o 。求其对所选定输出端的等效电路。

解: 电子管用其等效电路代替后如图 1-2b。电流 i 必需满足下式:

$$\mu e_{gk} = i(r_p + R_L + R_k).$$

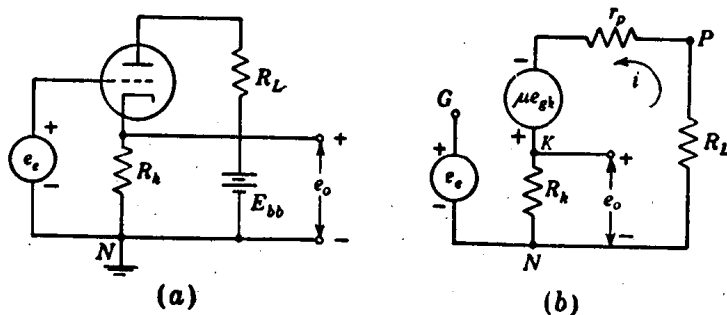


图 1-2. 应用图 1-1b 等效电路的一例

* 本章内(除了 1-7 节)电压电流符号均代表相对于静态值的变化。

从 G 至 K 点的电压降为

$$e_{gk} = e_o - iR_k,$$

消去 e_{gk} , 并解出 $e_o = iR_k$, 得:

$$e_o = \frac{\mu}{\mu + 1} e_e \frac{R_k}{R_k + R_1}.$$

其中 $R_1 = (R_L + r_p) / (\mu + 1)$.

最后的方程表明, 输出电压可从图 1-3a 所示等效电路来计算.

戴维南定理 (Thévenin's theorem) 阐述了: 任何线性二端网络可用等于二端之间的开路电压的发生器串联一个等效输出阻抗来代替. 此输出阻抗等于网络中各能源只用其内阻抗来代替后, 在二输出端所呈现的阻抗. 例如图 1-3a 的输出阻抗 R 等于 R_1 和 R_k 的并联, 而等效发生器的电势为

$$e_T = \frac{\mu e_e}{\mu + 1} \cdot \frac{R_k}{R_k + R_1}.$$

这样, 图 1-3a 的戴维南等效电路如图 1-3b 所示. 从图 1-3b 可以看出, 在输出端跨接负荷 R' , 将有电流 i_L 流动 [其值等于 $e_T / (R + R')$]. 输出阻抗决定了输出电压 $e_o = i_L R'$ 受外部负荷影响的程度. 输出电压也可写为 $e_o = e_T - i_L R$.

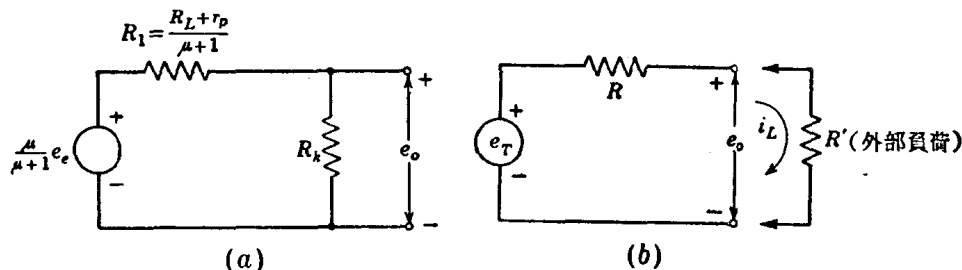


图 1-3. 图 1-2 电路的等效网络. 等效发生器 e_T 和输出阻抗 R 的定义如文中所述.

图 1-4a 示一放大器的等效电路. 输入端标以 1 及 2, 输入电压为 e . 输出端标以 3 及 4. 外部负荷为 R' , 输出阻抗为 R . 由于开路输出电压 (放大器未跨接外部负荷时) 等于放大器的增益 A 乘外部电压, 故戴维南等效发生器为 Ae , 如图示.

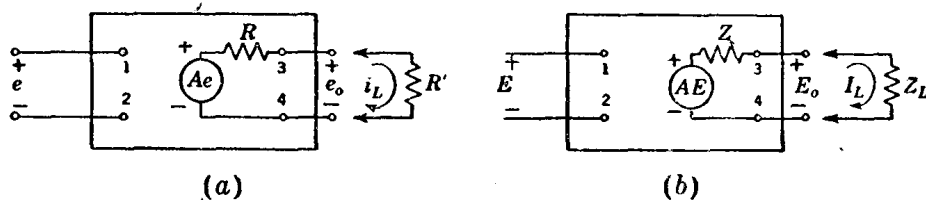


图 1-4. 放大器的戴维南等效电路 (a) 放大器接有电阻元件
(b) 放大器接有电抗元件

在图 1-4a 中, 假设电路仅包括电阻元件. 如果有电抗元件存在, 电路可一般化如图 1-4b. 大写字母这里用作表示复量 (相量), 电阻 R 用复数阻抗 Z 代替. 得输出电压

$$E_o = AE - I_L Z. \quad (1-1)$$

式中 Z 是輸出阻抗, A 是放大器增益(无負荷时), Z_L 是負荷阻抗. 此式可用以表明一个特定电路的 A 和 Z . 例如求得某一放大器的輸出电压随負荷电流綫性地变化, 如(1-1)式所表示, 則与外加电压 E 相乘的系数即为增益, 和負荷电流 I_L 相乘的系数即为輸出阻抗.

1-2. 放大器中的电压反饋

反饋放大器可定义为: 放大器的輸入訊号一部分取自外加电源, 一部分取自放大器的輸出. 任何放大器, 不論其是否包含有反饋, 都可用 1-1 节所述的方法来分析. 然而在引入反饋时, 把放大器本身和引入反饋网络后作分別处理, 可更有助于認識反饋对放大器性能的影响. 由于放大器对輸出端而言, 其性能可用增益和輸出阻抗来表明, 下面我們就采用这个方法, 研究某一定的反饋联接所引起的放大器这二个特性的变化.

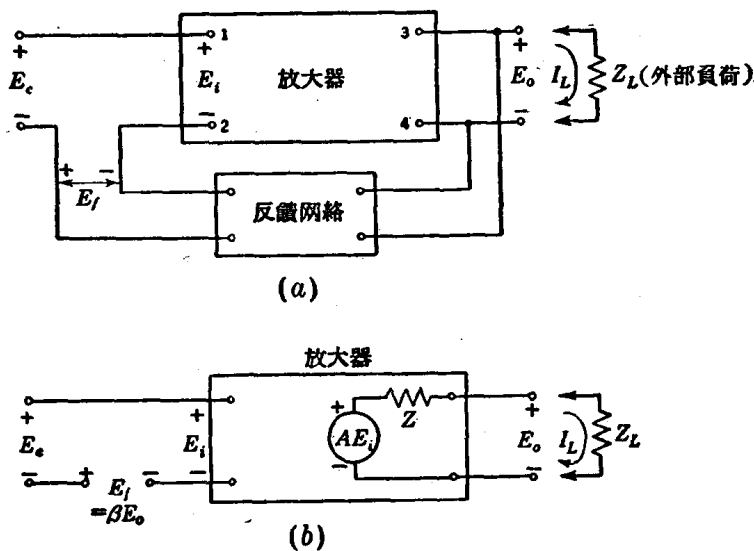


图 1-5. (a) 电压反饋放大器的方框图. 反饋系数 β 定义为 $\beta \equiv E_f/E_o$, 此处 $E_f = E_i - E_e$. (b) 等效电路

考虑图 1-5a 的反饋接法. 放大器輸入端訊号是外加电压 E_e 及反饋电压 $E_f = \beta E_o$ 之和. 反饋电压由决定于反饋网络的系数 β 与輸出电压相关联. 反饋网络可为有源或无源的, β 一般可为复量. 关于所有訊号极性的习用記法如图, 此习惯以后将一致地采用.

以 A 表示放大器輸入和輸出端之間当負荷 Z_L 移去时的前向无反饋增益(开环增益). 可用这样的运用程序来定义 A : 移去 E_e , 直接加电压 E_i 至 1—2 二端, 則增益 $A \equiv E_o/E_i$.

放大器的无反饋輸出阻抗 Z 的定义如下: 移去 E_e , 将 1—2 二端短路, 此时从 3—4 二端看进去的阻抗即为 Z . 注意在 A 及 Z 的定义中已把反饋网络阻抗的負荷效应考虑进去.

图 1-5a 的戴维南等效电路见图 1-5b。电压反饋的特征是反饋电压 E_f 与输出电压 E_o 相关, 决定于式 $E_f = \beta E_o$, 其中 β 与外部負荷 Z_L 无关, 可写出

$$E_o = AE_i - I_L Z \quad \text{及} \quad E_i = E_e + \beta E_o.$$

从这二式中消去 E_i , 得:

$$E_o = \frac{A}{1 - A\beta} E_e - \frac{Z}{1 - A\beta} I_L. \quad (1-2)$$

上式具有式(1-1)的形式, 由此可推出有反饋时的增益 A_f (閉环增益) 和輸出阻抗 Z_f 为

$$A_f = \frac{A}{1 - \beta A} \quad (1-3)$$

和

$$Z_f = \frac{Z}{1 - \beta A}. \quad (1-4)$$

其等效电路见图 1-6。反饋的結果是使增益和阻抗都改变了一个相同的倍数。如果

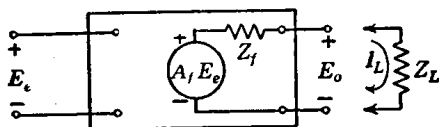


图 1-6. 計及电压反饋时, 放大器的戴維南等效电路

$|A_f| < |A|$, 反饋称为負的或減生的。如果 $|A_f| > |A|$, 反饋称为正的或再生的。下面主要应用負反饋, 此时增益和阻抗都除以因子 $|1 - \beta A|$ 。

1-3. 放大器中的电流反饋

图 1-7 示一电流反饋放大器, 放大器无反饋时增益为 A , 輸出阻抗为 Z 。电流反饋放大器的特征是反饋电压和流經外部負荷 Z_L 的电流成正比, E_f 与 I_L 之間的比例常数和輸出电压 E_o 无关。反饋电压从和負荷串联的阻抗 Z_i 二端取得。

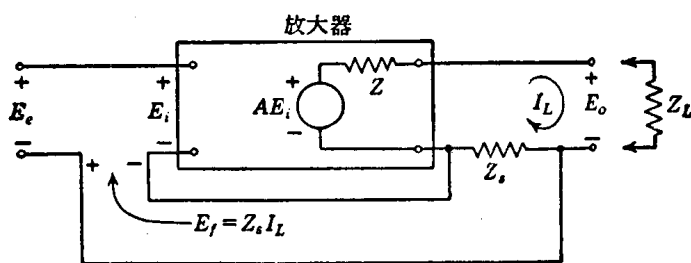


图 1-7. 电流反饋放大器方框图

按图

$$E_o = AE_i - (Z + Z_i)I_L, \quad E_i = E_e + Z_i I_L,$$

由此得

$$E_o = AE_e - [Z + Z_i(1 - A)]I_L.$$