

高频 电子 线路

主 编 吴恒泉 郭守田
副主编 郭 勇 曹湖海

武汉测绘科技大学出版社

高频电子线路

主 编 吴 恒 泉 郭 守 田
副主编 郭 勇 曹 湖 海 张 志 雄
编 者 梁 达 王 乔 生 吴 德 余 范 嵘 嵘
方 明 昌
主 审 秦 裕 瑞

武汉测绘科技大学出版社

(鄂)新登字14号

高 频 电 子 线 路

吴恒泉 郭守田 主编

责任编辑 郭毅

武汉测绘科技大学出版社出版发行

中国人民建设银行湖北省分行印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 15印张 368千字

1991年12月第一版 1991年12月第1次印刷

ISBN 7-81030-152-7/T·28

印数: 1—6000册 定价: 6.90元

前 言

本书是根据机电部中等专业学校无线电技术专业“高频电子线路”教学大纲，并结合多年的教学实践和集成电路日益普及的新形势，贯彻“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的原则而编写的。本书可作为两年制或四年制无线电技术专业的中专生教材，教学总学时为94学时。本书也可作为相近专业的技工学生、职工中专学生、职业学校学生的教材，也可供从事电子线路的工程技术人员参考。

本书强调了非线性电路的工程近似分析方法和非线性器件的频率变换作用是高频电子线路的共同特点。在内容处理上，重点讲述了各种典型的高频电子线路的构成和基本工作原理，并注重了模拟集成电路在高频电子线路中的应用。尽量避免了繁琐的数学推导，注意了与实际应用电路的结合，以适应中专学生的培养目标。

本书由吴恒泉、郭守田担任主编，郭勇、曹湖海、张志雄担任副主编，成员有王乔生、梁达、吴德余、范嵘嵘、方明昌。

湖北省电子工业学校高级讲师秦裕瑞担任本书的主审，进行了认真细致的审阅，并提出了许多宝贵有益的意见。

湖北省电子工业学校、贵州无线电工业学校、河南省电子工业学校、武汉市电子工业学校、武汉铁路运输学校、浙江省电子工业学校、沙市市机械电子工业学校、贵州省电子工业学校、黄石市职业教育中心、安徽省电子工业学校等有关同志参加了本书的审稿会议，他们也都提出了宝贵意见。另外，龚光明、周忠仁、梁学廉、官显华、王诗平、张问鹏、王武梅、魏兰、江立宪等同志为促进本书的编写做了大量具体工作。本书在编写过程中，得到国家机电部教材编审专业指导委员会成员陈继生的热情支持和帮助。

对上述单位和个人在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平有限，本书中的不妥和错误之处恳请读者批评指正。

编 者

1991年7月

目 录

绪 论	(1)
第一章 选频放大器	(11)
§ 1-1 概 述	(11)
§ 1-2 LC调谐放大器	(12)
1-2-1 单回路调谐放大器	(12)
1-2-2 双回路调谐放大器	(22)
1-2-3 多级调谐放大器	(24)
1-2-4 调谐放大器电路实例	(26)
§ 1-3 集中选频放大器	(27)
1-3-1 基本组成与特点	(27)
1-3-2 陶瓷滤波器	(28)
1-3-3 晶体滤波器	(30)
1-3-4 声表面波滤波器	(30)
1-3-5 滤波器的插入部位	(32)
1-3-6 集中选频放大器实例	(32)
习 题	(34)
第二章 高频功率放大器	(36)
§ 2-1 概 述	(36)
2-1-1 影响放大器输出功率的因素	(36)
2-1-2 功率放大器的工作状态	(36)
2-1-3 高频功率放大器的特点	(39)
§ 2-2 宽带高频功率放大器	(39)
2-2-1 宽带高频功率放大器的特点	(39)
2-2-2 功率合成网络	(40)
2-2-3 传输线变压器的工作原理	(41)
2-2-4 宽带高频功率放大器电路实例	(46)
§ 2-3 谐振功率放大器	(48)
2-3-1 谐振功率放大器的特点	(48)
2-3-2 谐振功率放大器的工作原理	(49)
2-3-3 谐振功率放大器的动态特性和负载特性	(50)
2-3-4 各极电压对工作状态的影响	(53)

§ 2-4	高频功率放大器的馈电电路与耦合电路	(55)
2-4-1	馈电电路	(55)
2-4-2	耦合电路	(58)
2-4-3	电路举例	(66)
§ 2-5	倍频器	(66)
2-5-1	丙类倍频器	(66)
2-5-2	参量倍频器	(68)
习 题		(70)
第三章	正弦波振荡器	(71)
§ 3-1	概 述	(71)
3-1-1	自激振荡的基本原理	(71)
3-1-2	自激振荡的平衡、起振和稳定条件	(72)
§ 3-2	LC正弦波振荡器	(76)
3-2-1	变压器反馈式振荡器	(77)
3-2-2	电容反馈三点式振荡器	(79)
3-2-3	电感反馈三点式振荡器	(82)
3-2-4	三点式振荡器构成法则	(83)
3-2-5	串联改进型电容三点振荡器	(84)
3-2-6	并联改进型电容三点振荡器	(85)
§ 3-3	振荡器的频率稳定度	(86)
3-3-1	频率稳定度的概念	(86)
3-3-2	导致频率不稳定的原因	(87)
3-3-3	主要稳频措施	(88)
§ 3-4	石英晶体振荡器	(91)
3-4-1	石英谐振器的稳频原理	(91)
3-4-2	石英晶体振荡器	(95)
3-4-3	集成晶体振荡器举例	(98)
§ 3-5	RC正弦波振荡器	(98)
3-5-1	RC串并联选频网络	(98)
3-5-2	文氏电桥振荡器	(100)
习 题		(102)
第四章	振幅调制与解调	(105)
§ 4-1	概 述	(105)
§ 4-2	调幅波的基本特性与调幅方式	(106)
4-2-1	调幅波的波形	(106)
4-2-2	调幅波的数学表达式	(106)
4-2-3	调幅波的频谱	(107)

4-2-4	调幅波的能量关系	(109)
4-2-5	调幅方式	(109)
§ 4-3	实现振幅调制的方法	(110)
4-3-1	平方律调幅	(111)
4-3-2	集成模拟乘法器调幅	(115)
4-3-3	斩波调幅	(119)
4-3-4	基极调幅	(123)
4-3-5	集电极调幅	(126)
§ 4-4	调幅波的解调	(131)
4-4-1	检波器的作用	(131)
4-4-2	检波器的主要技术指标	(132)
4-4-3	平方律检波	(133)
4-4-4	峰值包络检波	(135)
4-4-5	同步检波	(142)
§ 4-5	自动增益控制电路	(145)
4-5-1	AGC电路工作原理	(146)
4-5-2	AGC电路形式简介	(148)
习 题		(150)
第五章	混频器	(153)
§ 5-1	概 述	(153)
5-1-1	混频器的作用	(153)
5-1-2	混频器的组成和工作原理	(153)
5-1-3	混频器的主要技术指标	(154)
§ 5-2	混频电路	(155)
5-2-1	晶体三极管混频器	(155)
5-2-2	环形混频器	(159)
5-2-3	场效应管混频器	(161)
5-2-4	集成模拟乘积混频器	(162)
§ 5-3	混频干扰	(163)
5-3-1	组合频率干扰	(163)
5-3-2	付波道干扰	(164)
5-3-3	交叉调制干扰(交调干扰)	(166)
5-3-4	互相调制干扰(互调干扰)	(166)
习 题		(167)
第六章	角度调制及解调电路	(169)
§ 6-1	调角波的基本特性	(169)
6-1-1	调角波的数学表达式	(169)

6-1-2	调角波的频谱与带宽·····	(172)
6-1-3	调频制与调幅制的比较·····	(175)
§ 6-2	调频电路·····	(175)
6-2-1	实现频率调制的方法·····	(175)
6-2-2	变容二极管直接调频电路·····	(176)
6-2-3	间接调频电路·····	(178)
§ 6-3	调频波的解调·····	(180)
6-3-1	调频波解调的基本方法·····	(180)
6-3-2	斜率鉴频器·····	(182)
6-3-3	相位鉴频器·····	(183)
6-3-4	乘积型相位鉴频器·····	(190)
6-3-5	鉴频特性曲线的调整·····	(192)
§ 6-4	自动频率控制电路·····	(193)
习 题	·····	(195)
第七章	锁相环路 ·····	(197)
§ 7-1	概 述·····	(197)
7-1-1	锁相环路的组成和各部分的作用·····	(197)
7-1-2	锁相环路的简要工作过程·····	(198)
7-1-3	锁相环路各频率和相位的关系·····	(198)
§ 7-2	锁相环路的工作原理·····	(199)
7-2-1	锁相环相位模型及环路基本方程·····	(199)
7-2-2	环路滤波器及其传输函数·····	(200)
7-2-3	锁相环路的传输函数·····	(201)
7-2-4	锁相环路的捕捉过程·····	(202)
7-2-5	锁相环路的跟踪特性·····	(204)
§ 7-3	锁相环路的应用·····	(210)
7-3-1	锁相接收机·····	(210)
7-3-2	调频波锁相解调电路·····	(210)
7-3-3	调幅波锁相同步检波电路·····	(211)
7-3-4	频率合成简介·····	(211)
§ 7-4	集成锁相环举例·····	(215)
7-4-1	立体声复合信号·····	(215)
7-4-2	LA3361PLL-FM立体声解码器方框图·····	(216)
7-4-3	LA3361主要单元电路分析·····	(217)
习 题	·····	(223)
读图练习	·····	(225)
参考文献	·····	(231)

绪 论

一、无线电通信的概念

广义地讲，将甲方的信息传送到乙方，就是通信。1837年，F·B·莫尔斯创造了莫尔斯电码，发明了电报；1876年，A·G·贝尔发明了电话。电报电话的发明，为远距离快速准确地通信提供了新手段，是通信技术的重大突破。1895年，意大利的G·马可尼发明了无线电，即将电信号变成电磁波在空间传送，这就是无线电通信。

无线电通信是将要传递的语言、音乐或图象等信息，首先“调制”到高频电流中去，然后通过发射天线，变成高频电磁波，传送到远方。从远方来的电磁波，经过接收天线感应成高频电流，然后从高频电流中“解调”出原来的语言、音乐或图象等信息。这样，就达到了发送和接收信息的目的，从而实现了现代的无线电通信。

为了对无线电通信有一全面的认识，对发射和接收系统各组成部分之间的有机联系有所了解，下面我们用方框来说明。

1、发送系统

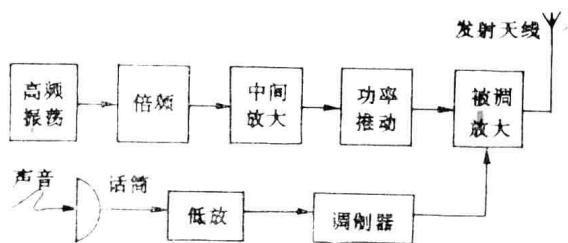


图0-1 语言广播调幅发射机方框图

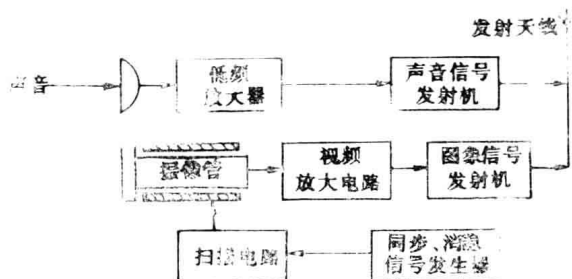


图0-2 电视发射机方框图

2、接收系统

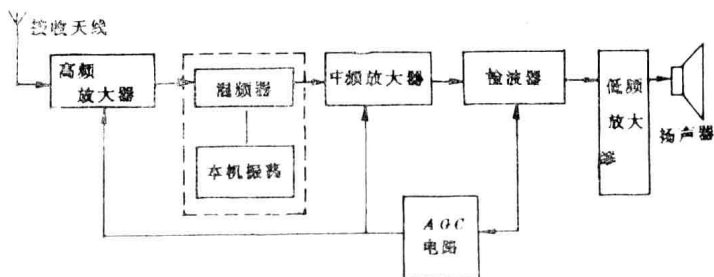


图0-3 超外差式接收机方框图

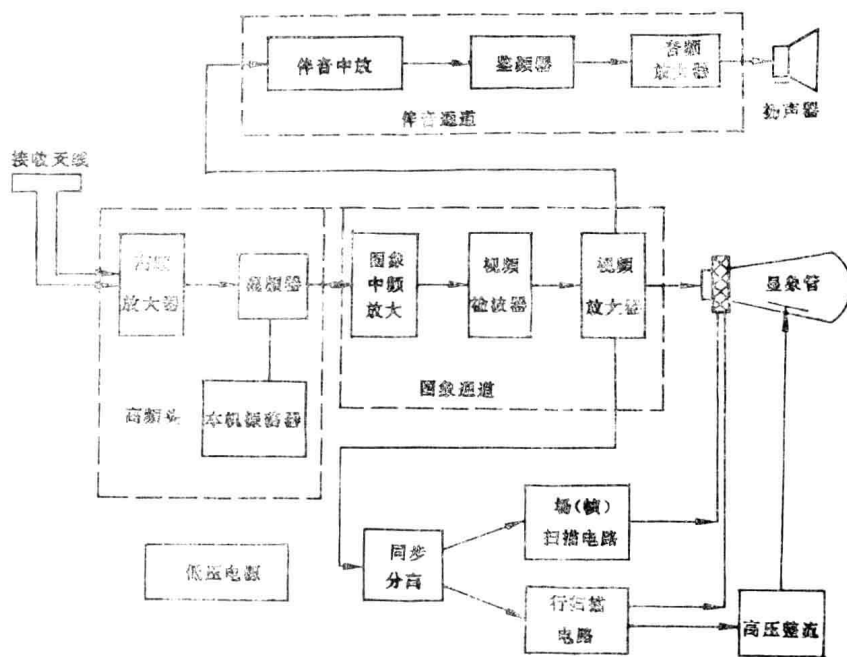


图0-4 超外差式电视机方框图（单通道式）

二、高频电子线路的内容和共同特点

上述无线电发送和接收系统中的绝大部分单元电路，例如，高频选频放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调器、角度调制与解调器、混频器、锁相环路等，都是高频电子线路所要研究的基本内容。

在高频电子线路中，除了高频选频放大器外，其余几乎所有单元线路都是非线性工作电路，因此，非线性特性就是高频电子线路的共同特点。为了分析和掌握各单元电路的工作原理与内在联系，必须首先了解非线性电路的分析方法。

三、非线性电路的分析方法

由于非线性电路中有源器件工作在线性特性区域，因此，所采用的有源器件不能用线性的四端网络来等效，也就是说有源器件的微变等效电路（如 h 参数、 y 参数、混合 π 参数等效电路），在这里均不适用。

通常非线性器件的特性都是用曲线来描述，如果能写出这些非线性曲线的数学表达式，那么非线性电路的分析就可变为解析运算。然而在多数情况下，很难写出精确的数学表达式，因此精确的解析运算往往是不可能的。

在工程计算中，常常根据非线性电路中所采用的具体器件或根据它的工作范围（应用条件），用近似的数学表达式来描述它的特性，这种分析非线性电路的方法称工程近似解析法。本课程同其它教科书一样，毫无例外地采用这种非线性电路的分析法。为此在这里给出几种常用的非线性器件的数学近似表达式（表达式中有关符号的意义将在具体应用时再作明确说明）。

1、幂级数表达式

对于任何一种非线性器件，在小信号运用情况下的特性曲线均可用幂级数表示为

$$i=f(u)=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+\dots \quad (0-1)$$

若 $f(u)$ 所表示的特性在工作区域内连续，且在工作点 U_Q 处各阶导数都存在，则在工作点附近，其特性可展为泰勒级数，即

$$i=f(u)=a_0+a_1(u-U_Q)+a_2(u-U_Q)^2+\dots \quad (0-2)$$

2、平方律表示式

N沟道结型场效应管工作在饱和区的转移特性可近似用平方律特性表示为

$$i_D=I_{Dss}\left(1-\frac{u_{GS}}{V_p}\right)^2, \quad u_{DS}\geq V_p, \quad V_p\leq u_{GS}\leq 0 \quad (0-3)$$

3、指数表示式

晶体二极管在小信号运用的情况下，当外加正向电压 $u>100\text{mV}$ 时，其P-N结伏安特性可近似用指数函数表示为

$$i\approx I_s e^{\frac{qu}{kT}} \quad (0-4)$$

4、双曲正切函数表示式

差分对管（差模输入电压为 u 、输出差值电流为 $i_{C1}-i_{C2}$ ）的差模特性可表示为

$$i=i_{C1}-i_{C2}=I_0 \operatorname{th}\left(\frac{qu}{2kT}\right) \quad (0-5)$$

5、折线表示式

晶体三极管在大信号运用（输入电压幅度 $\geq 0.6\sim 0.75\text{V}$ ）的情况下，其转移特性曲线可折线化。设折线化后的截止电压为 V_i ，折线段的斜率为 g_c ，则转移特性可表示为

$$i=\begin{cases} g_c(u_{BE}-V_i), & u>V_i \\ 0 & u\leq V_i \end{cases} \quad (0-6)$$

四、非线性器件的频率变换作用

根据上面给出的非线性特性的数学近似表达式，我们来说明非线性器件的频率变换作用。下面举例说明折线表达式的频率变换作用。

在第二章将要讨论的高频功率放大器中，晶体管是处于大信号的运用情况，其转移特性可折线化，如图0-5(a)所示，其表达式由式(0-6)确定。

设晶体管的负偏压为 $-E_b$ ，输入信号是频率为 ω 的余弦电压，则

$$u_{BE}=-E_b+U_{bm}\cos\omega t \quad (0-7)$$

将它画在转移特性下，如图(b)。根据转移特性可画出集电极电流 i_c 的波形，它是一个通角为 θ 、最大值为 $i_{Cm\max}$ 的余弦脉冲，如图(c)。根据图(a)得转移特性的斜率为

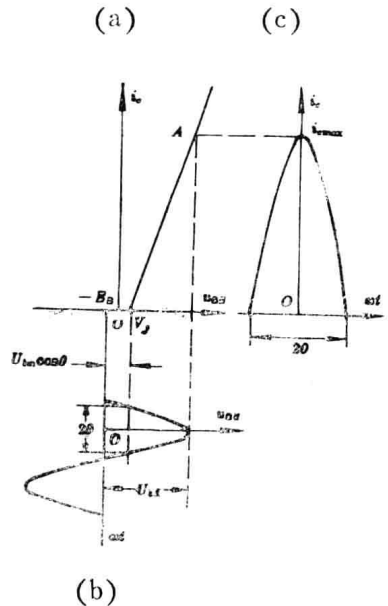


图0-5 由转移特性求 i_c 波形

$$g_c = \frac{\Delta i_c}{\Delta u_{BE}} = \frac{i_{cmax}}{U_{bm} - U_{bm} \cos \theta} = \frac{i_{cmax}}{U_{bm}(1 - \cos \theta)} \quad (0-8)$$

由图(b)可看出

$$V_j = U_{bm} \cos \theta - E_b \quad (0-9)$$

将式(0-7)~(0-9)代入式(0-6)得

$$i_c = g_c(u_{BE} - V_j) = \frac{i_{cmax}}{1 - \cos \theta} (\cos \omega t - \cos \theta) \quad (0-10)$$

由上式可看出,余弦脉冲 i_c 的大小和形状完全由它的最大值 i_{cmax} 和通角 θ 唯一地确定。可将它利用付氏级数展开为

$$i_c = \sum_{n=0}^{\infty} I_{cnm} \cos n \omega t \quad (0-11)$$

上式中各分量的幅度分别为

$$\left. \begin{aligned} I_{c0} &= \alpha_0(\theta) \cdot i_{cmax} \\ I_{c1m} &= \alpha_1(\theta) \cdot i_{cmax} \\ I_{cnm} &= \alpha_n(\theta) \cdot i_{cmax} \end{aligned} \right\} \quad (0-12)$$

式中, $\alpha(\theta)$ 称为余弦脉冲分解系数。 $\alpha_0(\theta)$ 为平均分量分解系数; $\alpha_1(\theta)$ 和 $\alpha_n(\theta)$ 分别为基波和 n 次谐波分解系数。这些分解系数和波形系数 $g_1(\theta) = \frac{\alpha_1(\theta)}{\alpha_0(\theta)}$ 之值与 θ 的关系,计算时可查阅图0-6或附录0-1。

通过以上分析讨论可知,如果把一个频率为 ω 的余弦信号作为非线性器件的输入电压〔如式(0-7)〕,则经过非线性特性〔如式(0-6)〕的作用后,将产生许多谐波频率 $n\omega$ 成分〔如式(0-11)〕。

同样,如果把频率分别为 ω_1 和 ω_2 的两个余弦信号作为非线性器件的输入电压,则经过非线性的作用后将产生由这两个频率所构成的许多新的组合频率成分,可表示为 $|\pm p\omega_1 \pm q\omega_2|$ 。这就是非线性器件的频率变换作用。

由于高频电子线路中的器件多数工作在非线性区,因此高频电子线路又称为非线性电子线路。

高频电子线路是无线电技术专业的核心专业基础课,是一门理论与实践紧密结合的课程。通过本课程的学习,学生应能掌握各种高频单元电子线路的基本概念和工作原理,了解高频电子线路的分析方法。具有必要的工程估算能力,看懂一般的电子线路原理图,能适应电子技术当前实际和发展趋势的要求,为学习专业课和毕业后从事电子技术工作打下良好的基础。

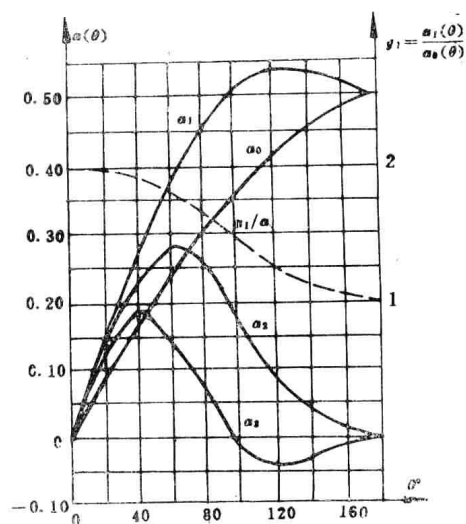


图0-6 余弦脉冲分解系数与 θ 的关系曲线

附录0—1 余弦脉冲系数表

θ	$\cos\theta$	α_0	α_1	α_2	g_1
0°	1.000	0.000	0.000	0.000	2.00
1°	1.000	0.004	0.007	0.007	2.00
2°	0.999	0.007	0.015	0.015	2.00
3°	0.999	0.011	0.022	0.022	2.00
4°	0.998	0.014	0.030	0.030	2.00
5°	0.996	0.018	0.037	0.037	2.00
6°	0.994	0.022	0.044	0.044	2.00
7°	0.993	0.025	0.052	0.052	2.00
8°	0.990	0.029	0.059	0.059	2.00
9°	0.988	0.032	0.066	0.066	2.00
10°	0.985	0.036	0.073	0.073	2.00
11°	0.982	0.040	0.080	0.080	2.00
12°	0.978	0.044	0.088	0.087	2.00
13°	0.974	0.047	0.095	0.094	2.00
14°	0.970	0.051	0.102	0.101	2.00
15°	0.966	0.055	0.110	0.108	2.00
16°	0.961	0.059	0.117	0.115	1.98
17°	0.956	0.063	0.124	0.121	1.98
18°	0.951	0.066	0.131	0.128	1.98
19°	0.945	0.070	0.138	0.134	1.97
20°	0.940	0.074	0.146	0.141	1.97
21°	0.934	0.078	0.153	0.147	1.97
22°	0.927	0.082	0.160	0.153	1.97
23°	0.920	0.085	0.167	0.159	1.97
24°	0.914	0.089	0.174	0.165	1.97
25°	0.906	0.093	0.181	0.171	1.97
26°	0.899	0.097	0.188	0.177	1.97
27°	0.891	0.100	0.195	0.182	1.97
28°	0.883	0.104	0.202	0.188	1.94
29°	0.875	0.107	0.209	0.193	1.94

续表

θ	$\cos\theta$	α_0	α_1	α_2	g_1
30°	0.866	0.111	0.215	0.198	1.94
31°	0.857	0.115	0.222	0.203	1.93
32°	0.848	0.118	0.229	0.208	1.93
33°	0.839	0.122	0.235	0.213	1.93
34°	0.829	0.125	0.241	0.217	1.93
35°	0.819	0.129	0.248	0.221	1.92
36°	0.809	0.133	0.255	0.226	1.92
37°	0.799	0.136	0.261	0.230	1.92
38°	0.788	0.140	0.268	0.234	1.91
39°	0.777	0.143	0.274	0.237	1.91
40°	0.766	0.147	0.280	0.241	1.90
41°	0.755	0.151	0.286	0.244	1.90
42°	0.743	0.154	0.292	0.248	1.90
43°	0.731	0.158	0.298	0.251	1.89
44°	0.719	0.162	0.304	0.253	1.88
45°	0.707	0.165	0.311	0.256	1.88
46°	0.695	0.169	0.316	0.259	1.87
47°	0.682	0.172	0.322	0.261	1.87
48°	0.669	0.176	0.327	0.263	1.86
49°	0.656	0.179	0.333	0.265	1.85
50°	0.643	0.183	0.339	0.267	1.85
51°	0.629	0.187	0.344	0.269	1.84
52°	0.616	0.190	0.350	0.270	1.84
53°	0.602	0.194	0.355	0.271	1.83
54°	0.588	0.197	0.360	0.272	1.82
55°	0.574	0.201	0.366	0.273	1.82
56°	0.559	0.204	0.371	0.274	1.81
57°	0.545	0.208	0.376	0.275	1.81
58°	0.530	0.211	0.381	0.275	1.80
59°	0.515	0.215	0.386	0.275	1.80

续表

θ	$\cos\theta$	α_0	α_1	α_2	g_1
60°	0.500	0.218	0.391	0.276	1.80
61°	0.485	0.222	0.396	0.276	1.78
62°	0.469	0.225	0.400	0.275	1.78
63°	0.454	0.229	0.405	0.275	1.77
64°	0.438	0.232	0.410	0.274	1.77
65°	0.423	0.236	0.414	0.274	1.76
66°	0.407	0.239	0.419	0.273	1.75
67°	0.391	0.243	0.423	0.272	1.74
68°	0.375	0.246	0.427	0.270	1.74
69°	0.358	0.249	0.432	0.269	1.74
70°	0.342	0.253	0.436	0.267	1.73
71°	0.326	0.256	0.440	0.266	1.72
72°	0.309	0.259	0.444	0.264	1.71
73°	0.292	0.263	0.448	0.262	1.70
74°	0.276	0.266	0.452	0.260	1.70
75°	0.259	0.269	0.455	0.258	1.69
76°	0.242	0.273	0.459	0.256	1.68
77°	0.225	0.276	0.463	0.253	1.68
78°	0.208	0.279	0.466	0.251	1.67
79°	0.191	0.283	0.469	0.248	1.66
80°	0.174	0.286	0.472	0.245	1.65
81°	0.156	0.289	0.475	0.242	1.64
82°	0.139	0.293	0.478	0.239	1.63
83°	0.122	0.296	0.481	0.236	1.62
84°	0.105	0.299	0.484	0.233	1.61
85°	0.087	0.302	0.487	0.230	1.61
86°	0.070	0.305	0.490	0.226	1.61
87°	0.052	0.308	0.493	0.223	1.60
88°	0.035	0.312	0.496	0.219	1.59
89°	0.017	0.315	0.498	0.216	1.58

续表

θ	$\cos\theta$	α_0	α_1	α_2	g_1
90°	0.000	0.319	0.500	0.212	1.57
91°	-0.017	0.322	0.502	0.208	1.56
92°	-0.035	0.325	0.504	0.205	1.55
93°	-0.052	0.328	0.506	0.201	1.54
94°	-0.070	0.331	0.508	0.197	1.53
95°	-0.087	0.334	0.510	0.193	1.53
96°	-0.105	0.337	0.512	0.189	1.52
97°	-0.122	0.340	0.514	0.185	1.51
98°	-0.139	0.343	0.516	0.181	1.50
99°	-0.156	0.347	0.518	0.177	1.49
100°	-0.174	0.350	0.520	0.172	1.49
101°	-0.191	0.353	0.521	0.168	1.48
102°	-0.208	0.355	0.522	0.164	1.47
103°	-0.225	0.358	0.524	0.160	1.46
104°	-0.242	0.361	0.525	0.156	1.45
105°	-0.259	0.364	0.526	0.152	1.45
106°	-0.276	0.366	0.527	0.147	1.44
107°	-0.292	0.369	0.528	0.143	1.43
108°	-0.309	0.373	0.529	0.139	1.42
109°	-0.326	0.376	0.530	0.135	1.41
110°	-0.342	0.379	0.531	0.131	1.40
111°	-0.358	0.382	0.532	0.127	1.39
112°	-0.375	0.384	0.532	0.123	1.38
113°	-0.391	0.387	0.533	0.119	1.38
114°	-0.407	0.390	0.534	0.115	1.37
115°	-0.423	0.392	0.534	0.111	1.36
116°	-0.438	0.395	0.535	0.107	1.35
117°	-0.454	0.398	0.535	0.103	1.34
118°	-0.469	0.401	0.535	0.099	1.33
119°	-0.485	0.404	0.536	0.096	1.33

续表

θ	$\cos\theta$	α_0	α_1	α_2	g_1
120°	-0.500	0.406	0.536	0.092	1.32
121°	-0.515	0.408	0.536	0.088	1.31
122°	-0.530	0.411	0.536	0.084	1.30
123°	-0.545	0.413	0.536	0.081	1.30
124°	-0.559	0.416	0.536	0.078	1.29
125°	-0.574	0.419	0.536	0.074	1.28
126°	-0.588	0.422	0.536	0.071	1.27
127°	-0.602	0.424	0.535	0.068	1.26
128°	-0.616	0.426	0.535	0.061	1.25
129°	-0.629	0.428	0.535	0.061	1.25
130°	-0.643	0.431	0.534	0.058	1.24
131°	-0.656	0.433	0.534	0.055	1.23
132°	-0.669	0.436	0.533	0.052	1.22
133°	-0.682	0.438	0.533	0.049	1.22
134°	-0.695	0.440	0.532	0.047	1.21
135°	-0.707	0.443	0.532	0.044	1.20
136°	-0.719	0.445	0.531	0.041	1.19
137°	-0.731	0.447	0.530	0.039	1.19
138°	-0.743	0.449	0.530	0.037	1.18
139°	-0.755	0.451	0.529	0.034	1.17
140°	-0.766	0.453	0.528	0.032	1.17
141°	-0.777	0.455	0.527	0.030	1.16
142°	-0.788	0.457	0.527	0.028	1.15
143°	-0.799	0.459	0.526	0.026	1.15
144°	-0.809	0.461	0.526	0.024	1.14
145°	-0.819	0.463	0.525	0.022	1.13
146°	-0.829	0.465	0.524	0.020	1.13
147°	-0.839	0.467	0.523	0.019	1.12
148°	-0.848	0.468	0.522	0.017	1.12
149°	-0.857	0.470	0.521	0.015	1.11