

实用无线电技术手册

甘为众 周才夫 编
阎成功 贾存金

•

北 京 出 版 社 出 版

(北京崇文门外东兴隆街51号)

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 二 厂 印 刷

•

787×1092毫米 32开本 20.625印张 441,000字

1983年10月第1版 1983年10月第1次印刷

印数 1—250,000

书号: 15071·50 定价: 2.20 元

目 录

第一章 常用无线电名词、符号及基本公式.....	1
1-1 常用无线电名词	1
1-2 常用无线电符号表	20
1-3 常用基本公式	38
第二章 半导体器件.....	73
2-1 半导体器件型号的命名方法	73
2-2 半导体二极管	96
2-3 半导体三极管	107
2-4 集成电路	132
第三章 低频放大电路.....	160
3-1 小信号低频放大器	160
3-2 甲类功率放大器	175
3-3 乙类推挽功率放大器	181
3-4 OTL 电路.....	192
3-5 负反馈放大电路	203
第四章 高频放大电路.....	220
4-1 高频放大电路的基本知识	220
4-2 高频耦合放大电路	227
4-3 丙类功率放大器	234
4-4 宽频带放大器	236
第五章 直流放大器.....	242

5-1	直流放大电路的主要特点	242
5-2	差动放大器	244
5-3	差动放大器的其它几种接法	256
第六章	正弦振荡器	261
6-1	正弦波振荡的条件	261
6-2	LC 正弦振荡电路	262
6-3	RC 正弦振荡电路	276
6-4	石英晶体振荡电路	281
6-5	音叉振荡器	292
第七章	调制与解调	298
7-1	振幅调制	298
7-2	调幅电路	301
7-3	检波器和反调幅器	311
7-4	频率调制	315
7-5	鉴频器	320
第八章	晶体管脉冲数字电路的基本单元	331
8-1	脉冲波形及其参数的定义	331
8-2	门电路	341
8-3	触发器	362
8-4	脉冲振荡器	384
8-5	计数电路	387
8-6	数码寄存器	394
8-7	译码电路	400
8-8	分频电路	410
8-9	十进制数的显示	414
第九章	整流和稳压电路	428

9-1	整流和滤波电路	428
9-2	稳压电路	443
9-3	稳压电源性能的改善	451
9-4	集成稳压器	456
第十章	变压器和电感线圈的计算	460
10-1	常用小功率电源变压器的计算	460
10-2	自耦变压器的计算	480
10-3	C型电源变压器的计算	483
10-4	音频变压器的计算	488
10-5	脉冲变压器的计算	517
10-6	低频阻流圈的计算	520
10-7	磁芯线圈的计算	525
10-8	黑白电视接收机专用线圈和变压器	543
10-9	空芯线圈电感量的计算	543
10-10	屏蔽线圈和磁环线圈电感量的计算	555
第十一章	四端网络	558
11-1	四端网络的主要参数	558
11-2	衰减器	562
11-3	恒定阻抗的混合网络	572
11-4	滤波器	577
11-5	衰减均衡器	591
第十二章	传感器件及其应用	612
12-1	热敏电阻及其应用	612
12-2	光敏器件及其应用	621
12-3	力敏器件及其应用	627
12-4	磁敏器件及其应用	630

12-5	气敏器件及其应用·····	633
第十三章	扬声器与音箱·····	636
13-1	扬声器·····	636
13-2	音箱的结构及尺寸·····	647

第一章 常用无线电名词、符号 及基本公式

1-1 常用无线电名词

直流与交流 直流是直流电的简称。一般是指方向不随时间变化的电流。有时也把时间和大小都不随时间变化的直流电，称为“恒定直流”；把方向不变而大小则随时间而变化的电流，称为“脉动电流”或脉动直流。

交流是交流电的简称。一般是指大小和方向随时间作周期变化的电流。它的最基本形式是正弦电流。交流电每变化一周所需要的时间叫做周期，以字母 T 表示，单位为秒。在一周期内的最大值称为峰值。正弦波的峰值亦称振幅。若交流电通过一个电阻，在一周期中所发生的热量与直流电通过同一电阻在同一时间内发生的热量相同，这一直流电的量值就称为该交流电的有效值（亦称均方根值）。正弦交流电的有效值为最大值的 0.707。平均值为最大值的 0.637。

波形因数和波顶因数 波形因数是表示周期波波形尖锐程度的因数。它是周期波的有效值与平均值之比。正弦波的波形因数是 1.11，非正弦波的波形越尖，波形因数越大。波顶因数则是峰值与有效值之比。波形因数和波顶因数都是常数。

电压和电动势 电压就是电路两点间存在的电位差，用

字母 U 表示。在交流电路中，电压是在正负极大值之间作周期性的变化，所以交流电压通常以有效值表示，并简称为电压。电压的使用单位为伏特，或简称伏，用字母 V 表示。

电动势是以其他能量转变为电能所引起的电位差，也就是电源内部为维持建立电位差的“动力”，用字母 E 表示，单位亦为伏特。

端电压则是电源两端的电位差，它不同于电动势，不能混淆。由于电源内部都存在有电阻 r ，因此端电压 $U_0 = E - Ir$ 。当电源为空载时，因 $I = 0$ ，则 $U_0 = E$ 。所以，利用高内阻伏特计可测得电动势的近似值。

电流 电荷有规则的流动称为电流。例如金属中自由电子的流动；液体或气体中正负离子在相反方向上的流动等。这种带电微粒（金属中的自由电子、溶液中的正负离子、气体中的离子或电子）在导体内部形成的电流，称为传导电流。

此外，根据电流形成过程的不同，还有对流电流（或运动电流）和位移电流。单位时间内通过导体横截面的电量，称为电流强度，亦简称为电流。电流用字母 I 表示，电流强度的实用单位为安培、毫安或微安，分别用 A 、 mA 、 μA 表示。

电功率 在交流电路中，电功率分为有功功率、无功功率和表观功率（亦称视在功率）。

有功功率是单位时间内实际做出或消耗的交流电的电能。它是一周期内的平均功率，简称功率，常用字母 P 表示。在单相交流电路中，由于电抗的作用，电压与电流将产生相角差 φ ，其余弦称为“功率因数”，常用 $\cos \varphi$ 表示。所

以，有功功率等于电压有效值、电流有效值和功率因数三者的乘积。单位为瓦或千瓦，分别以W或KW表示。

在具有纯电抗（即纯电感或纯电容）的交流电路中，电感的磁场和电容的电场，在一周期内的一部分时间里，从电源中吸收能量，而在另一部分时间内，则将能量送回电源，在整个周期内平均功率是零，也就是说，没有消耗能量。当电感或电容与电源进行能量交换时，其能量交换量的最大值就叫做无功功率。在单相交流电路中，无功功率等于电压有效值、电流有效值和电压、电流间相角差的正弦的三者乘积。单位为乏或千乏，用字母Var或KVar表示。

表观功率是表示交流电器设备的容量，它等于电压有效值和电流有效值的乘积。单位为伏安或千伏安，常用字母VA或KVA表示。

有功功率、无功功率和表观功率三者之间的关系为

$$\text{无功功率} = \sqrt{(\text{表观功率})^2 - (\text{有功功率})^2}$$

无线电 它是无线电技术的简称。是研究利用无线电波来传送各种信号的技术，其范围包括电路和网络理论；信号的分析；电磁波的发射、传播和接收；电振荡的产生、调制、解调和放大；电子器件、无线电元件和设备的原理、设计和应用。无线电技术已被广泛用于电报、电话、广播、电视、测向、定位、遥测、遥控以及其他各个领域。无线电技术与其他科学技术相结合，还形成了许多新兴的科学，如无线气象学、射电天文学、微波波谱学等。由于无线电技术的发展和电子学的发展密切相关，并相互促进，因而两者相结合还形成一门综合性的无线电电子学。

无线电波 是指频率范围约在3 KHz~300 GHz，利用

天线辐射或接收的空间传播的电磁波，有时也简称电磁波。随着无线电技术的发展，无线电波的应用愈来愈广泛。

无线电波的传播特性，随频率的高低不同而有差异。在国际习惯上，把无线电波划分成若干频段或波段（详见表 1-1）。按照无线电波的传播方式，波长较长的波段主要是利用地波（亦称表面波）传播；短波主要是利用天波传播，即利用被电离层折射（或反射）而返回地面的无线电波传播；较高频率的超短波及微波等，则主要是利用空间波传播。如中波及短波广播，分别主要以地波和天波传播；电视 1~12 频道的米波和 13 频道以上的分米波都是以空间波传播。我国电视频道的划分如表 1-2。

因辐射天线的架设方式不同，无线电波还分垂直极化波和水平极化波。例如，一般广播电台采用的是垂直极化波；电视广播则通常采用水平极化波。为了能接收到最大信号的电波，垂直极化波要求接收天线也垂直放置，水平极化波则要求接收天线必须水平放置。

在无线电技术中，通常以电场强度来表示接收点电场的强度，单位为毫伏/米或微伏/米。

波长 电磁波在一个周期的振荡时间内所走过的距离，叫做波长，以字母 λ 表示，单位为米（M）。无线电波的波长范围的划分，列于表 1-1 中。

频率 每秒钟内电流方向改变的次数或周期，叫做频率，以字母 f 表示，单位为赫兹（Hz），简称赫或周/秒（C/s）。它等于周期 T 的倒数，即 $f = 1/T$ 。

频率的划分除按高低分成若干频段外，通常还将可闻的 20 赫~20 千赫的声频（亦称音频）称为低频，如声频放大

表 1-1

波段频率分配表

波段名称缩写	名称	频率范围, 赫 (Hz)	以波长划分的名 称	传播方式	目前频率分配情况
VLF	甚低频	30 K 以下	万米波 (甚长波)	天波、地波, 以地波传播为主	(10~20) KHz, 主要用于无线电导航、海上移动通信和广播
LF	低频	30 K ~ 300 K	千米波 (长波)	天波、地波, 以地波传播为主	(200~3,000) KHz, 主要用于广播、无线电导航、海上移动通信、地对空通信
MF	中频	300 K ~ 3000 K	百米波 (中波)	主要以地波传播, 夜间天波亦可传播	
HF	高频	3 M ~ 30 M	十米波 (短波)	地波传播较近, 以天波传播为主	主要用于定点通信、航海和航空移动通信、广播、热带广播及业余无线电等
VHF	甚高频	30 M ~ 300 M	米波 (超短波)	地波传播距离极近, 以视距内直线传播为主	(30~1,000) MHz, 主要用于电视广播, 陆上移动通信、航空移动通信、海上移动通信、定点通信、空间通信和雷达等
UHF	特高频	300 M ~ 3000 M	分米波 (微波)	视距内直线传播	1 GHz~10 GHz, 主要用于无线电微波接力系统, 其次是定点通信和移动通信业务
SHF	超高频	3 G ~ 30 G	厘米波 (微波)	视距内直线传播	
EHF	极高频	30 G ~ 300 G	毫米波 (微波)	与光的传播特性基本相同	10 GHz 以上, 主要用于无线电中继接力通信、空间通信、雷达、导航、无线电天文学等

表 1-2

电视频道的划分

频 率 分 划	波 段	频 道	频 率 范 围 (MHz)	图 像 载 频 (MHz)	伴 音 载 频 (MHz)	本 振 频 率 (MHz)
VHF	I 波段 (米波)	1	48.5~56.5	49.75	56.25	86.75
		2	56.6~64.5	57.75	64.25	94.75
		3	64.5~72.5	65.75	72.25	102.75
		4	76~84	77.25	83.75	114.25
		5	84~92	85.25	91.75	122.25
	III 波段 (米波)	6	167~175	168.25	174.75	205.25
		7	175~183	176.25	182.75	213.25
		8	183~191	184.25	196.75	221.25
		9	191~199	192.25	198.75	229.25
		10	199~207	200.25	206.75	237.25
		11	207~215	208.25	214.75	245.25
		12	215~223	216.25	222.75	253.25
UHF	IV 波段 (分米波)	13	470~478	471.25	477.75	508.25
		14	478~486	479.25	485.75	506.25
		15	486~494	487.25	493.75	516.25
		16	494~502	495.25	501.75	524.25
		17	502~510	503.25	509.75	532.25
		18	510~518	511.25	517.75	540.25
		19	518~526	519.25	525.75	548.25
		20	526~534	527.25	533.75	556.25
		21	534~542	535.25	541.75	564.25
		22	542~550	543.25	549.75	572.25
		23	550~558	551.25	557.75	580.25
		24	558~566	559.25	565.75	596.25
	V 波段 (分米波)	25	606~614	607.25	613.75	644.25
		26	614~622	615.25	621.75	652.25

续表

频率 划分	波段	频道	频率范围 (MHz)	图像载频 (MHz)	伴音载频 (MHz)	本振频率 (MHz)
UHF	V波段 (分米波)	27	622~630	623.25	629.75	660.25
		28	630~638	631.25	637.75	668.25
		29	638~646	639.25	645.75	676.25
		30	646~654	647.25	653.75	684.25
		31	654~662	655.25	661.75	692.25
		32	662~670	663.25	669.75	700.25
		33	670~678	671.25	677.75	708.25
		34	678~686	679.25	685.75	716.25
		35	686~694	687.25	693.75	724.25
		36	694~702	695.25	701.75	732.25
		37	702~710	703.25	709.75	740.25
		38	710~718	711.25	717.75	748.25
		39	718~726	719.25	725.75	756.25
		40	726~734	727.25	733.75	764.25
		41	734~742	735.25	741.75	772.25
		42	742~750	743.25	749.75	780.25
		43	750~758	751.25	757.75	788.25
		44	758~766	759.25	765.75	796.25
		45	766~774	767.25	773.75	804.25
		46	774~782	775.25	781.75	812.25
		47	782~790	783.25	789.75	820.25
		48	790~798	791.25	797.75	828.25
		49	798~806	799.25	805.75	836.25
		50	806~814	807.25	813.75	844.25
		51	814~822	815.25	821.75	852.25
		52	822~830	823.25	829.75	860.25
		53	830~838	831.25	837.75	868.25

续表

频率 划分	波段	频道	频率范围 (MHz)	图像载频 (MHz)	伴音载频 (MHz)	本振频率 (MHz)
UHF	V 波段 (分米波)	54	838~846	839.25	845.75	876.25
		55	846~854	847.25	853.75	884.25
		56	854~862	855.25	861.75	892.25
		57	862~870	863.25	869.75	900.25
		58	870~878	871.25	877.75	908.25
		59	878~886	879.25	885.75	916.25
		60	886~894	887.25	893.75	924.25
		61	894~902	895.25	901.75	932.25
		62	902~910	903.25	909.75	940.25
		63	910~918	911.25	917.75	948.25
		64	918~926	919.25	925.75	956.25
		65	926~934	927.25	933.75	964.25
		66	934~942	935.25	941.75	972.25
		67	942~950	943.25	949.75	980.25
		68	950~958	951.25	957.75	988.25

器也称为低频放大器。在超外差式接收设备中，由变频级产生的高于低频而低于射频的特定频率，称为中间频率，简称中频。我国规定调幅广播接收机的中频为 465 千赫；调频广播接收机的中频为 10.7 兆赫；电视广播接收机的第一中频为 30.5 兆赫（伴音）和 37 兆赫（图像），第二中频为 6.5 兆赫。高于中频的射频部分，则称为高频，如射频放大器也称为高频放大器。

通频带和截止频率 在无线电技术中，各种电路（如调谐电路、放大电路）、元件（如高中频变压器等）、电子器件和电声器件所能适用的频率范围（一般规定为通过的电流等

于通过最大电流值 0.707 范围内的频带)称为通频带。频带的上、下极限频率,就叫做截止频率。如果工作频率超过截止频率,工作特性(如效率或增益等)就将显著变坏。

电路和网络 组成电流路径的各种装置以及电源的总体,称为电路。直流电路可以通过直流电流;交流电路可以通过交流电流。电路的参数(电阻、电感、电容)不随电流或电压的大小及方向改变而改变的电路,称为“线性电路”;否则,称为“非线性电路”。

由电子器件和其他无线电元件所组成的电子电路,通称为电路。它的种类繁多,如放大、振荡、整流、检波、调制……等等。此外,还有由“与”门、“或”门、“非”门等基本单元所组成的逻辑电路,它广泛用于自动控制和电子计算机中。

在电路中,由元件或器件连接成具有所需要的电气性能的电路,称为网络。网络可以按与外接的线端数目,分为二端网络和四端网络等;按网络内部是否有电源,又分为有源和无源网络两种。

等效电路 为计算和分析方便,在一定的条件下,对给定的对外性能上可以代替另一电路的等值电路,称为等效电路。例如,电源、晶体管电路以及四端网络等,都可以用它的等效电路进行研究。

电阻与电导 电阻是物质阻碍电流通过的固有特性。不同物质,其电阻(R)的差别很大。如金属的电阻最小,绝缘体的电阻最大,半导体的电阻则介于两者之间。金属导体的电阻还决定于它的长度、截面积和材料的性质。

导电物质的电阻率用字母 ρ 表示,通常规定长 1 米、截面积为 1 平方毫米的导体,在一定温度下的电阻,称为电阻

率，单位为欧姆·毫米²/米。如铜在 20℃ 时的电阻率约为 0.0172 欧姆·毫米²/米。电阻率越小，导电性能越好。

物质的电阻率还随温度而变化，称为导电材料的温度系数，用字母 α 表示。其中金属的电阻率随温度的升高而增大；半导体的电阻率随温度升高而减小。前者称正温度系数；后者称负温度系数。不同的金属材料有不同的温度系数，如银的温度系数为 +0.004/度，锰镍铜合金的温度系数为 +0.000015/度，康铜的温度系数为 -0.00003/度。

电阻的实用单位为欧姆或千欧姆、兆欧姆，分别用字母 Ω 、 $K\Omega$ 、 $M\Omega$ 表示。

电导的定义恰好与电阻相反，它是描述导体导电性能的物理量，常用字母 G 表示。导体的电阻越小，电导就越大，其值为电阻的倒数，即 $G=1/R$ 。实用单位为西门子，以字母 S 表示。

有效电阻 它是指交流电路中所损耗的功率与电流有效值平方的比值。由于交流电通过导体时的感应作用，将引起导体截面上电流分布不均匀，中心部位的电流密度小，愈近导体表面的电流密度愈大。这种现象称为“趋肤效应”或“趋表效应”，亦称“集肤效应”。当有两根或多根导线通过交流电时，每根导线由于受到邻近导线所产生的交变磁场的影响，也将引起电流在导线截面上分布不均匀，这种现象称为邻近效应。趋肤效应和邻近效应使得导体截面不能全部被利用，因而增加了有效电阻。通过导体的电流频率愈高，趋肤效应和邻近效应愈显著，有效电阻就愈大。

在交流电路中，还存在着涡流和介质损耗。它随着交流电频率的增高而加大，从而使有效电阻增加。所以，在交流

电路中的有效电阻比在直流电时的电阻(直流电阻)为大。有效电阻与频率有关,它不同于用欧姆计所测得的直流电阻。

电抗与电纳 电容 C 和电感 L 对交流电所起的阻碍和抵抗作用,称为电抗,用字母 X 表示,实用单位亦为欧姆。

电容的容抗值 $X_c = 1/\omega C$, 由工作电流的角频率 ω 和电容量 C 决定。容抗将使交流电路中的电流与电压产生 90° 的相角差。其中,电流超前,电压滞后。电感的感抗 $X_L = \omega L$, 也是由工作电流的角频率 ω 和电感量 L 决定的。它使电路中的电压超前电流 90° 。因此,在具有电容 C 和电感 L 串联的交流电路中,电抗 $X = X_L - X_c = \omega L - 1/\omega C$ 。

电纳用字母 B 表示。在并联电路中,电纳是电抗的倒数。其中容性电纳 $B_c = \omega C$, 感性电纳 $B_L = \frac{1}{\omega L}$, 总电纳 $B = B_L - B_c = 1/\omega L - \omega C$ 。电纳的实用单位亦为西门子(S)。

阻抗与导纳 在具有电阻和电抗的电路中,对正弦交流电所起的阻碍和抵抗作用,称之为阻抗,常用字母 Z 表示,单位亦为欧姆。阻抗 Z 等于电路两端电压的有效值和输入电

流有效值的比值。在串联电路中, $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2}$, 电

压与电流的相位角 $\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{X}{R} = \text{tg}^{-1} \frac{X_L - X_c}{R}$ 。如果电压与

电流用复数表示,其比值也为复数,称为“复阻抗”。复阻抗的实数部分为电阻,虚数部分为电抗。在串联电路中,则表示

$$\text{为 } Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + jX = R + j(X_L - X_c)。$$

导纳是电导和电纳对正弦交流电所引起的引导和容纳作用，常用字母 Y 表示，单位亦为西门子。以复数形式表示的导纳，称为“复导纳”。复导纳是复阻抗的倒数，其中实数部分称电导，虚数部分称为电纳。

导纳常用于并联电路。但在并联电路中如有多个元件串联的支路时，不能简单地认为电阻的倒数是导纳中的电导部分，电抗的倒数是导纳中的电纳部分。因为串联电路的阻抗 $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ ，因此，

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{R^2 + X^2} = \sqrt{\left(\frac{R}{Z^2}\right)^2 + \left(\frac{X}{Z^2}\right)^2}$$

式中 R/Z^2 和 X/Z^2 分别是串联电路的电导与电纳。

波阻抗 在自由空间或波导内任何一点的电磁波的电场强度与磁场强度的比值，称为波阻抗。有时将传输线的特性阻抗也称为波阻抗，但严格地说，两者的含义不完全相同。

特性阻抗 它是均匀传输线或对称无源四端网络的参数之一。在无限长的均匀传输线上，任何一点的复数电压与复数电流的比值都相等，它们的比值就称为特性阻抗。

阻抗匹配 它是使负载从网络、传输线或其他设备获得最大能量的措施。在无线电技术中，阻抗匹配有以下几种含义：

① 在电子器件电路中，使负载电阻等于电子器件的最佳负载值。其目的是使电子器件在最佳状态下工作，以保证器件的内损耗和在允许的失真范围内输出给负载最大的功率。

② 在传输线路上，使负载阻抗等于传输线的特性阻抗。其目的是消除负载引起的反射，避免产生驻波，使负载获得