

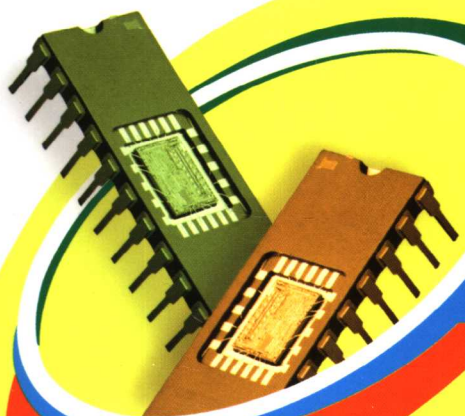
电路

应用系列

王 昊
李 昕

编著

集成运放应用电路 设计 360 例



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



电路

应用系列

集成运放应用电路 设计 360 例

ISBN 7-121-03485-9



9 787121 034855 >



责任编辑：富 军

封面设计：徐海燕



本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 7-121-03485-9

定价：36.00 元

电路应用系列

集成运放应用电路设计 360 例

王 昊 李 昕 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了集成运算放大器(集成运放)360种应用电路的设计公式、设计步骤及元器件的选择,包括集成运放应用电路设计须知,集成运放调零、相位补偿与保护电路的设计,运算电路、放大电路的设计,信号处理电路的设计,波形产生电路的设计,测量电路的设计,电源电路及其他电路的设计,便于电子电路设计者将书中的典型电路与实际设计要求相结合,为设计者提供了设计捷径,进而提高了设计效率。

本书对电子电路设计者具有较强的实用价值,既可作为高等院校电类专业各层次的教学参考书,也可作为电气、电子设计人员培训教材,对电类专业技师和广大电子爱好者也很有参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

集成运放应用电路设计 360 例 / 王昊, 李昕编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.1
(电路应用系列)

ISBN 7-121-03485-9

I. 集… II. ①王… ②李… III. 集成电路—运算放大器—电路设计 IV.TN722.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 136519 号

责任编辑: 富 军 特约编辑: 刘汉斌

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 23.75 字数: 494 千字

印 次: 2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

随着微电子技术的发展,由于集成运算放大器(集成运放)品种多、性能优越、使用方便,因而是电子技术领域中不可缺少的器件。由集成运放组成的电路在体积、重量、耗电、寿命、可靠性及电性能等方面优于由分立器件组成的电路,因而集成运放在电子电路中得到广泛的应用。

本书不以追求深奥的学术理论为宗旨,而是为电子电路设计者提供集成运放应用电路的实用设计方法,包括设计公式、设计步骤及元器件的选择,便于电子电路设计者将典型电路和实际设计要求相结合,为设计者提供了设计捷径,进而提高了设计效率。

在 360 例的设计中,对于涉及工作原理较多的设计例子,都单独而又扼要地介绍了工作原理。对涉及工作原理较少的设计例子,则以提示的方式简要地介绍了工作原理。也有的以设计思路的方式概括地介绍了电路组成。概括地说,本书本着原理从简、应用从详的原则处理原理与应用的关系。

由于电子元器件参数的离散性及装配工艺等因素的影响,各设计实例中的元器件参数须在调试中根据需要做进一步的调整。因为在第 2 章中单独介绍了集成运放调零、相位补偿与保护电路的设计,所以为避免重复和节省篇幅,在第 3 章至第 7 章的各实例中没有涉及集成运放调零、相位补偿与保护电路的设计内容。如遇到自激振荡及需要失调调零和对集成运放进行保护时,应按第 2 章中所介绍的内容将设计的电路进行完善。

本书在编写过程中参考了有关文献,由于涉及文献较多,在参考文献中未能一一列举,故在此向被引用文献的作者表示忠心的谢意。

参与本书编写工作的有李建国、毕雯静、赵晓阳、杨璐、王小溪、张兆鹏、张希娟、詹乐、陈众、唐天诚、李奇峰、王耀华、马赫男、刘维秦、任东锋、姚旭、皮锦伟、张余、董志雄、李欣轶等。

作者热诚期望本书能在集成运放与电子电路之间架起一座桥梁,使读者应用本书能够简捷地进行集成运放应用电路的设计。由于作者的实践经验和理论水平有限,疏漏谬误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 著 者

目 录

第 1 章 集成运放应用电路设计须知	1
1.1 集成运放简介	2
1.1.1 集成运放的内部框图、分类和图形符号	2
1.1.2 集成运放的引脚功能、封装及命名方法	3
1.1.3 集成运放的参数	4
1.2 理想运算放大器	8
1.2.1 运放的理想参数及理想运放的电路模型	8
1.2.2 简化设计的基本准则	8
1.3 选择电阻器须知	9
1.3.1 电阻器系列及温度系数	9
1.3.2 常用电阻器的结构与特点及参数	12
1.4 选用电容器须知	16
1.4.1 电容器容量系列、损耗及绝缘电阻	16
1.4.2 常用电容器的类型、特点及规格	17
1.5 集成运放的电源	19
1.5.1 集成运放电源的选择	19
1.5.2 各类电源系列	20
1.5.3 集成运放电源使用注意事项	20
第 2 章 集成运放调零、相位补偿与保护电路的设计	21
2.1 偏置电流补偿电路及调零电路的设计	22
2.1.1 偏置电流补偿电路的设计	22
2.1.2 调零电路的设计	23
2.2 相位(频率)补偿电路的设计	34
2.2.1 一类相位补偿电路的设计	34
2.2.2 二类相位补偿电路的设计	39
2.2.3 三类相位补偿电路的设计	43
2.2.4 其他相位补偿电路的设计	47
2.3 集成运放保护电路的设计	49
2.3.1 电源端保护电路的设计	49

2.3.2	输入端保护电路的设计	51
2.3.3	输出端保护电路的设计	54
第 3 章	运算电路、放大电路的设计	58
3.1	反相比例放大电路的设计	59
3.1.1	基本反相比例放大电路的设计	60
3.1.2	高输入阻抗、高增益、增益可调反相比例放大电路的设计	63
3.1.3	单电源反相比例放大电路	65
3.2	同相放大电路的设计	67
3.2.1	同相比例放大电路的设计	68
3.2.2	电压跟随器的设计	71
3.2.3	同相放大与反相放大转换电路的设计	76
3.3	加、减运算电路的设计	79
3.3.1	加法运算电路的设计	79
3.3.2	减法运算电路的设计	83
3.4	积分、微分电路的设计	89
3.4.1	积分电路的设计	89
3.4.2	微分电路的设计	94
3.5	对数、反对数、平方根、乘法、除法电路的设计	96
3.5.1	对数、反对数、平方根电路的设计	96
3.5.2	乘、除法电路的设计	101
3.6	应用集成运放组成专用放大器的电路设计	104
3.6.1	低频放大器与高压放大器的设计	104
3.6.2	电荷放大器与电流放大器的设计	107
3.6.3	数控增益、步进增益放大器的设计	109
3.6.4	模拟开关与集成运放构成放大电路的设计	112
第 4 章	信号处理电路的设计	123
4.1	电压比较器的设计	124
4.1.1	过零比较器、单值比较器及窗口比较器的设计	124
4.1.2	迟滞比较器的设计	136
4.2	有源滤波器的设计	150
4.2.1	低通滤波器的设计	150
4.2.2	高通滤波器的设计	156
4.2.3	带通、带阻滤波器的设计	160
4.2.4	三阶滤波器、移相滤波器、音调控制器的设计	173

4.3	整流电路的设计	182
4.3.1	半波整流电路的设计	182
4.3.2	全波整流电路的设计	188
4.3.3	平均值及有效值电路的设计	203
4.4	峰值检波器与限幅器的设计	210
4.4.1	峰值检波器的设计	210
4.4.2	限幅器的设计	221
第 5 章	波形产生电路的设计	232
5.1	正弦波发生器的设计	233
5.1.1	文氏桥与 T 型桥正弦波发生器的设计	233
5.1.2	移相式、间接式正弦波发生器的设计	239
5.1.3	正弦波/余弦波变换器、正交振荡器的设计	243
5.2	方波、三角波、锯齿波、矩形波发生器的设计	247
5.2.1	方波、三角波发生器的设计	247
5.2.2	矩形波与锯齿波发生器的设计	251
5.3	多谐振荡器与压控振荡器的设计	262
5.3.1	多谐振荡器的电路设计	262
5.3.2	压控振荡器的电路设计	268
第 6 章	测量电路的设计	276
6.1	电子测量的电路设计	277
6.1.1	电压表、电流表的电路设计	277
6.1.2	电阻及其他电参数测量电路的设计	287
6.2	非电量测量的电路设计	295
6.2.1	温度测量电路的设计	295
6.2.2	应变 (ε) 测量电路的设计	303
6.2.3	力、压力及其他参数测量电路的设计	308
第 7 章	电源电路及其他电路的设计	318
7.1	恒流源电路的设计	319
7.1.1	由集成运放与三极管构成恒流源的电路设计	319
7.1.2	电压/电流变换器的电路设计	323
7.2	稳压器与基准电压源的电路设计	328
7.2.1	稳压器的电路设计	328
7.2.2	基准电压源的电路设计	337
7.3	集成运放其他应用电路的设计	345

7.3.1 接口电路与逻辑电路的设计	345
7.3.2 驱动器与衰减器的电路设计	351
7.3.3 阻抗变换电路及其他电路的设计	356
参考文献	367

第 1 章

集成运放应用电路设计须知

-
- 🔔 集成运放简介
 - 🔔 理想运算放大器
 - 🔔 选择电阻器须知
 - 🔔 选用电容器须知
 - 🔔 集成运放的电源
-



1.1 集成运放简介

输出信号是输入信号运算结果的集成电路被称为集成运算放大器，简称集成运放。

1.1.1 集成运放的内部框图、分类和图形符号

1. 集成运放的内部框图

集成运放的内部框图如图 1.1.1 所示，主要由输入级、中间级、输出级和偏置电路四部分组成。

输入级采用差动放大器电路，决定整个集成运放的输入阻抗、共模抑制比、零点漂移、信噪比及频率响应等。中间级的主要作用是提高集成运放的电压增益。输出级采用射极输出器电路，决定集成运放的输出阻抗和输出功率。偏置电路采用不同形式的电流源电路，为各级提供小而稳定的偏置电流。

2. 集成运放的分类

集成运放按用途可分为通用型集成运放和专用型集成运放。通用型集成运放又分为低增益、中增益和高增益三类，也可称为通用 I 型、通用 II 和通用 III 型集成运放。专用型集成运放又分为低功耗型、高输入阻抗型、高速型、高压型、电流型、跨导型及程控型等集成运放。

集成运放按集成个数可分为单运放、双运放及四运放。

3. 集成运放的图形符号

集成运放的图形符号如图 1.1.2 所示。方框是集成器件的通用符号，方框内的“▷”表示放大器，“∞”表示开环增益为无穷大。

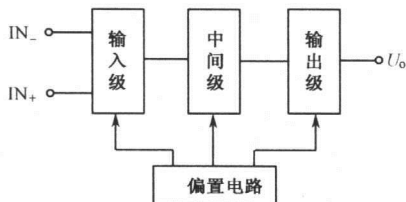


图 1.1.1 集成运放的内部框图

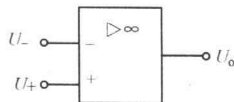


图 1.1.2 集成运放的图形符号

集成运放有两个输入端、一个输出端。两个输入端分别标注“-”、“+”。当输入 U_i 经“-”端输入时，输出信号 U_o 与输入信号 U_i 相位相反，故“-”端称为反相输入端。当输入 U_i 经“+”端输入时， U_o 与 U_i 相位相同，故“+”端称为同相输入端。

1.1.2 集成运放的引脚功能、封装及命名方法

1. 集成运放的引脚功能

集成运放的引脚除两个输入端和一个输出端外，还有正、负电源端，有的还有接地端、调零端、补偿端等。集成运放常用引脚符号及功能见表 1.1.1。

表 1.1.1 集成运放常用引脚符号及功能

符 号	功 能	符 号	功 能
A_z	自动调零	IN_-	反相输入
BI	偏置	NC	空端
BOOSTER	负载能力扩张	OA	调零
BW	带宽控制	OUT	输出
COMP	相位补偿	OSC	振荡信号
C_x	外接电容	S	选通
DR	比例分频	U_{CC}	正电源
GND	接地	U_{EE}	负电源
IN_+	同相输入		

2. 集成运放的封装

集成运放的封装形式有：双列直插（塑料、陶瓷）封装，引脚数有 8、14、16 三种；金属圆壳封装，引脚数有 8、10、12 三种；单列直插封装、扁平封装及金属菱形封装等。集成运放的外形如图 1.1.3 所示。

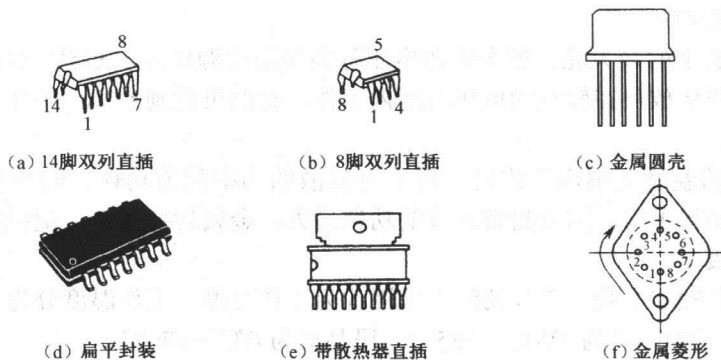


图 1.1.3 集成运放的外形

3. 集成运放型号的命名

集成运放型号由前缀、序号、后缀三部分组成。前缀用字母或数字与字母表示，表示标准或厂商。部分前缀代表的意义见表 1.1.2。

表 1.1.2 部分集成运放型号前缀代表的意义

前 缀	意 义	前 缀	意 义	前 缀	意 义
CF	中国线性电路	MC	美国摩托罗拉公司	MA	美国仙童公司
F	部标准（中国）	HA	日本日立公司	CA	美国无线电机公司
7F	国营 777 厂	AN	日本松下公司	LM	美国国家半导体公司

序号：同一型号，各国所用序号相同，如 F358、7F358、LM358、AN358 等。序号还有如下规律：序号是 1 字头的为 I 类产品（军品级）；2 字头的为 II 类产品（工业品级）；3 字头的为 III 类产品（民品级）。例如，7F158/258/358 分别对应三类产品。三类产品主要是工作温度不同：I 类的工作温度为 $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ ，II 类的工作温度为 $-25^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ ，III 类的工作温度为 $0^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

后缀：后缀代表的意义有两种：其一代表封装形式，但没有统一的标准，需查各厂家的产品样本；其二代表几类产品。例如，I 类产品的后缀为 M，II 类产品的后缀为 L，III 类产品的后缀为 C，如 7F741M/7F741C（该产品无 II 类产品）。

1.1.3 集成运放的参数

集成运放的参数主要有极限参数、直流参数及交流参数三类。

1. 极限参数

（1）最高电源电压

加到集成运放上的最大允许安全电源电压称为最高电源电压。 $\pm 15\text{V}$ 电源是推荐的使用电源，但大多集成运放可在较宽的电压范围内工作，有的可低到 $\pm 1\text{V}$ ，有的可高到 $\pm 40\text{V}$ 。

（2）功耗 P_D

器件在规定的温度范围内工作时，可安全耗散的功率称为功耗。同一型号集成运放的封装形式不同，功耗不同。陶瓷封装允许的功耗最大，金属封装居中，塑料封装最小。

（3）工作温度 T_A

能保证器件在额定参数下工作的温度范围称为工作温度。工作温度分为三级：军品级为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ；工业品级为 $-25^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ；民品级为 $0^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 。

（4）差动输入电压 U_{IDM}

能安全加在两输入端之间的最大电压称为差动输入电压。集成运放因输入级电路不同，故差模输入电压不同，使用时需查产品手册。

(5) 共模输入电压 U_{ICM}

将两个输入端短接（短路），能安全加在短路线与放大器地线间的最大电压称为共模输入电压。共模输入电压的极限值有正、有负，通常其绝对值是相等的。

(6) 输出短路时间 t_{OS}

集成运放能承受的由输出端到地或任一电源端的直接短路的时间称为输出短路时间。

(7) 引线温度 T_h

在规定的时间内，器件能承受的焊接温度称为引线温度，如 10s, 300℃。

(8) 储存温度 T_{stg}

器件处于不工作状态，存放的环境温度称为储存温度，一般为 -65℃ ~ +150℃。

2. 直流参数

(1) 输入失调电压 U_{IO}

当集成运放的直流输出为零时，在两输入端之间所加的补偿电压称为输入失调电压。通用型集成运放的 U_{IO} 为 $\pm(1\sim10)\text{mV}$ ，高精度集成运放的 U_{IO} 一般小于 $\pm0.5\text{mV}$ ，有的不到 $1\mu\text{V}$ 。

(2) 输入失调电压温度系数 α_{VIO}

在一定的温度范围内，输入失调电压的变化量与温度变化的比值称为输入失调电压的温度系数。通用型集成运放的 α_{VIO} 为 $\pm(10\sim20)\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，高精度集成运放的 α_{VIO} 为 $\pm1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

(3) 输入偏置电流 I_{IB}

当集成运放的直流输出为零时，其两输入端偏置电流的平均值称为输入偏置电流。采用双极型三极管作为输入级集成运放的 I_{IB} 为 $10\text{nA}\sim10\mu\text{A}$ ，采用场效应管为输入级集成运放的 I_{IB} 一般小于 1nA 。

(4) 输入失调电流 I_{IO}

当集成运放的直流输出为零时，其两输入端偏置电流的差称为输入失调电流。通用型集成运放 I_{IO} 一般为 I_{IB} 的 10%，高精度集成运放的 I_{IO} 很小。场效应管作为输入级的集成运放因 I_{IB} 很小，所以 I_{IO} 更小。

(5) 输入失调电流温度系数 α_{IIO}

在一定的温度范围内，输入失调电流的变化量与温度变化的比值称为输入失调电流的温度系数。双极型三极管作为输入级的集成运放因对称性好，所以 α_{IIO} 更小。

(6) 开环差模直流电压增益 A_{VD}

集成运放工作在线性区时，两输入端输入差模电压，输出电压的变化量与输入电压变化量之比称为开环差模直流电压增益，简称差模电压增益或开环增益，一般大于 80dB。

(7) 共模电压增益 A_{VC}

集成运放对共模信号的电压放大倍数称为共模电压增益。理想集成运放的输入级是匹配的，共模电压增益为零，实际集成运放不完全匹配， A_{VC} 不为零。

(8) 共模抑制比 K_{CMR}

集成运放工作在线性区时, 其差模电压增益 A_{VD} 与共模电压增益 A_{VC} 之比称为共模抑制比。通常用 $K_{\text{CMR}}=20\lg(A_{\text{VD}}/A_{\text{VC}})\text{dB}$ 表示共模抑制比, 一般都大于 80dB 。

(9) 输出峰峰值电压 U_{OPP}

输出峰峰值电压也称为饱和电压 U_{B} 。集成运放在一定电源和负载电阻下, 输出的最大电压幅度称为输出峰峰值电压。当电源电压为 $\pm 15\text{V}$ 时, U_{B} 都不小于 $\pm 10\text{V}$ 。

(10) 电源电压抑制比 K_{SVR}

集成运放的输入失调电压随电源电压的变化率称为电源电压抑制比。通常用 $K_{\text{SVR}}=20\lg(\Delta U/\Delta U_{\text{IO}})\text{dB}$ 表示电源电压抑制比。 ΔU 为电源电压的变化量, ΔU_{IO} 为输入失调电压的变化量。 K_{SVR} 值大约为几十分贝到几百分贝。

(11) 差模输入电阻 R_{ID}

集成运放开环时, 输入电压的变化 ΔU_{ID} 与引起的输入电流变化 ΔI_{I} 之比, 即 $R_{\text{ID}}=\Delta U_{\text{ID}}/\Delta I_{\text{I}}$ 称为差模输入电阻。双极型三极管输入级的集成运放 R_{ID} 一般在 $20\text{k}\Omega\sim 2\text{M}\Omega$ 之间, 超 β 输入级集成运放的 R_{ID} 大于 $5\text{M}\Omega$, FET 为输入级的集成运放, R_{ID} 为 $10^9\sim 10^{12}\Omega$ 。

(12) 共模输入电阻 R_{IC}

集成运放对共模信号呈现的电阻称为共模输入电阻。通常 R_{IC} 比 R_{ID} 高两个数量级。

(13) 输出电阻 R_{o}

在开环时, 集成运放等效为电压源的等效动态电阻称为输出电阻。 R_{o} 在数十欧姆至数百欧姆之间。

3. 交流参数

(1) 开环带宽 BW

在集成运放开环时, 其开环电压放大倍数随频率的升高而下降, 当下降到直流增益的 0.707 倍 (-3dB) 时所对应的信号频率称为开环带宽。

(2) 单位增益带宽 (单位增益频率) BW_{G}

开环小信号电压放大倍数为 1 时的频率称为单位增益带宽。通用集成运放 BW_{G} 的典型值为 1MHz , 高速集成运放的 BW_{G} 可达 $10\sim 15\text{MHz}$ 。

(3) 增益带宽积 GBW

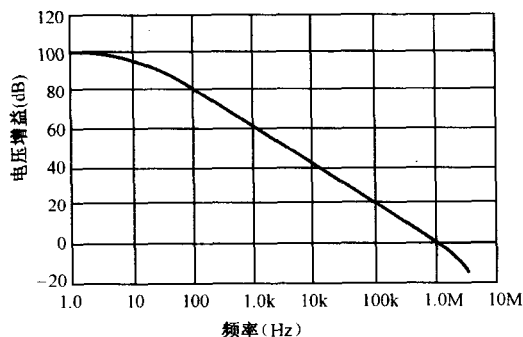
在指定频率下, 开环增益与带宽的乘积称为增益带宽积, 即

$$\text{GBW}=A_{\text{VD}}\times\text{BW}$$

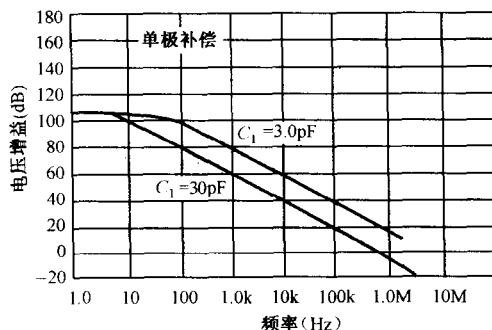
单极点的集成运放, GBW 是恒定的, 可通过图 1.1.4 说明 BW、 BW_{G} 、GBW 三者的关系。

7F741 型集成运放不需外加频率补偿 (没有频率补偿端), 曲线的斜率为 $20\text{dB}/10$ 倍频程。2 倍频程对应的电压放大倍数为 2 , $20\lg 2=6\text{dB}$, 即曲线的斜率为 $6\text{dB}/\text{倍频程}$ 。特性曲线只有一个转折点的称为单极点。极点处增益下降 -3dB , 极点频率约为 7Hz , 即开环带宽

BW 为 7Hz。放大倍数为 1 时对应的频率为 1MHz, 即单位增益带宽 BW_G 为 1MHz。在 1MHz 时, 增益带宽积 GBW 为 1×10^6 。当频率为 100 kHz 时, 放大倍数约为 10。 $GBW = 10 \times 10^5 = 1 \times 10^6$ 。



(a) 7F741 的开环频响



(b) 7F301A 的开环频响

图 1.1.4 集成运放典型增益频率特性曲线

7F301A 型集成运放具有专用频率补偿端 (1、8 脚), 外接补偿电容为 C_1 。当 $C_1 = 30\text{pF}$ 时, 与 7F741 型集成运放的特性曲线相仿。当 $C_1 = 3\text{pF}$ 时, $BW \approx 50\text{Hz}$, $BW_G \approx 10\text{MHz}$ 。

(4) 电压转换速率 S_R

在输入规定阶跃大信号时, 集成运放输出电压对时间的最大变换速率称为电压转换速率 S_R , 也称压摆率。一般集成运放的 S_R 在 $1\text{V}/\mu\text{s}$ 以下, 高速集成运放的 S_R 可达几十伏至几百伏每微秒。一般是在闭环状态 (电压跟随器) 下测量 S_R 。

(5) 最大功率带宽 f_{BWP}

集成运放接成单位增益放大器, 输入正弦信号, 输出电压和输出电流为额定值, 波形失真小于规定值 (1%) 时所对应的最大信号频率称为最大功率带宽 f_{BWP} 。 f_{BWP} 通常比 BW_G 约小 100 倍。 f_{BWP} 与 S_R 的关系为

$$S_R = 2\pi U_{OP} f_{BWP}$$

式中, U_{OP} 为输出电压的峰值。

(6) 瞬态响应 (上升) 时间 t_R

小信号条件下, 在闭环回路阶跃脉冲响应曲线上, 从 10% 高度到 90% 高度所对应的时间间隔称为瞬态响应时间。单位增益带宽 BW_G 与上升时的时间关系为

$$BW_G = 0.35/t_R$$

式中, t_R 的单位为 μs , BW_G 的单位为 MHz。

(7) 建立时间 t_s

当集成运放闭环增益为 1 时, 在额定负载条件下, 输入阶跃大信号后, 输出达到规定精度 (1% 或 0.1% 等) 输出值时所需的时间称为建立时间。高速集成运放在 0.1% 的精度下,