TI 2012年教学者年会

浙江大学—德州仪器模拟电子技术基础实验课程建设

浙江大学电工电子教学实验中心 樊伟敏

2014年11月29日

联合创新中心——模拟技术联合实验室

模电实验室4间，每间280M^2

同时可开设180组

模电基础实验教程

德州仪器大学计划资助项目

模拟电子技术基础实验教程

浙江大学电工电子基础实验中心 编

二〇一四年十月

目　　录

第一篇　电子技术实验基础知识 1
第一章　实验室安全操作规程 1
第二章　实验室常用仪器与工具 4
第三章　电子技术实验一般要求 24
第四章　电子电路设计调试与测量技术 25
第二篇　模拟电子技术实验 38
实验一　TINA_TI 软件使用练习 38
实验二　三极管共射放大电路调试和参数测量 53
实验三　集成运算放大器的指标测试与基本运算电路设计 66
实验四　电压比较器电路 79
实验五　信号发生电路 92
实验六　光耦隔离放大器 106
实验七　有源滤波器设计 111
实验八　仪用放大器 125
实验九　可编程增益放大器 131
实验十　扩音器综合设计 134
实验十一　D/A 和 A/D 转换电路 146
第三篇　TINA-TI 模拟电路设计、仿真和分析软件 183
【附录一】　常用电子元器件的识别与选择 229
一、电阻和电容元件 229
二、电感器与变压器 238
三、半导体器件 241

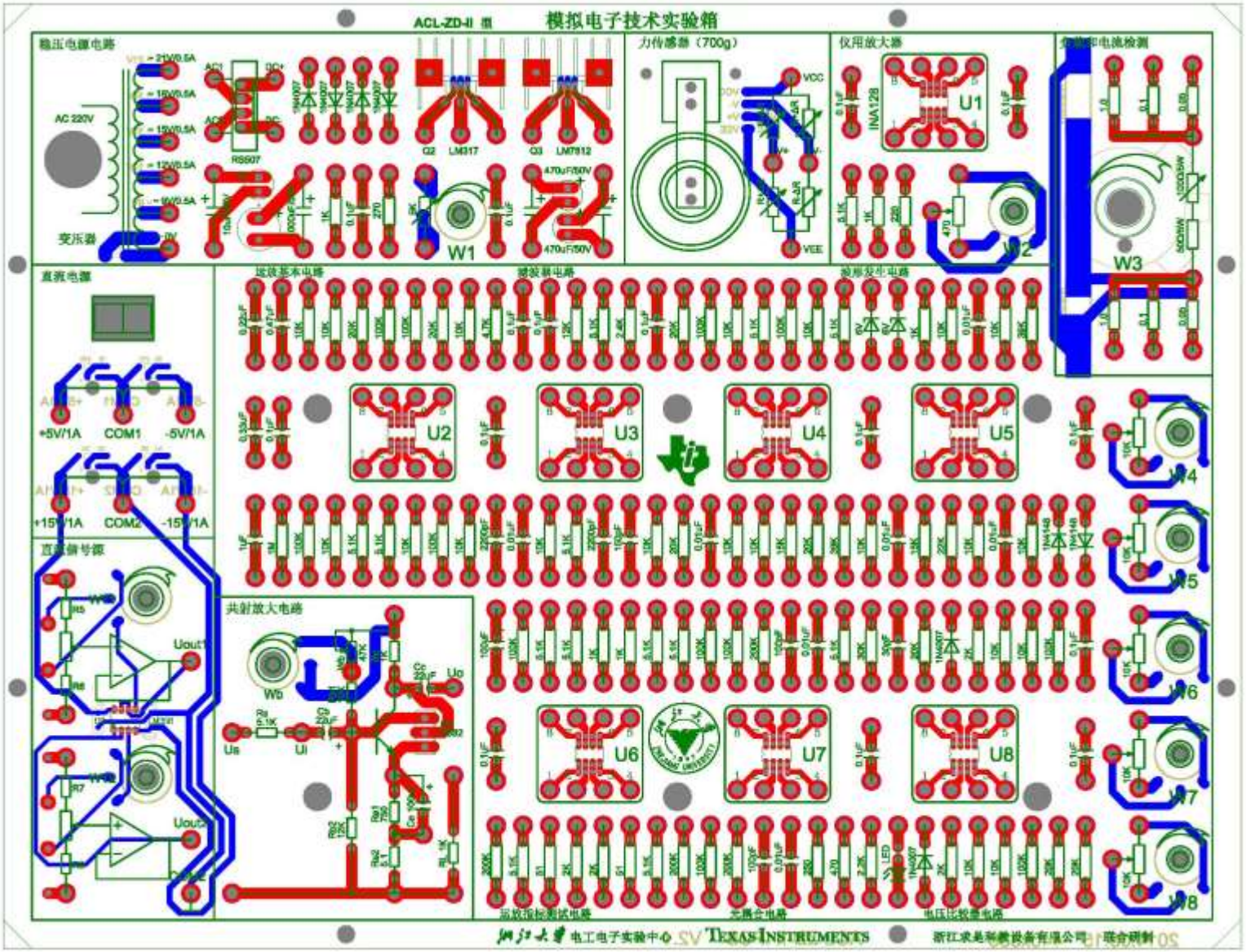
模拟电子技术基础实验教程

模电基础实验内容

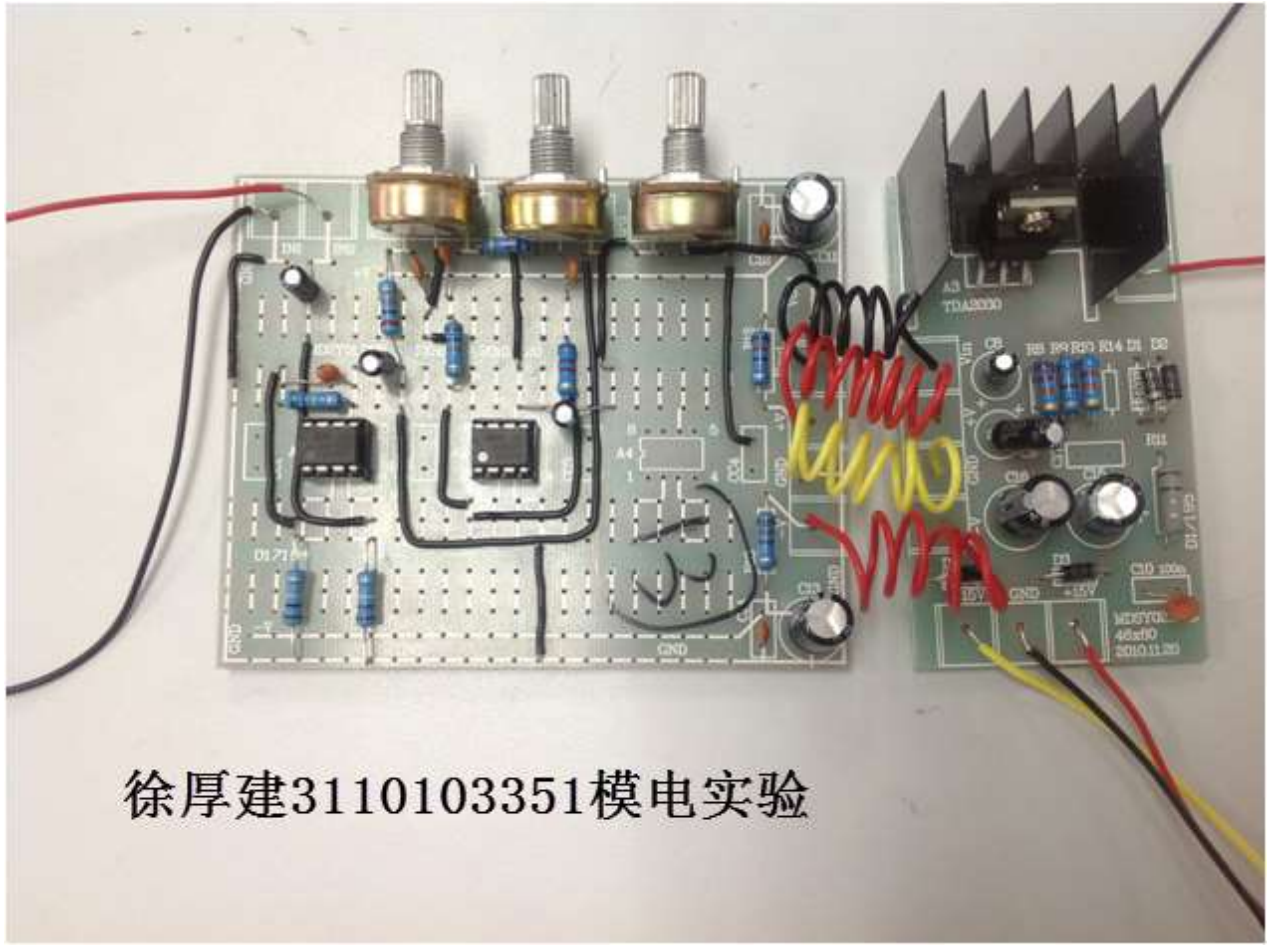
序号	项目名称	实验内容
1	常用仪器的使用	示波器、信号源、直流稳压电源的使用方法。
2	EDA软件的使用	共射放大电路的电路编辑、参数设置、特性分析等。
3	共射电路的调测	调测静态工作点及各项动态指标；研究对电路性能影响。
4	基本运算放大电路	测量运放技术指标；调测基本运算电路。
5	仪用运放的应用	工作原理分析、电路实现及与普通运放的性能比较。
6	比较器的应用	集电极开路的应用，电压比较器与普通运放的性能比较。
7	滤波器基础	二阶有源滤波器的EDA辅助分析和设计方法，电路的实现。
8	扩音机电路	设计并制作含输入、音调及功率级的音响放大器，整机测评。

模电基础实验平台

模电基础实验箱布局


ACL-ZD-II 型
模拟电子技术实验箱
稳压电源电路
AC 220V
变压器
RS607
Q2 LM317
Q3 LM7812
W1
力传感器（700g）
VCC
VEE
仪用放大器
INA128
U1
U2
W2
W3
直流电源
+5V/1A
COM1
-5V/1A
+15V/1A
COM2
-15V/1A
直流信号源
共射放大电路
W5
Uout1
Uout2
U2
U3
U4
U5
U6
U7
U8
W4
W5
W6
W7
W8
TEXAS INSTRUMENTS

模电基础实验学生实物



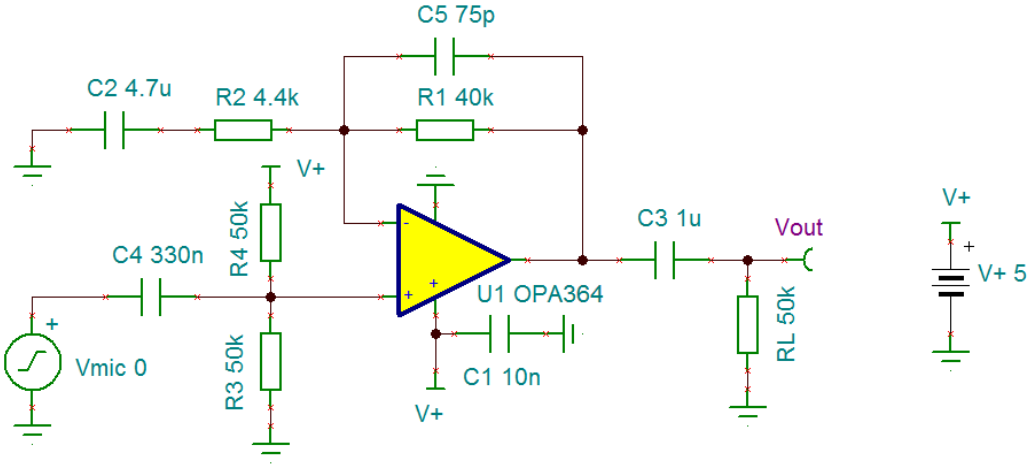
课程案例（一）TINA-TI仿真软件

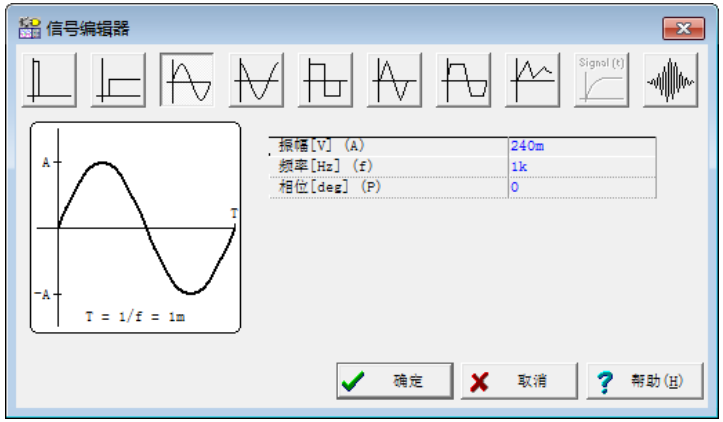
- TINA-TI电路仿真工具适用于模拟电路和开关电源电路的仿真，是采用TI器件进行电路开发与测试的理想选择。
- TINA-TI软件具有以下几个显著的特点：
  - 全简体中文的界面，易学易用；能轻松处理复杂电路。
  - 几乎所有的运算放大器、特殊功能放大器和开关电源芯片制作了TINA的器件模型，并将不断地更新。这对在第一时间了解和使用TI器件提供了不可多得帮助；
  - 已加入国家半导体(National Semiconductor)器件的TINA的器件模型。
  - 不仅可执行DC、AC、瞬态、傅立叶、噪声等分析，还提供了函数发生器、万用表、示波器、XY记录仪和信号分析仪等虚拟仪器。

图137 设置驻极体麦克风发生器的参数输出　　图138输入输出波形

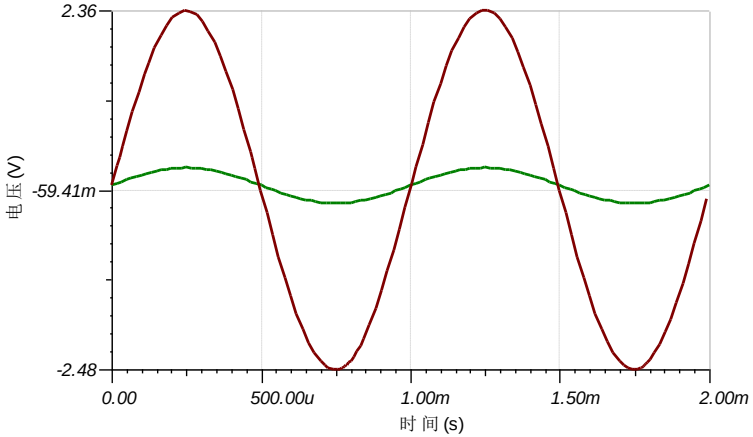
课程案例（一）单电源同相前置放大器

电压增益为20dB，可用于驻极体麦克风信号的放大，运算放大器采用轨到轨输出的OPA364，可有效地提高其输出电压摆幅。



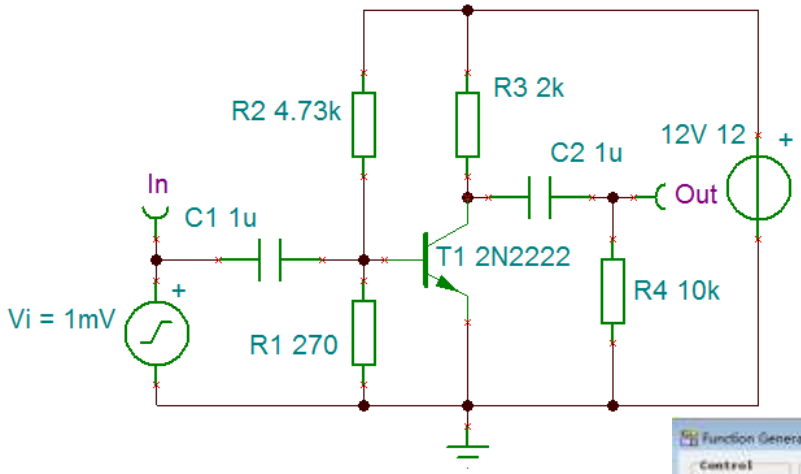


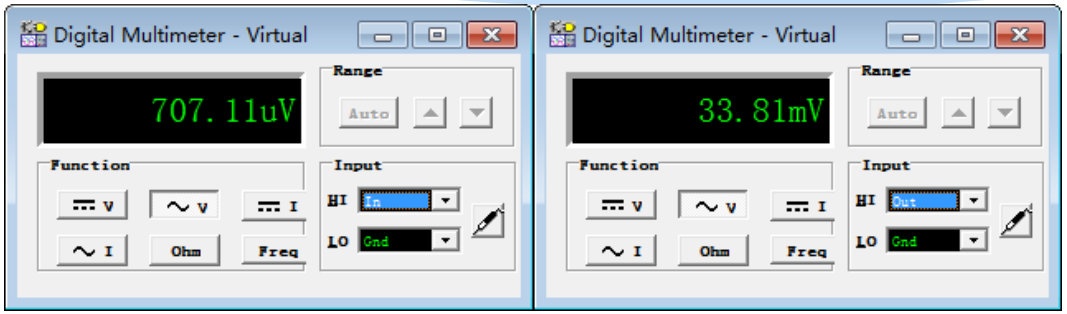
驻极体麦克风发生器的参数设置



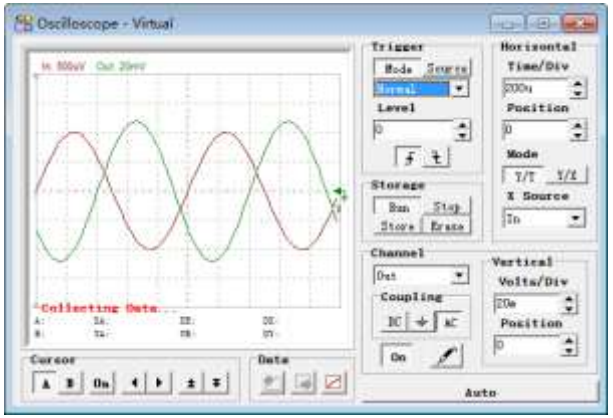
输入输出波形

课程案例（一）晶体管共射放大器电路

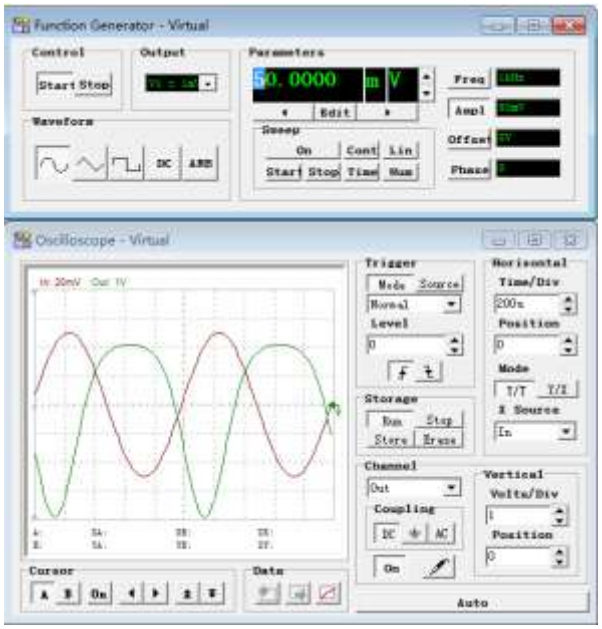




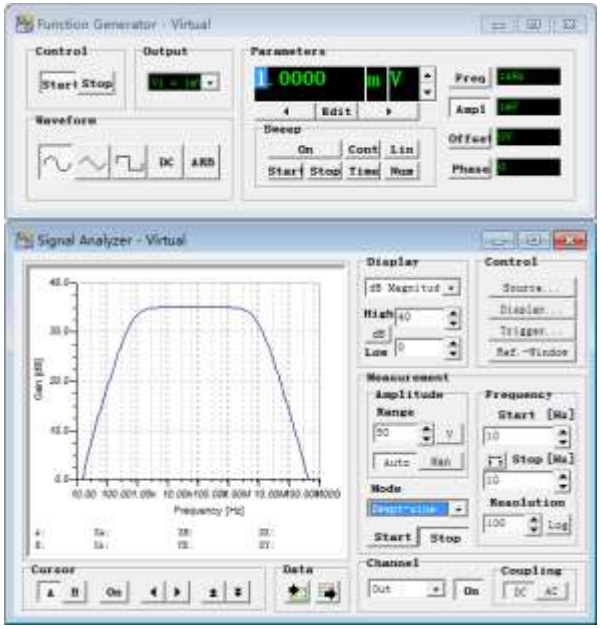
万用表显示输入输出交流电压值



示波器显示的输入输出端波形



在50mV电压下的示波器波形



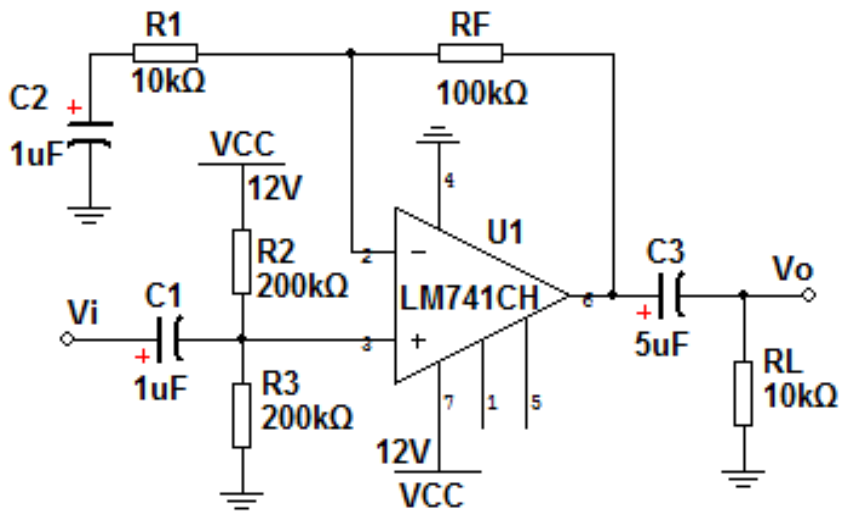
信号分析仪显示幅频特性

课程案例（二）集成运算放大器的选用

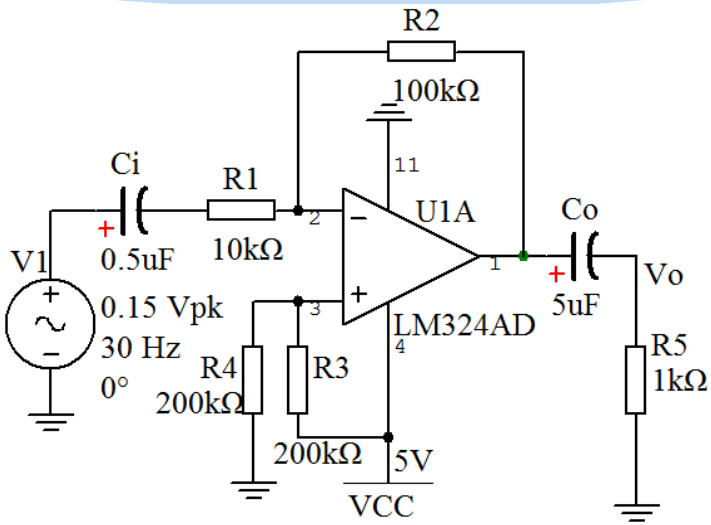
常用运算放大器及参数

型号	输入失调电压 VIO/mV	开环差模电压增益 Avd/dB	共模抑制比 KCMR/dB	差模输入电阻 Rid/MΩ	输出电阻 RO/Ω	单位增益带宽BWG/MHz	转换速率 SR/Vμs-1	工作电源电压Vcc、Vee/V
μA741	1	106	90	2	75	1	0.5	±3~±22
μA747	5	94	70	0.3	75	1	0.5	±3~±22
NE5532	0.5	88	70	0.3		10	9	±5~±15V
LM358	7	88	65			0.7	0.3	±1.5~±16V
LM324	3	120	70			1	0.5	±1.5~±16V
LF356	3		100	10		5	12	±22
TL084	3	120	88	10		4	13	±5~±18
OP07	10		120	33	60	0.5	0.17	±3~±22
OP37	0.01		120	2	70	63	17	±22

课程案例（二）运算放大器的供电方式



单电源同相输入交流放大电路



单电源供电的反相放大器

C_i和C_o耦合电容将运放电路和其他电路直流隔离，避免了各部分直流电位的相互影响。同时在同相输入端加上$V_{CC}/2$直流“偏置”电压，将输入端电位抬高到$V_{CC}/2$，使电压范围为双电源供电时的一半，输出电压幅度相应会比较小。

C_i和C_o耦合电容的取值由所需的低频响应和电路的输入阻抗(对于C_i)或负载(对于C_o)来确定。C_i及C_o可由下式来确定：$C_i=1/2\pi f_o R_1$；$C_o=1/2\pi f_o R_L$，式中，f_o是所要求最低输入频率。

R_2和R_3分压电阻通常按：$R_2=R_3\approx 2R_f$选取。

课程案例（二）轨到轨运算放大器

轨到轨(rail-to-rail)运算放大器输入电路采用了一种特殊的结构，使输入电压可达到每一个电源端点的几个毫伏之内，甚至可略大于电源端点电压。输出电路一般采用共射极或共源极输出电路，晶体管上虽有一定的压降，但可使输出电压的摆幅非常接近电源轨，两者间的差值可在几毫伏内。

轨到轨运算放大器的输出提供了最大的输出电压摆幅，实现了最宽的动态范围。在信号摆幅受到限制的低工作电压场合，该轨到轨性能尤为重要，它在整个输入电压范围（甚至略高于电源电压）和输出信号幅值接近电源电压也不会发生截止或饱和失真。例如，在＋5V单电源供电的条件下，TLC2274（轨到轨）的动态范围可达4.8V，而OP07（非轨到轨）的动态范围仅3V左右。

课程案例（二）轨到轨运算放大器

TI公司部分通用型轨到轨运算放大器及参数

型号	功能	压摆率(V/μs)	带宽(MHz)	电源电压(V)	输入失调电压(mV)	输入失调电流(nA)
OPA830	低功耗单电源		250	2.8~11	0.5	10
OPA835	超低功耗、轨至轨输出、负轨输入	160	56	2.5~5.5	0.5	400
OPA836	超低功耗、轨至轨输出、负轨输入	560	205	2.5~5.5	0.4	1000
OPA2830	二路、低功耗、单电源宽带	500	230	3~11	5.5	10000
OPA2832	双通道低功耗高速固定增益	320	210	3~11	6	10000
OPA2835	超低功耗、轨至轨输出、负轨输入	160	56	2.5~5.5	0.5	400
OPA2836	超低功耗、轨至轨输出、负轨输入	560	205	2.5~5.5	0.4	1000
OPA4830	低功耗单电源宽带	500	230	2.8~11	6	10000
THS4221	低失真高速轨至轨输出	975	230	5~15	10	5000
THS4222	低失真高速轨至轨输出	975	230	5~15	3	5000
THS4225	低失真高速轨至轨输出	975	230	3~15	10	5000
THS4226	低失真高速轨至轨输出，具有关断状态	975	230	3~15	3	5000
THS4281	极低功耗高速轨至轨输入/输出电压反馈	35	90	2.7~15	3.5	1000

课程案例（二）电压 反馈与电流反馈型运放

电压反馈型运算放大器：传统的运算放大器均为电压反馈型运算放大器，其输出电压与运放同相输入端和反相输入端的电位差有关，无论采用何种反馈形式，最终都是通过产生差模输入电压，经运算放大器放大，即反馈的误差信号为电压形式的闭环结构称为电压反馈型运放电路。理想的电压反馈放大器具有高输入阻抗，零输入电流，并保持零输入电压的电压反馈，其动态特性受增益带宽积(GBP)和转换速率(SR)的影响。

电流反馈型运算放大器：电流反馈型运算放大器采用了另一种电路结构，它以电流为输入信号，以电压为输出信号，无论采用何种反馈形式，最终都是通过产生差值输入电流，经运算放大器放大，即反馈的误差信号为电流形式的闭环结构。理想的电流反馈运算放大器具有低阻抗输入，零输入电压，并使用电流反馈，以保持零输入电流。电流反馈型运算放大器的开环增益为输出电压对输入电流之比(Vo/Iin)，单位用欧姆(Ω)表示。因此，电流反馈型运算放大器可称作互阻放大器。电流反馈型运算放大器强调的是电流模运算，与电压模运算相比，其寄生节点电容的影响小。采用高速互补对称双极型工艺制造的电流反馈型运算放大器的转换速率比电压反馈型运算放大器要快几个数量级。能更好的解决高速问题。

课程案例（二）电压 反馈与电流反馈型运放

TI公司部分电流反馈放大器及参数

型号	功能	转换速率(V/us)	最小稳定增益(V/V)	带宽(MHz)	电源电压(V)	电压噪声(nV/Hz1/2)	输入失调电压(mV)	输入失调电流(nA)	输出电流(mA)
OPA683	具有禁用功能的极低功耗	400	1	200	5~12	4.4	3.5	5300	110
OPA684	具有禁用功能的低功耗	820	1	210	5~12	3.7	3.5	13000	120
OPA691	具有禁用功能的宽带	2100	1	280	5~12	1.7	2.5	45000	190
OPA695	具有禁用功能的超宽带	2900	1	1700	5~12	1.8	3	41000	120
OPA2674	具有电流限制的双宽带高输出	2000	1	250	5~12	2	1	35000	500
OPA2683	极低功耗双路	400	1	200	5~12	4.4	3.5	5300	110
OPA2691	具有禁用功能的双路宽带	2100	1	280	5~12	1.7	3	45000	190
OPA2694	二路、宽带、低功耗	1700	1	1300	7~12.6	2.1	3.2	20	70
OPA2695	具有禁用功能的超宽带	2900	1	1100	3.6~12	1.8	3.5	30000	120
OPA3684	具有禁用功能的低功耗三路	820	1	210	5~12	3.7	3.5	13000	120
OPA3691	具有禁用功能的三路宽带	2100	1	280	5~12	1.7	3	45000	190
OPA3695	具有禁用功能的超宽带	2400	2	900	3.6~12	1.8	3.5	30000	120
OPA4684	四路低功耗	750	1	250	5~12	3.7	4	15000	120
THS3001	420MHz	6500	1	420	9~32	1.6	3	15000	120
THS3061	高电压、高转换率	7000	1	300	10~30	2.6	4.5	40000	145
THS3091	单路高压低失真	7300	1	235	10~30	2	4	20000	250
THS3095	有断电功能的单路高压低失真	7300	1	235	10~30	2	4	20000	250
THS3111	单路低噪声高压	1300	1	100	10~30	3	8	6000	260
THS3202	2GHz	9000	1	2000	6.6~15	1.65	5	50000	115

课程案例（三）仪表放大器与通用运算放大器

表放大器与运算放大器有许多相同的基本参数和特性，如偏移电压、输入偏置电流、共模抑制比等；仪表放大器由两个以上（含两个）运算放大器与比例电阻构成。

仪表放大器是一种具有差分输入和相对参考端单端输出的闭环增益单元。通常仪表放大器的两个输入端阻抗平衡并且阻值很高，其输入偏置电流也应很低，与运算放大器一样，其输出阻抗很低。

运算放大器的闭环增益是由其反向输入端和输出端之间连接的外部电阻决定。而仪表放大器使用一个内部反馈电阻网络，它与其信号输入端隔离。对仪表放大器的两个差分输入端施加输入信号，其增益既可由内部预置，也可由用户通过引脚连接一个内部或者外部增益电阻器设置，该增益电阻器也与信号输入端隔离。

仪表放大器常被用来放大桥接传感器的差分输出以及微小的桥接器输出信号，并同时抑制较大的共模电压。它们能够提供极佳的准确度和性能，而所需的静态电流却非常之小。增益通常是利用外部电阻器来设置的。

课程案例（三）仪表放大器与通用运算放大器

TI仪表放大器中的常用产品表

器件	电源电压 (V)	Gain	CMRR G=100(dB)	带宽 (kHz) G=100	V_{IO} (uV) (max)	其他特点	封装
INA121	4.5-36	1-10k	100	50	500		DIP,SO
INA217	4.5-36	1-10k	100	800	300		DIP,SO
INA326	2.7-5.5	0.1-10k	100	1	100	轨到轨	MSOP
INA321	2.7-5.5	5-1k	90	50	1000	轨到轨	MSOP
INA128PA	4.5-36	1-10K	120	200	60		DIP, SOIC
INA118P	2.7-36	1-10K	107	70	55		DIP, SOIC
INA331	2.7-5.5	5-1K	90	2000	500	轨到轨	MSOP
INA333	1.8-5.5	1-1K	100	4	25	轨到轨, 自归零	MSOP

课程案例（四）电压比较器与集成运算放大器

比较器与运算放大器比较

参数名称	比较器	运算放大器
速度（响应时间）	Yes	No
逻辑输出	Yes	No
宽电压输入范围	Yes	Yes
低失调漂移	No	Yes

比较器的输出级主要有开路输出{集电极开路(Open-Collector Outputs)、集电极/发射极开路(Open-Collector/Emitter Outputs)、漏极开路(Open-Drain Output)}和推挽式输出(Push-Pull Output)两种输出电路结构。

(1) 集电极开路输出：集电极开路的比较器在使用时，需要外接上拉电阻R_PLL，上拉电阻与逻辑电源Vs+相连，逻辑电源的电压值，决定了比较器的可输出电压值。采用集电极开路输出的比较器可与各种逻辑器件系列连接，并可实现线与逻辑。

(2) 集电极/发射极开路输出：集电极/发射极开路输出的比较器均需要外接上拉或下拉电阻R_PLL，采用上拉电阻与逻辑电源Vs+相连或采用下拉电阻与逻辑电源Vs-相连，逻辑电源的电压值，决定了比较器的可输出电压值。采用集电极开路输出的比较器可与各种逻辑器件系列连接，并可实现线与逻辑。

(3) 漏极开路输出：漏极开路输出的比较器均需要外接上拉电阻R_PLL，采用上拉电阻与逻辑电源Vs+相连，逻辑电源的电压值，决定了比较器的可输出电压值。采用集电极开路输出的比较器可与各种逻辑器件系列连接，并可实现线与逻辑。

(4) 推挽式输出：不需要外接上拉电阻器，其输出逻辑电平取决于比较器的电源电压。

课程案例（四）电压比较器与集成运算放大器

TI比较器中的常用产品表

器件	说明	内含单元电路	每单元电路最大静态电流(mA)	最小输出电流(mA)	响应时间(低到高）μs	电源电压(V)	25℃时最大输入失调电压(mV)	输出类型
高速 响应时间≤ 0.1μs								
TLV3501	4.5ns 轨至轨高速	1, 2	5	20	0.004	2.7~5.5	5	推挽输出
TL3116	超快低功耗精密	1	14.7	5	0.0099	5~10	3	推挽输出
LM306	具有推挽输出的一路选通高速差动	1	10	100	0.028	15~24	5	推挽输出
LM311	具有选通信号的差动	1	7.5	25	0.115	3.5~30	7.5	集电极和发射器开路
低功率 每单元电路最大静态电流< 0.5mA								
TLV3401	单路毫微瓦功率漏极开路输出（轨-轨）	1, 2, 4	0.00055	1.6	80	2.5~16	3.6	漏极开路
TLV3701	单路毫微瓦功率推拉（轨-轨）	1, 2, 4	0.0008	1.6	36	2.5~16	5	推挽输出
TLV3491	单路毫微瓦功耗推挽输出	1, 2, 4	0.0012	5	6	1.8~5.5	15	推挽输出
TLV2302	纳功率运算放大器+集电极开路（轨-轨）	2, 4	0.0017	0.2	55	2.5~16	5	集电极开路
TLV2702	纳功率运算放大器+集电极开路（轨-轨）	2, 4	0.0019	0.2	36	2.5~16	5	推挽输出
低电压 VS ≤ 2.7V (min)								
TLV3491	低电压，毫微瓦功耗推挽输出	1, 2, 4	0.0012	5	6	1.8~5.5	15	推挽输出
TLV2352	双路低电压 LinCMOS(TM) 差动比较器	2, 4	0.125	6	0.2	2~8	5	漏极开路
TLC372	双路通用 LinCMOS(TM) 差动	2, 4	0.15	6	0.2	2~18	5	漏极开路
LM393	双路差动	2	0.5	6	0.3	2~30	5	集电极开路
LM339	四路差动比较器	4	0.5	6	0.3	2~30	5	集电极开路
TLV3401	单路毫微瓦功率漏极开路输出比较器	1, 2, 4	0.00055	1.6	80	2.5~16	3.6	漏极开路
TLV3701	单路毫微瓦功率推拉比较器	1, 2, 4	0.0008	1.6	36	2.5~16	5	推挽输出
组合比较器+运算放大器（轨-轨）								
TLV2302	纳功率带运放输出比较器	2	0.0017	0.2	55	2.5~16	5	漏极开路
TLV2702	纳功率带运放输出比较器	2, 4	0.0019	0.2	36	2.5~16	5	推挽输出
TLV3011	带参考电压微功率比较器	1	0.003	5	6	1.8~5.5	15	漏极开路
TLV3012	带参考电压微功率比较器	1	0.003	5	6	1.8~5.5	15	推挽输出

谢谢！