

國家科學叢書

運算放大器電路設計 實作手冊

Howard M. Berlin 著

陳 昇 譯



DESIGN
OF OP-AMP
CIRCUITS
WITH EXPERIMENTS

BY HOWARD M. BERLIN

DESIGN OF OP-AMP
WITH EXPERIMENT

運算放大器電路設計 實作手冊

原著者：Howard M. Berlin

譯 者：陳 昇

國家書店有限公司印行

有著作權
不准翻印

運算放大器電路設計 實作手冊

定價：新台幣壹佰捌拾元整

原著者：Howard M. Berlin

譯者：陳昇

總策劃：林洋慈

發行人：林大坤

發行者：國家出版社

總經銷：國家書店有限公司

郵撥：一〇四八〇一帳戶

公司：台北市新生南路一段126之8號三樓

電話：3912425・3926748-9

印刷所：東清印刷廠

1983年7月初版

行政院新聞局局版台業字第零陸叁貳號

原 序

今日使用最廣泛的 IC 首推運算放大器，因為它只需要簡單的代數基礎，使用起來非常方便。由於這個原因，今天我們設計電子電路比十數年前使用電晶體、真空管的時代要簡單多了！

本書討論有關基本運算放大器的設計和原理，其中包括了一系列（超過 35 個）實驗以說明線性放大器、微分器、積分器、電壓與電流轉換器、比較器、整流器、振盪器、主動濾波器和單電源供給的電路設計和工作原理。但是，這並不表示本書是一本涵蓋所有運算放大器的電路或特性的資料手冊（Sourcebook），本書的目的只是提供一些在設計複雜電路時的基礎。所以，本書非常適用於初學者和自己進修的人；或當作一般大學線性積體電路課程的補充材料，尤其是那些有實驗設備的學校。

本書前九章舉出許多雙極性（bipolar）和諾頓（Norton）式運算放大器的基本電路來討論，最後一章討論漸受歡迎並能放大低階信號（low level Signal）的儀表用放大器。運算放大器可說是實用上最厲害的 IC。

在這兒，謹對維琴尼亞工業技術學院及州立大學的 David Larsen 和 Peter Rony，Tychon 公司職員的建議和協助以及 E & L 儀器公司的支持致謝。此外，對允許我在書中複印技術資料的廠商在此一併致謝。

HOWARD M. BERLIN

目 錄

第一章 何謂運算放大器 OP—Amp ?	1
簡介.....	1
目標.....	1
理想運算放大器.....	2
op-amp 的符號.....	2
op-amp 的資料表.....	3
增益和頻率響應.....	10
電源供給.....	12
實作.....	12
麵包板.....	13
實驗規則.....	13
格式.....	15
一些有用的提示和建議.....	16
實作簡介.....	21
實驗一.....	35
實驗二.....	36
實驗三.....	37
實驗四.....	39
實驗五.....	41
實驗六.....	43

第二章 基本線性放大電路 47

簡介..... 47

目標..... 47

非反相放大器..... 47

反相放大器..... 50

直流輸出偏移..... 53

電壓隨藕器..... 58

差動放大器..... 58

實作簡介..... 63

實驗一..... 64

實驗二..... 65

實驗三..... 68

實驗四..... 70

實驗五..... 74

第三章 微分器及積分器 77

簡介..... 77

目標..... 77

微分器..... 77

積分器..... 82

實作簡介..... 84

實驗一..... 85

實驗二..... 88

第四章 電壓及電流電路 92

簡介.....	92
目標.....	92
定電流源.....	93
電流－電壓轉換器.....	93
電壓－電流轉換器.....	94
實作簡介.....	96
實驗一.....	96
實驗二.....	99
實驗三.....	101
實驗四.....	104
第五章 非線性訊號處理電路	107
簡介.....	107
目標.....	107
比較器.....	107
「精確」整流器.....	110
對數放大器.....	111
實作簡介.....	114
實驗一.....	115
實驗二.....	117
實驗三.....	120
實驗四.....	122
實驗五.....	124
第六章 信號產生器	127
簡介.....	127

目標.....	127
正弦波.....	127
正弦－餘弦振盪器.....	129
方波和三角波產生器.....	131
階梯波產生器.....	132
實作簡介.....	133
實驗一.....	133
實驗二.....	136
實驗三.....	138

第七章 主動濾波器 141

簡介.....	141
目標.....	141
何謂主動濾波器.....	142
二階 V C V S 濾波器.....	142
多回授帶通濾波器.....	144
狀態變數濾波器.....	147
凹口濾波器.....	148
實作簡介.....	149
實驗一.....	149
實驗二.....	152
實驗三.....	155

第八章 單電源工作 159

簡介.....	159
目標.....	159

單電源偏壓.....	159
反相放大器.....	160
加法放大器.....	163
差動放大器.....	163
實作簡介.....	164
實驗一.....	165
實驗二.....	166

第九章 諾頓運算放大器 168

簡介.....	168
目標.....	168
工作原理.....	168
偏壓.....	169
非反相放大器.....	170
反相放大器.....	172
加法放大器.....	172
差動放大器.....	173
其它應用.....	174
實作簡介.....	175
實驗一.....	175
實驗二.....	177
實驗三.....	179
實驗四.....	181
實驗五.....	183
實驗六.....	185

第十章	儀表用放大器	192
-----	--------	-----

簡介	192
----	-----

目標	192
----	-----

儀表用放大器	192
--------	-----

應用之一例	196
-------	-----

實作簡介	197
------	-----

實驗一	197
-----	-----

附錄 A	閉迴路響應的導式	202
------	----------	-----

附錄 B	OA-2 OP-Amp 設計器	207
------	-----------------	-----

索引 / 專有名詞對照表

參考資料

第一章

何謂運算放大器 Op-Amp ?

簡介

何謂運算放大器 (operational amplifier) ? 本章將定義出運算放大器是什麼，以及討論不同的運算放大器有那些不同的參數。

目標

讀完本章後，你應該具有如下之能力：

● 定義下列專有名詞：

通道分離度	反相輸入
閉迴路增益	迴路增益
共模拒斥比	非反相輸入
增益 - 頻寬乘積	開迴路增益
輸入偏壓電流	運算放大器
輸入偏移電流	輸出阻抗
輸入偏移電壓	輸出電壓擺幅
輸入阻抗	扭轉率
輸入電壓範圍	

種在任一形式中 op-amp 有兩個輸入端：其一為反相 (inverting) 或“ $-$ ”輸入端另為非反相 (noninverting) 或“ $+$ ”輸入端；兩種形式皆有一個輸出端。如圖 1 - 1 所示，一般 op-amp 都使用雙電源，其一般範圍由 ± 5 伏至 ± 15 伏，但通常在畫圖時都把電源接線省略掉了。

op-amp 的資料表 (Data Sheet)

欲了解 op-amp 的多種特性，最好的方法應該是深入了解廠商資料手冊中該 IC 的資料表 (通常有好幾頁) 如圖 1 - 2，資料表通常含有如下的資料：

- 1 op-amp 的一般性描述 (General description)
- 2 內部等效電路圖。
- 3 裝置的接腳圖。
- 4 最大額定值 (maximum ratings)。
- 5 電氣特性 (electrical characteristic)。
- 6 典型的工作曲線 (performance curve)。

以下我們將以 741 op-amp 為例說明大部份重要的參數。

最大額定值 (maximum ratings)

在資料表 (如圖 1 - 2) 中所示的最大額定值為 op-amp 在不損壞情況下的最大安全容忍值 (maximum safely tolerate)。

- 1 電源電壓 ($\pm V_s$)

此為所能施加於 op-amp 的最大正、負電壓。

- 2 內部消耗功率 (P_D)

此為 op-amp 在指定周圍溫度下所能消耗的最大功率。(例如：

500 mW @ $< 75^\circ\text{C}$)

3. 差動輸入電壓 (V_{id})

此為能加在十、一兩端之最大電壓。

4. 輸入電壓 (V_{icm})

此為能同時加於二輸入端與地間的最大電壓，此即所能之共模電壓 (common-mode voltage)；通常此最大的電壓與供給電壓相等。

5. 工作溫度 (T_a)

此為廠商的規格中限定 op-amp 使用時之周圍溫度範圍。須注意者，軍用的 741 較商用的 741 C 有較高的溫度範圍。

6. 輸出短路時間

此為 op-amp 的輸出能對地或電源短路的時間。

電氣特性 (electrical characteristics)

op-amp 的電氣特性通常都會告訴我們電源電壓和周圍溫度。但有些參數會附加一些額外的條件，例如加一特殊負載或加電源電阻等。一般來說，每一參數都會有極小值，典型值、以及或者是極大值。

輸入參數 (input parameters)

1. 輸入偏移電壓 (V_{oi})

此為加至輸入端使輸出電壓為零之電壓，值得注意的是理想 op-amp 輸出電壓的偏移為零。

2. 輸入偏壓電流 (I_b)

此為流入二輸入端的電流平均值，理想的 op-amp 的二輸入端之偏壓電流應該相等。

3. 輸入偏移電流 (I_{os})

此為當輸出電壓為零時，二輸入偏壓電流之差值。

4. 輸入電壓範圍 (V_{cm})

此為共模輸入信號（即連接二輸入端至地之電壓）之電壓範圍。

signetics

HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIER $\mu A741$

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

DESCRIPTION

The $\mu A741$ is a high performance operational amplifier with high open loop gain, internal compensation, high common mode range and exceptional temperature stability. The $\mu A741$ is short-circuit protected and allows for nulling of offset voltage.

FEATURES

- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- EXCELLENT TEMPERATURE STABILITY
- HIGH INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

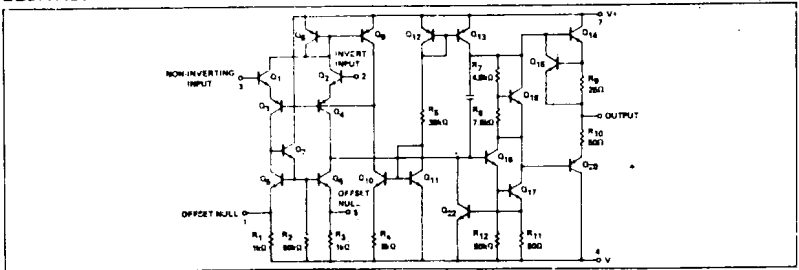
	$\mu A741C$	$\mu A741$
Supply Voltage	$\pm 18V$	$\pm 22V$
Internal Power		
Dissipation (Note 1)	500mW	500mW
Differential Input Voltage	$\pm 30V$	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 2)	$\pm 15V$	$\pm 15V$
Voltage between Offset Null and V^-	$\pm 0.5V$	$\pm 0.5V$
Operating Temperature Range	$0^\circ C$ to $+70^\circ C$	$-55^\circ C$ to $+125^\circ C$
Storage Temperature Range	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$

Lead Temperature (Solder, 60 sec)	$300^\circ C$	$300^\circ C$
Output Short Circuit Duration (Note 3)	Indefinite	Indefinite

Notes

1. Rating applies for case temperatures to $125^\circ C$; derate linearly at $8 \text{ mW}/^\circ C$ for ambient temperatures above $+75^\circ C$.
2. For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. Short circuit may be to ground or either supply. Rating applies to $+125^\circ C$ case temperature or $+75^\circ C$ ambient temperature.

EQUIVALENT CIRCUIT



PIN CONFIGURATIONS

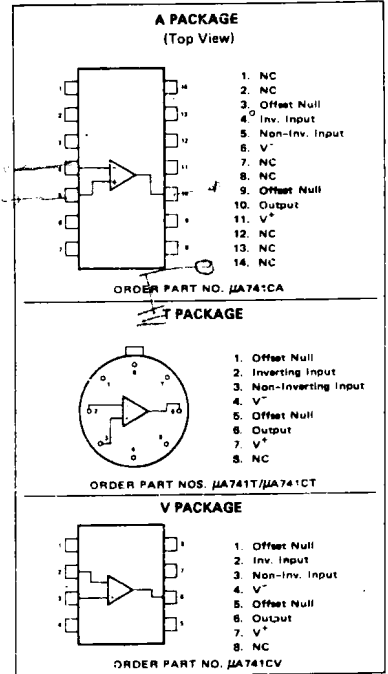


圖 1 - 2 $\mu A741$ 高效能運算放大器

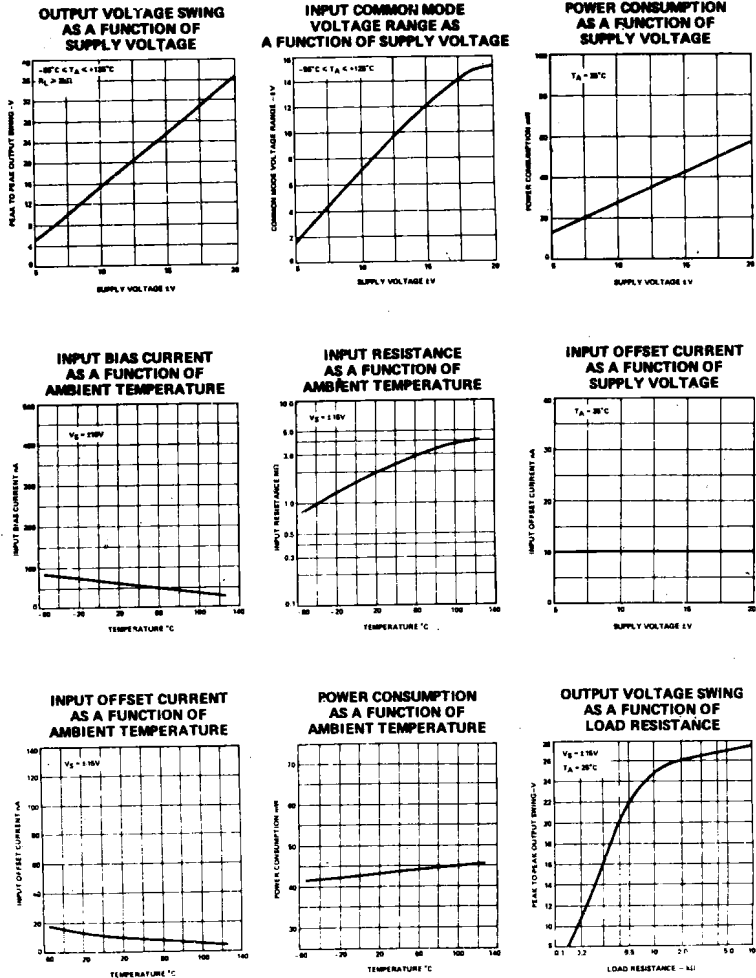
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
$\mu A741C$					
Input Offset Voltage		2.0	6.0	mV	$R_S \leq 10k\Omega$
Input Offset Current		20	200	nA	
Input Bias Current		80	500	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	90	150	dB	$R_S \leq 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10		$\mu V/V$	$R_S \leq 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	20,000	200,000		V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12	± 14		V	$R_L > 10k\Omega$
	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short-Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risetime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$					
Input Offset Voltage			7.5	mV	
Input Offset Current			300	nA	
Input Bias Current			800	nA	
Large-Signal Voltage Gain	18,000			V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
$\mu A741$					
Input Offset Voltage		1.0	5.0	mV	$R_S \leq 10k\Omega$
Input Offset Current		10	200	nA	
Input Bias Current		80	500	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Large-Signal Voltage Gain	50,000	200,000		Ω	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Resistance		75		mA	
Output Short-Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risetime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$					
Input Offset Voltage		1.0	6.0	mV	$R_S \leq 10k\Omega$
Input Offset Current		7.0	200	nA	$T_A = +125^\circ C$
Input Bias Current		20	500	nA	$T_A = -55^\circ C$
		0.03	0.5	μA	$T_A = +125^\circ C$
Input Bias Current		0.3	1.5	μA	$T_A = -55^\circ C$
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	90		dB	$R_S \leq 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S \leq 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	25,000			V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12	± 14		V	$R_L > 10k\Omega$
	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
Supply Current		1.5	2.5	mA	$T_A = +125^\circ C$
		2.0	3.3	mA	$T_A = -55^\circ C$
Power Consumption		45	75	mW	$T_A = +125^\circ C$
		45	100	mW	$T_A = -55^\circ C$

圖 1 - 2 (接上頁) $\mu A741$ 高效能運算放大器

Courtesy Signetics Corp.

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES

圖 1 - 2 (接上頁) $\mu A741$ 高效能運算放大器