

بنام خدا

دستور کار آزمایشگاه کنترل خطی

تهیه کننده: دکتر علی رضا فرهادی

تابستان ۱۳۹۶

پیشگفتار: مسئله کنترل سرعت موتورهای الکتریکی در حضور اغتشاش دارای کاربردهای صنعتی متنوعی منجمله در کوادروتورها، آسانسورها، پله های برقی، تسمه نقاله، خودروهای برقی و هیبریدی می باشد. از اینرو تمرکز آزمایشات این آزمایشگاه بر روی این مسئله مهم صنعتی معطوف است.

آزمایشات این آزمایشگاه، در دو بخش به شرح زیر انجام می شود:

۱- کالیبراسیون سنسور سرعت، شناسایی مدل موتور الکتریکی و بررسی عملکرد سیستم کنترل حلقه باز موتور در حضور اغتشاش (۲ جلسه)

۲- طراحی کنترل کننده PID و پیاده سازی آن برای کنترل سرعت موتور الکتریکی با استفاده از المانهای اکتیو (نظیر آپ-امپ) و پسیو (نظیر مقاومت و خازن) و بررسی عملکرد آن در حضور اغتشاش (۴ جلسه)

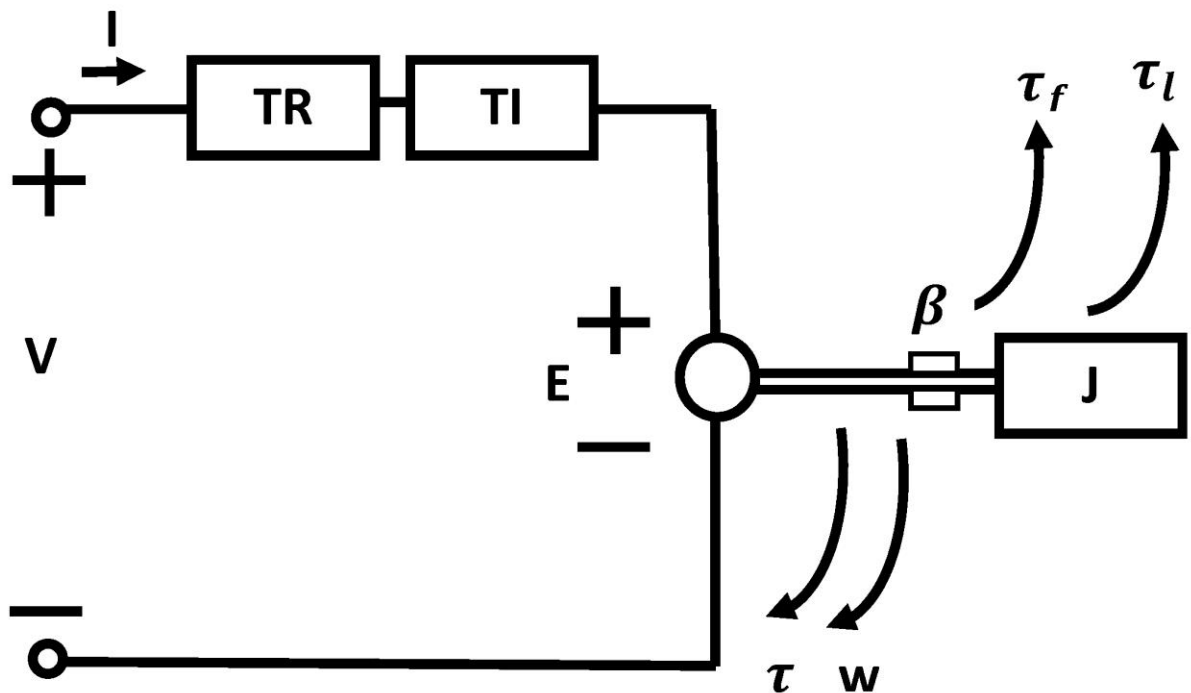
هر دانشجو موظف است در هر جلسه و در حین انجام آزمایشات مربوطه، گزارش کار خود را با توجه به پاسخی که از انجام آزمایشات می گیرد، تکمیل نموده و در پایان هر جلسه گزارش را تحویل مسول آزمایشگاه دهد.

فصل اول: کالبراسیون سنسور،
شناسایی مدل موتور الکتریکی و
بررسی عملکرد سیستم کنترل حلقه
باز

۱-۱- معرفی موتور الکتریکی

یکی از متداولترین موتورهای الکتریکی، موتور جریان مستقیم با تحریک مجزا می باشد. این موتور شامل یک بخش ثابت (استاتور) و در داخل آن یک بخش گردنده (روتور) می باشد. عموماً داخل استاتور آهنربای دائم قرار داده می شود و اقدام به سیم پیچی روتور می گردد. در این گونه موتورها با اعمال ولتاژ دی-سی به روتور، روتور به گردش در می آید.

مدل یک موتور الکتریکی جریان مستقیم تحریک مجزا به صورت زیر است:



شکل ۱- مدل یک موتور جریان مستقیم با تحریک مجزا.

در مدل بالا پارامترها عبارتند از:

V: Rotor voltage (input)

TR: Terminal resistance

TI: Terminal inductance

W: Motor speed (output)

$$E=1/Sp \cdot W$$

Sp: Speed constant

I: Motor current

$$\tau = Tc \cdot I$$

Tc: Torque constant

$$\tau_f = \beta W: \text{Friction torque}$$

β : Friction constant

J: load inertia

τ_l :load torque

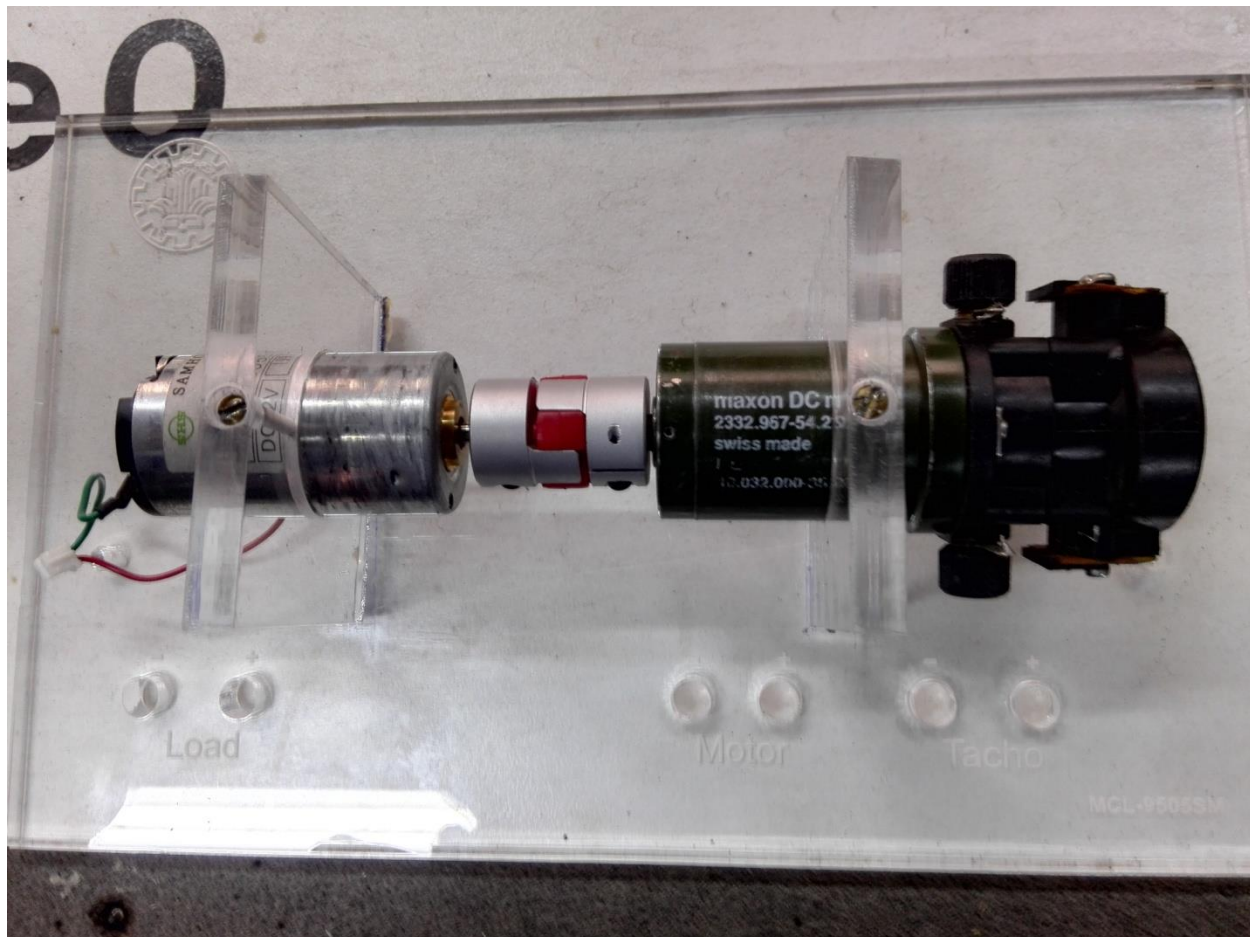
تمرین ۱-۱- با انتخاب جریان موتور به عنوان اولین متغیر حالت (x_1) و سرعت موتور به عنوان دومین متغیر حالت (x_2)، مدل فضای حالت موتور را بدست آورید. سپس با استفاده از این مدل، مدل تابع تبدیل موتور را بدست آورید.

موتور مورد استفاده در این آزمایشگاه، موتور MAXON2332.967 می باشد که یک موتور جریان مستقیم تحریک مجزا می باشد. این موتور مجهز به یک تاکوژنراتور بعنوان سنسور سرعت و یک رسولور (Resolver) بعنوان شفت انکدر می باشد که در این آزمایشگاه، تنها از سنسور سرعت استفاده می گردد. شکل ۲ این موتور را به تصویر کشیده است.



شکل ۲- نمایی از موتور MAXON2332.967

در این آزمایشگاه هدف کنترل سرعت چرخش شفت این موتور با استفاده از PID کنترلر برای حالتی است که این موتور تحت بار نامشخصی قرار می گیرد. برای اعمال بار به موتور در حین چرخش، از ماژول آزمایشگاهی نشان داده شده در شکل ۳ استفاده می شود.



شکل ۳ - ماژول آزمایشگاه.

این ماژول شامل موتور ماکسون و یک ژنراتور جریان مستقیم کوچک است که توسط این موتور به گردش در می آید. هنگامی که خروجی این ژنراتور اتصال کوتاه می گردد، به موتور گشتاور اغتشاشی (بار) اعمال شده که مکانیزم فیدبک حالت باید اثرات آنرا در سرعت چرخش موتور، جبران سازی نماید.

تمرین ۱-۲- با مراجعه به دیتا شیت موتور MAXON2332.967 ، پارامترهای این موتور را تعیین نمایید.

۲-۱- کالیبراسیون سنسور سرعت

منظور از کالیبراسیون سنسور، یافتن ضریب تبدیل خروجی سنسور و پارامتری است که می خواهیم آنرا اندازه گیری نماییم. در اینجا خروجی سنسور، ولتاژی است که متناسب با سرعت دور موتور می باشد. یعنی $W = KV_s$. پس هدف از کالیبراسیون در اینجا یافتن ثابت K می باشد.

تمرین ۱-۳- با توجه به آنکه به ازای ۱۰۰۰ دور در دقیقه، ولتاژ خروجی تاکوژنراتور ۰,۵۲ ولت است، کالیبراسیون سنسور سرعت را انجام دهید.

۳-۱- شناسایی پارامترهای موتور

تمرین ۱-۴- با مراجعه به دیتاشیت موتور تمامی پارامترهای موتور بکار رفته در ماژول آزمایشگاه قابل تعیین می باشد به غیر از ثابت اصطکاک و ممان اینرسی. حال آزمایش مناسبی را طراحی نمایید و با استفاده از آن این دو پارامتر را تعیین نمایید.

۴-۱- عملکرد سیستم کنترل حلقه باز

تمرین ۱-۵- ولتاژ ورودی به موتور را به گونه ای تعیین نمایید که موتور با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه بگردد. با انجام آزمایش و مشاهده خروجی سنسور سرعت توسط اسیلوسکوپ، صحت یافته ی خود را چک نمایید.

تمرین ۱-۶- حال در حین چرخش موتور، خروجی ژنراتور الکتریکی را اتصال کوتاه نمایید (این کار به منزله ترمز مغناطیسی است) و آزمایش تمرین ۱-۵ را مجدداً برای این حالت تکرار نمایید. سرعت چرخش موتور برای این حالت چند دور در دقیقه می باشد؟
تمرین ۱-۷- نتیجه گیری:

فصل دوم: پیاده سازی فیدبک حالت برای موتور الکتریکی و عملکرد آن در حضور اغتشاش

از آزمایشات فصل اول نتیجه گیری شد که در صورت فقدان اغتشاش بار، اگر چه سیستم کنترل حلقه باز موتور دارای عملکرد مطلوبی است ولی در حضور اغتشاش، دارای عملکرد مناسبی نمی باشد. از آنجایی که در کاربردهای صنعتی، همواره اغتشاش وجود دارد باید با بکارگیری سیستم کنترل حلقه بسته، اثر اغتشاش را بر روی سیستم تا حد ممکن تضعیف کرد. در این راستا در این فصل به پیاده سازی کنترل کننده PID برای کنترل سرعت موتور پرداخته می شود.

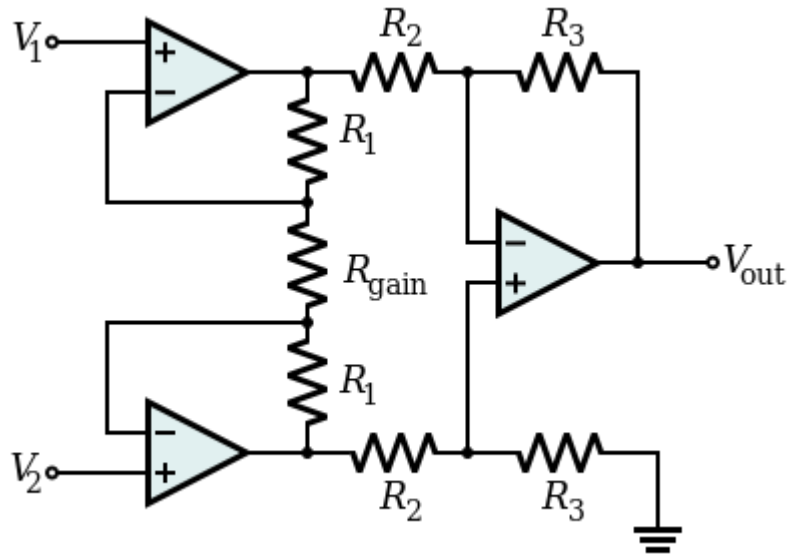
تمرین ۱-۲- با استفاده از مطالب بیان شده در درس، گروه های ۱ تا ۸ برای کنترل سرعت ماژول آزمایشگاهی، کنترل کننده PID چنان طراحی نمایند که خروجی ماژول دارای شاخصهای ارزیابی عملکردی مطابق جدول زیر باشند:

Group	O.S.	Rise time (sec.)	Acceptable Tolerance
۱	%۱.۳	۲	%۱۰
۲	%۱.۳	۱.۴	%۱۰
۳	%۲.۳	۰.۹۵	%۱۰
۴	%۱.۹	۰.۷	%۱۰
۵	%۳.۱	۰.۸۶	%۱۰
۶	%۲.۵	۰.۶۵	%۱۰
۷	%۲.۳	۰.۶	%۱۰
۸	%۳.۱	۰.۸۵	%۱۰
۹	%۵	۰.۵	%۱۰
۱۰	%۵	۰.۶	%۱۰
۱۱	%۱۰	۰.۸	%۱۰
۱۲	%۶	۰.۷	%۱۰
۱۳	%۷	۰.۷	%۱۰
۱۴	%۸	۱	%۱۰

تمرین ۲-۲- بلوک دیاگرام سیستم حلقه بسته را رسم نمایید.

تمرین ۳-۲- با استفاده از این بلوک دیاگرام، شماتیک مدار الکترونیکی کنترل کننده را رسم نمایید.

راهنمایی: جهت اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت که جهت تعیین جریان موتور بکار می رود می توان از مدار تری آپ امپ اینسترومنتشن آمپلی فایر که در شکل ۴ نشان داده شده است استفاده نمود.



شکل ۴- مدار تری آپ امپ انسترومنتن آمپلی فایر

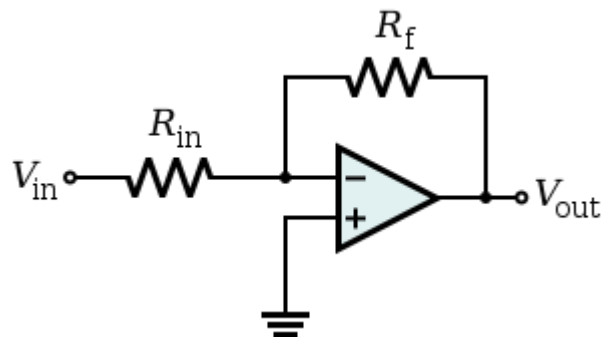
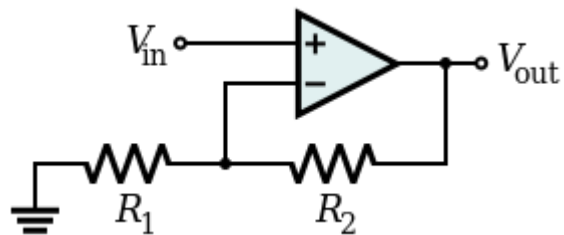
در مدار شکل بالا، دو آپ امپ اول نقش بافر با مقاومت ورودی بینهایت را ایفا می نمایند. با استفاده از آنها، ولتاژ دو سر مقاومت در هر لحظه نمونه برداری می گردد. آپ امپ سوم دارای عملکردی به صورت زیر است:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

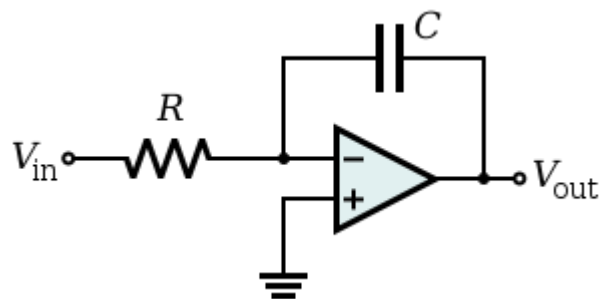
که در آن V_{out} به گونه ای انتخاب می گردد که خروجی آپ امپ سوم معرف جریان موتور باشد.

بدلیل مشخصات بسیار خوب آپ امپ OP07 در مواجهه با نویز برای کاربردهای آلات دقیق (ابزارهای اندازه گیری) مانند کاربرد بیان شده در بالا، از اینگونه آپ امپ استفاده می شود. دیتاشیت آپ امپ OP07 در بخش اپنندیکس موجود است.

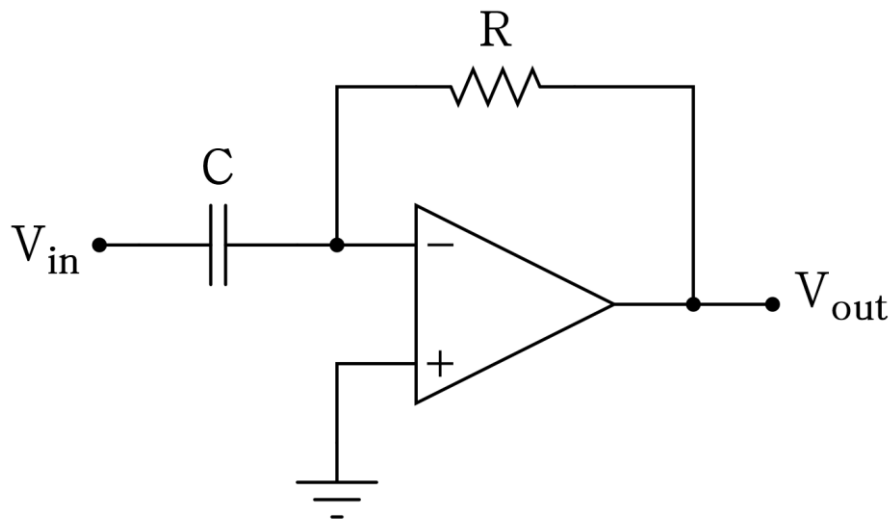
شایان ذکر است بلوک بهره (گین) توسط مدار شکل ۵ و بلوک انتگرال گیر نیز توسط مدار شکل ۶ قابل تحقق می باشند.



شکل ۵- بلوک مدار بهره. رابطه بین ورودی و خروجی مدار بالا به فرم $V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$ می باشد و رابطه بین ورودی و خروجی مدار دوم نیز به فرم $V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$ می باشد.



شکل ۶- بلوک مدار انتگرالگیر. رابطه بین ورودی و خروجی مدار بالا به فرم $V_{out} = -\frac{1}{RCs} V_{in}$ می باشد.



شکل ۷- بلوک مدار مشتقگیر.

تمرین ۲-۴- با استفاده از برد بورد، آپ امپ، خازن و مقاومت، مدار الکترونیکی کنترل کننده طراحی شده را پیاده سازی نمایید. سپس با بکارگیری سیگنال ژنراتور و تولید پالسی با دامنه مناسب (به گونه ای که بدون حضور اغتشاش بار سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه باشد) و اعمال این پالس به مدار کنترل کننده به عنوان سیگنال مرجع و اعمال خروجی این مدار به موتور از طریق درایور، صحت طراحی خود را با مشاهده خروجی سنسور سرعت بر روی اسیلوسکوپ چک نمایید.

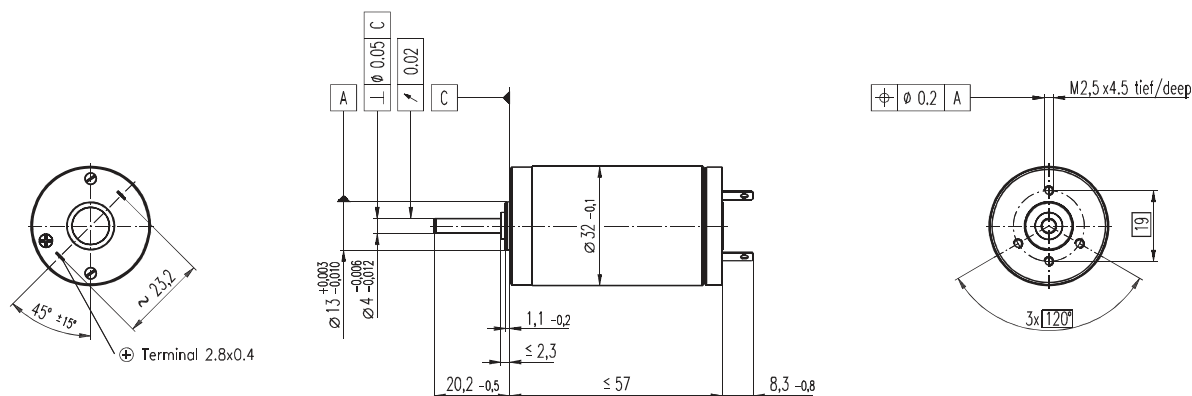
تمرین ۲-۵- با اعمال ترمز مغناطیسی، عملکرد سیستم کنترل طراحی شده در مواجهه با اغتشاش (ترمز مغناطیسی) را بررسی نموده و با عملکرد سیستم کنترل حلقه باز مقایسه نمایید. سرعت چرخش موتور پس از اعمال ترمز مغناطیسی چند است؟

تمرین ۲-۷- نتیجه گیری:

گروه ها:

۱- درسا طالبی، نونا رجبی	۹- پارسا پژوهشی، محمد میر شرقی
۲- فائزه ابراهیمیان، نیلوفر طریقت	۱۰- علی سیفی، سپهر اسودی
۳- راضیه گرجی، پرستو پیله ور	۱۱- امیر حسین جدیدی، محمد کریمی
۴- عارف صادقی، حمید رضا احمدی	۱۲- سعید حجتی نژاد، امیر رضا فتح الهی
۵- سهند سروری، فرهاد حجازی راد	۱۳- علی فتحی، سید علی هادیان
۶- محمد رضا رسولی، رامتین رفعت	۱۴- مهدی بیت الهی، محمد طباطبایی
۷- سینا رنج کش، امین سلیمانی	
۸- احمد اثنا عشری، مرزبان ایزد	

S 2332 Ø32 mm, Graphite Brushes, 15 Watt, C€ approved



M 1:2

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

Article Numbers

2332. ... -12.216-200 (Insert winding number)

Winding number

960 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973

Motor Data

Values at nominal voltage			6	9	12	12	12	18	24	30	36	42	48	48			
1	Nominal voltage	V															
2	No load speed	rpm	5810	5310	6650	5870	4880	5380	5750	6000	5710	5270	4860	3950			
3	No load current	mA	110	63.9	65.0	54.6	42.4	32.1	26.3	22.3	17.3	13.3	10.4	7.96			
4	Nominal speed	rpm	4560	3780	5040	4230	3250	3880	4280	4530	4250	3790	3370	2440			
5	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	13.2	22.7	24.3	25.9	26.5	28.6	29.1	28.9	29.3	29.2	29.3	29.4			
6	Nominal current (max. continuous current)	A	1.50	1.50	1.50	1.40	1.19	0.939	0.763	0.633	0.508	0.399	0.323	0.263			
7	Stall torque	mNm	89.1	91.1	116	104	85.6	109	119	122	118	106	97.1	78.2			
8	Starting current	A	9.45	5.79	6.87	5.42	3.72	3.46	3.02	2.59	1.97	1.41	1.04	0.682			
9	Max. efficiency	%	73	77	79	79	78	81	82	82	82	81	81	80			
Characteristics																	
10	Terminal resistance	Ω	0.635	1.56	1.75	2.21	3.22	5.21	7.94	11.6	18.2	29.8	46.1	70.3			
11	Terminal inductance	mH	0.0883	0.246	0.283	0.363	0.526	0.985	1.54	2.22	3.53	5.64	8.65	13.1			
12	Torque constant	mNm/A	9.43	15.7	16.9	19.1	23.0	31.5	39.3	47.2	59.6	75.3	93.3	115			
13	Speed constant	rpm/V	1010	607	566	500	415	303	243	202	160	127	102	83.3			
14	Speed/torque gradient	rpm/mNm	68.3	60.0	58.7	57.9	58.2	50.2	49.0	49.6	49.1	50.3	50.6	51.1			
15	Mechanical time constant	ms	23.6	17.2	16.4	16.0	15.5	14.6	14.3	14.1	14.0	13.9	13.8	13.8			
16	Rotor inertia	gcm ²	33.0	27.4	26.7	26.4	25.5	27.9	27.8	27.2	27.1	26.4	26.1	25.9			

Specifications

Thermal data		
17	Thermal resistance housing-ambient	12.5 K/W
18	Thermal resistance winding-housing	1.9 K/W
19	Thermal time constant winding	10.9 s
20	Thermal time constant motor	1030 s
21	Ambient temperature	-20...+100°C
22	Max. permissible winding temperature	+125°C
Mechanical data (ball bearings)		
23	Max. permissible speed	9200 rpm
24	Axial play	0.05 - 0.15 mm
25	Radial play	0.025 mm
26	Max. axial load (dynamic)	5.6 N
27	Max. force for press fits (static)	113 N
28	Max. radial loading, 5 mm from flange	28 N

Other specifications

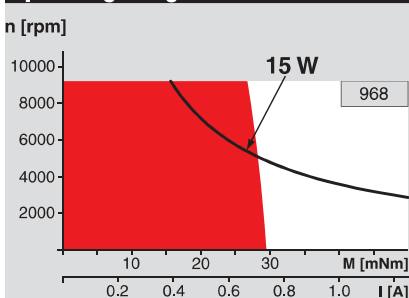
29	Number of pole pairs	1
30	Number of commutator segments	13
31	Weight of motor	230 g

Values listed in the table are nominal.
Explanation of the figures on [page 49](#).

Option

Sleeve bearings in place of ball bearings
Pigtails in place of terminals

Operating Range



Comments

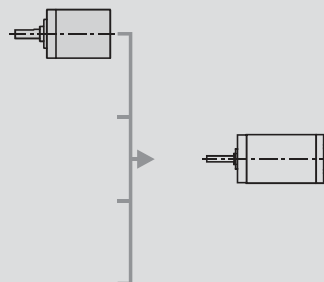
- Continuous operation**
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
= Thermal limit.
- Short term operation**
The motor may be briefly overloaded (recurring).
- Assigned power rating**

maxon Modular System

[Overview on page 16 - 21](#)

Planetary Gearhead

Ø32 mm
0.75 - 4.5 Nm
[Page 235](#)



FEATURES

Low V_{OS} : 75 μV maximum
Low V_{OS} drift: 1.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ maximum
Ultrastable vs. time: 1.5 μV per month maximum
Low noise: 0.6 μV p-p maximum
Wide input voltage range: $\pm 14\text{ V}$ typical
Wide supply voltage range: $\pm 3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$
125°C temperature-tested dice

APPLICATIONS

Wireless base station control circuits

Optical network control circuits

Instrumentation

Sensors and controls

Thermocouples

Resistor thermal detectors (RTDs)

Strain bridges

Shunt current measurements

Precision filters

GENERAL DESCRIPTION

The OP07 has very low input offset voltage (75 μV maximum for OP07E) that is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP07 also features low input bias current ($\pm 4\text{ nA}$ for the OP07E) and high open-loop gain (200 V/mV for the OP07E). The low offset and high open-loop gain make the OP07 particularly useful for high gain instrumentation applications.

PIN CONFIGURATION

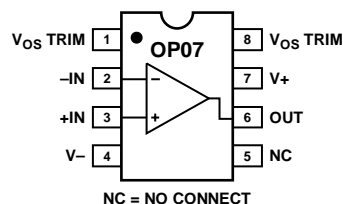
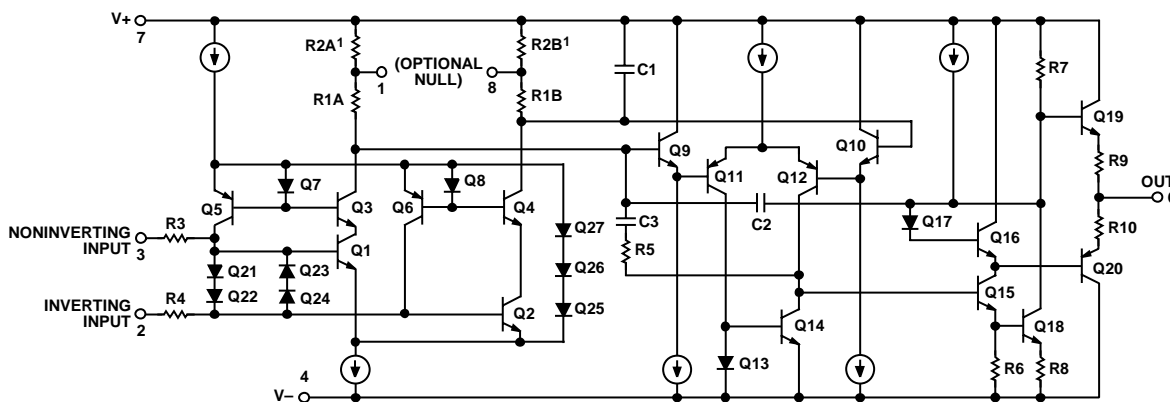


Figure 1.

The wide input voltage range of $\pm 13\text{ V}$ minimum combined with a high CMRR of 106 dB (OP07E) and high input impedance provide high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at high closed-loop gains. Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP07 an industry standard for instrumentation applications.

The OP07 is available in two standard performance grades. The OP07E is specified for operation over the 0°C to 70°C range, and the OP07C is specified over the -40°C to $+85^\circ\text{C}$ temperature range.

The OP07 is available in epoxy 8-lead PDIP and 8-lead narrow SOIC packages. For CERDIP and TO-99 packages and standard microcircuit drawing (SMD) versions, see the OP77.



¹ R2A and R2B are electronically adjusted on chip at factory for minimum input offset voltage.

Figure 2. Simplified Schematic

Rev. G

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

TABLE OF CONTENTS

Features	1	Absolute Maximum Ratings	6
Applications.....	1	Thermal Resistance.....	6
General Description	1	ESD Caution.....	6
Pin Configuration.....	1	Typical Performance Characteristics	7
Revision History	2	Typical Applications.....	11
Specifications.....	3	Applications Information.....	12
OP07E Electrical Characteristics	3	Outline Dimensions	13
OP07C Electrical Characteristics	4	Ordering Guide	14

REVISION HISTORY

10/11—Rev. F. to Rev G

Changes to Features Section.....	1
----------------------------------	---

8/10—Rev. E. to Rev F

Changes to Ordering Guide	14
---------------------------------	----

7/09—Rev. D. to Rev E

Changes to Figure 29 Caption.....	11
Changes to Ordering Guide	14

7/06—Rev. C. to Rev D

Changes to Features.....	1
Changes to General Description	1
Changes to Specifications Section.....	3
Changes to Table 4.....	6
Changes to Figure 6 and Figure 8.....	7
Changes to Figure 13 and Figure 14.....	8
Changes to Figure 20.....	9
Changes to Figure 21 to Figure 25.....	10
Changes to Figure 26 and Figure 30.....	11
Replaced Figure 28	11
Changes to Applications Information Section.....	12
Updated Outline Dimensions	13
Changes to Ordering Guide	14

8/03—Rev. B to Rev. C

Changes to OP07E Electrical Specifications.....	2
Changes to OP07C Electrical Specifications	3
Edits to Ordering Guide	5
Edits to Figure 6.....	9
Updated Outline Dimensions.....	11

3/03—Rev. A to Rev. B

Updated Package Titles.....	Universal
Updated Outline Dimensions.....	11

2/02—Rev. 0 to Rev. A

Edits to Features.....	1
Edits to Ordering Guide	1
Edits to Pin Connection Drawings	1
Edits to Absolute Maximum Ratings.....	2
Deleted Electrical Characteristics	2–3
Deleted OP07D Column from Electrical Characteristics.....	4–5
Edits to TPCs	7–9
Edits to High-Speed, Low V_{OS} Composite Amplifier	9

SPECIFICATIONS

OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_S = \pm 15\text{ V}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
T_A = 25°C						
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}			30	75	μV
Long-Term V _{OS} Stability ²	V _{OS} /Time			0.3	1.5	μV/Month
Input Offset Current	I _{OS}			0.5	3.8	nA
Input Bias Current	I _B			±1.2	±4.0	nA
Input Noise Voltage	e _n p-p	0.1 Hz to 10 Hz ³		0.35	0.6	μV p-p
Input Noise Voltage Density	e _n	f _o = 10 Hz		10.3	18.0	nV/√Hz
		f _o = 100 Hz ³		10.0	13.0	nV/√Hz
		f _o = 1 kHz		9.6	11.0	nV/√Hz
Input Noise Current	I _n p-p			14	30	pA p-p
Input Noise Current Density	I _n	f _o = 10 Hz		0.32	0.80	pA/√Hz
		f _o = 100 Hz ³		0.14	0.23	pA/√Hz
		f _o = 1 kHz		0.12	0.17	pA/√Hz
Input Resistance, Differential Mode ⁴	R _{IN}		15	50		MΩ
Input Resistance, Common Mode	R _{INCM}			160		GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V	106	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3 V to ±18 V		5	20	μV/V
Large Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	200	500		V/mV
		R _L ≥ 500 Ω, V _O = ±0.5 V, V _S = ±3 V ⁴	150	400		V/mV
0°C ≤ T_A ≤ 70°C						
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}			45	130	μV
Voltage Drift Without External Trim ⁴	TCV _{OS}			0.3	1.3	μV/°C
Voltage Drift with External Trim ³	TCV _{OSN}	R _P = 20 kΩ		0.3	1.3	μV/°C
Input Offset Current	I _{OS}			0.9	5.3	nA
Input Offset Current Drift	TCI _{OS}			8	35	pA/°C
Input Bias Current	I _B			±1.5	±5.5	nA
Input Bias Current Drift	TCI _B			13	35	pA/°C
Input Voltage Range	IVR		±13	±13.5		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V	103	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3 V to ±18 V		7	32	μV/V
Large Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	180	450		V/mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
T_A = 25°C						
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10 kΩ	±12.5	±13.0		V
		R _L ≥ 2 kΩ	±12.0	±12.8		V
		R _L ≥ 1 kΩ	±10.5	±12.0		V
0°C ≤ T_A ≤ 70°C						
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 2 kΩ	±12	±12.6		V

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
DYNAMIC PERFORMANCE						
T_A = 25°C						
Slew Rate	SR	R _L ≥ 2 kΩ ³	0.1	0.3		V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A _{VOL} = 1 ⁵	0.4	0.6		MHz
Open-Loop Output Resistance	R _O	V _O = 0, I _O = 0		60		Ω
Power Consumption	P _d	V _S = ±15 V, No load		75	120	mW
		V _S = ±3 V, No load		4	6	mW
Offset Adjustment Range		R _P = 20 kΩ		±4		mV

¹ Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

² Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of V_{OS} vs. the time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically 2.5 μV. Refer to the Typical Performance Characteristics section. Parameter is sample tested.

³ Sample tested.

⁴ Guaranteed by design.

⁵ Guaranteed but not tested.

OP07C ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_S = ±15 V, unless otherwise noted.

Table 2.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
T_A = 25°C						
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}			60	150	μV
Long-Term V _{OS} Stability ²	V _{OS} /Time			0.4	2.0	μV/Month
Input Offset Current	I _{OS}			0.8	6.0	nA
Input Bias Current	I _B			±1.8	±7.0	nA
Input Noise Voltage	e _n p-p	0.1 Hz to 10 Hz ³		0.38	0.65	μV p-p
Input Noise Voltage Density	e _n	f _O = 10 Hz		10.5	20.0	nV/√Hz
		f _O = 100 Hz ³		10.2	13.5	nV/√Hz
		f _O = 1 kHz		9.8	11.5	nV/√Hz
Input Noise Current	I _n p-p			15	35	pA p-p
Input Noise Current Density	I _n	f _O = 10 Hz		0.35	0.90	pA/√Hz
		f _O = 100 Hz ³		0.15	0.27	pA/√Hz
		f _O = 1 kHz		0.13	0.18	pA/√Hz
Input Resistance, Differential Mode ⁴	R _{IIN}		8	33		MΩ
Input Resistance, Common Mode	R _{IINCM}			120		GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V	100	120		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3 V to ±18 V		7	32	μV/V
Large Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	120	400		V/mV
		R _L ≥ 500 Ω, V _O = ±0.5 V, V _S = ±3 V ⁴	100	400		V/mV
–40°C ≤ T_A ≤ +85°C						
Input Offset Voltage ¹	V _{OS}			85	250	μV
Voltage Drift Without External Trim ⁴	TCV _{OS}			0.5	1.8	μV/°C
Voltage Drift with External Trim ³	TCV _{OSN}	R _P = 20 kΩ		0.4	1.6	μV/°C
Input Offset Current	I _{OS}			1.6	8.0	nA
Input Offset Current Drift	TCI _{OS}			12	50	pA/°C
Input Bias Current	I _B			±2.2	±9.0	nA
Input Bias Current Drift	TCI _B			18	50	pA/°C
Input Voltage Range	IVR		±13	±13.5		V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13 V	97	120		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3 V to ±18 V		10	51	μV/V
Large Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2 kΩ, V _O = ±10 V	100	400		V/mV

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
OUTPUT CHARACTERISTICS						
T_A = 25°C						
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10 kΩ	±12.0	±13.0		V
		R _L ≥ 2 kΩ	±11.5	±12.8		V
		R _L ≥ 1 kΩ		±12.0		V
−40°C ≤ T_A ≤ +85°C						
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 2 kΩ	±12	±12.6		V
DYNAMIC PERFORMANCE						
T_A = 25°C						
Slew Rate	SR	R _L ≥ 2 kΩ ³	0.1	0.3		V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A _{VOL} = 1 ⁵	0.4	0.6		MHz
Open-Loop Output Resistance	R _O	V _O = 0, I _O = 0		60		Ω
Power Consumption	P _d	V _S = ±15 V, No load		80	150	mW
		V _S = ±3 V, No load		4	8	mW
Offset Adjustment Range		R _P = 20 kΩ		±4		mV

¹ Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

² Long-term input offset voltage stability refers to the averaged trend time of V_{OS} vs. the time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically 2.5 μV. Refer to the Typical Performance Characteristics section. Parameter is sample tested.

³ Sample tested.

⁴ Guaranteed by design.

⁵ Guaranteed but not tested.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Ratings
Supply Voltage (V_S)	± 22 V
Input Voltage ¹	± 22 V
Differential Input Voltage	± 30 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
S and P Packages	-65°C to $+125^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range	
OP07E	0°C to 70°C
OP07C	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
Junction Temperature	150°C
Lead Temperature, Soldering (60 sec)	300°C

¹ For supply voltages less than ± 22 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

THERMAL RESISTANCE

θ_{JA} is specified for the worst-case conditions, that is, a device soldered in a circuit board for surface-mount packages.

Table 4. Thermal Resistance

Package Type	θ_{JA}	θ_{JC}	Unit
8-Lead PDIP (P-Suffix)	103	43	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
8-Lead SOIC_N (S-Suffix)	158	43	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

ESD CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although this product features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

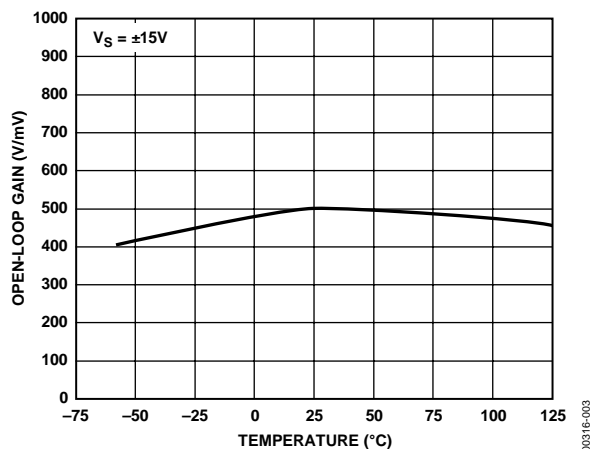


Figure 3. Open-Loop Gain vs. Temperature

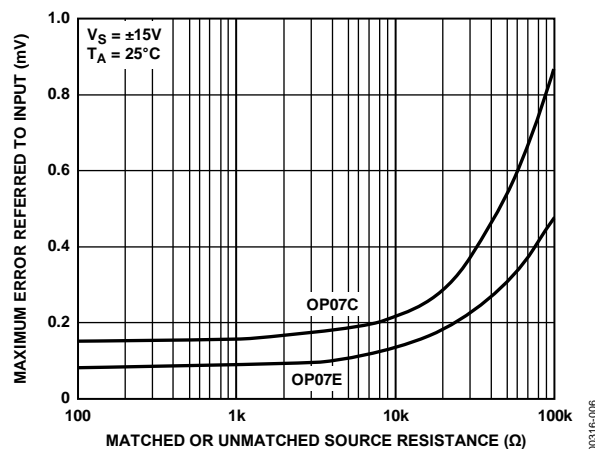


Figure 6. Maximum Error vs. Source Resistance

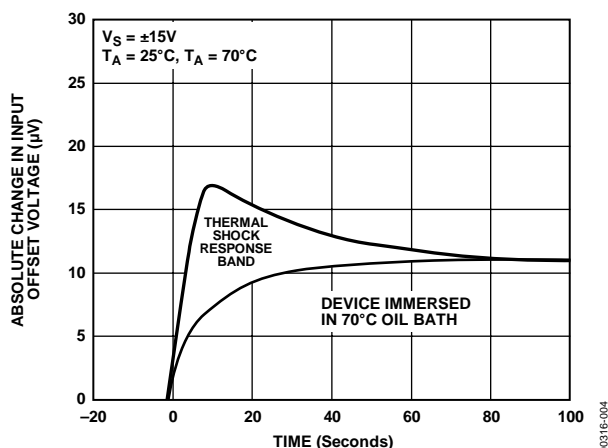


Figure 4. Offset Voltage Change due to Thermal Shock

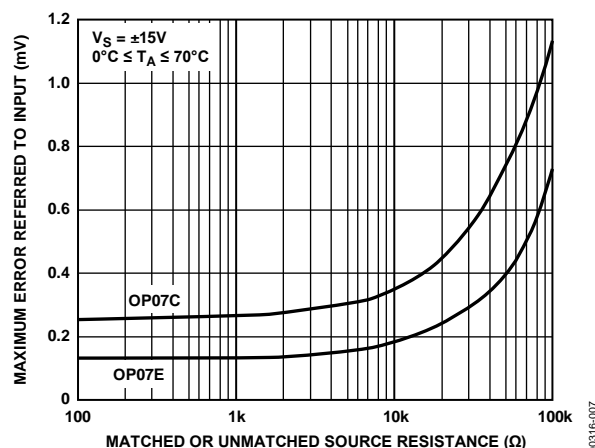


Figure 7. Maximum Error vs. Source Resistance

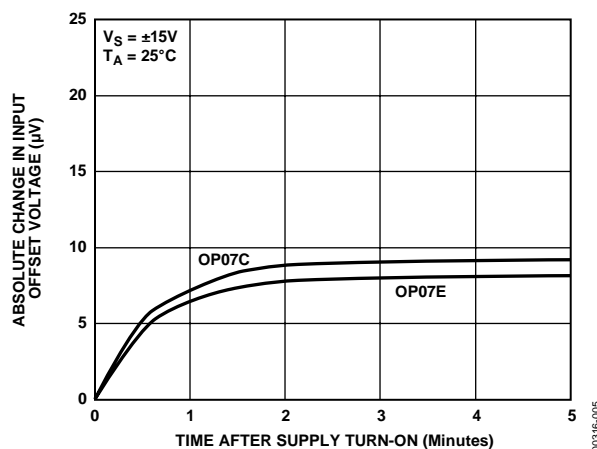


Figure 5. Warm-Up Drift

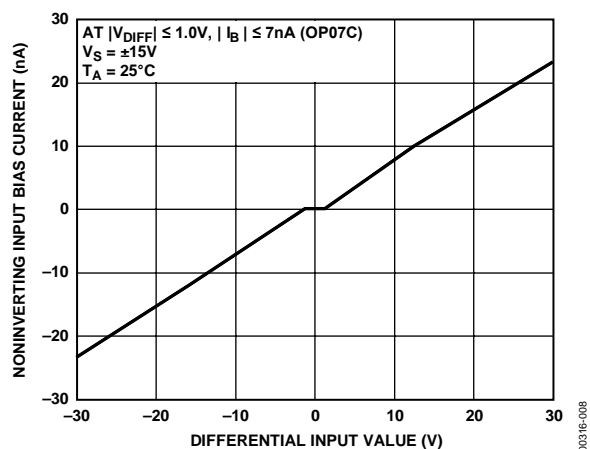


Figure 8. Input Bias Current vs. Differential Input Voltage

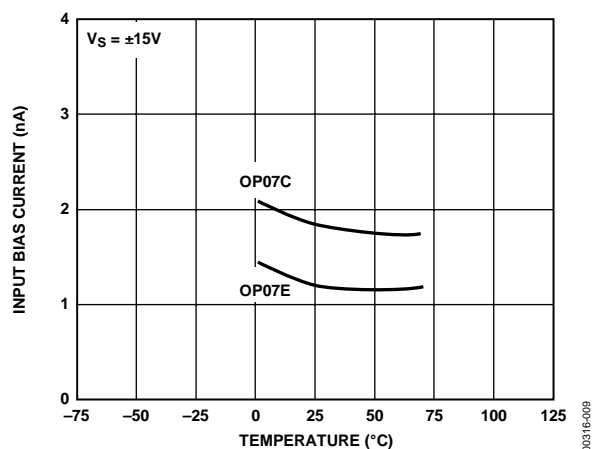


Figure 9. Input Bias Current vs. Temperature

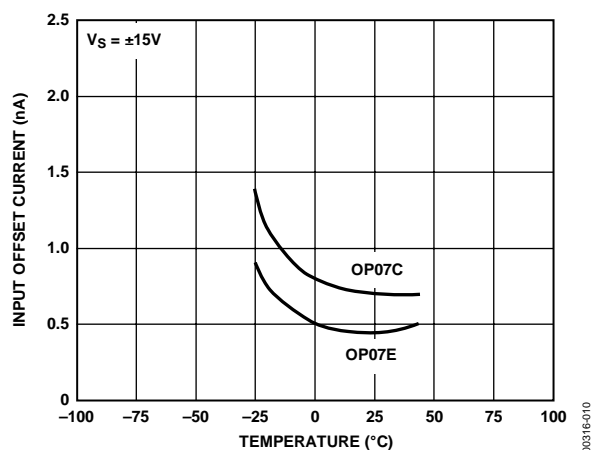


Figure 10. Input Offset Current vs. Temperature

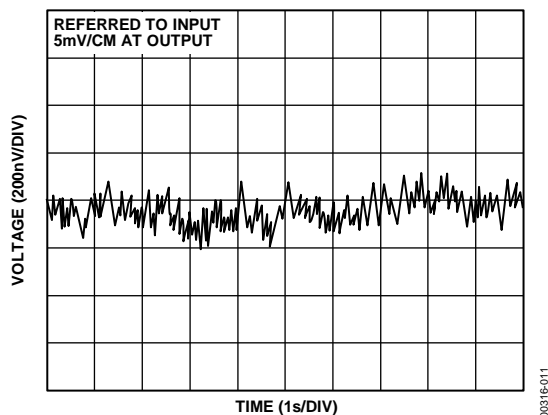


Figure 11. Low Frequency Noise

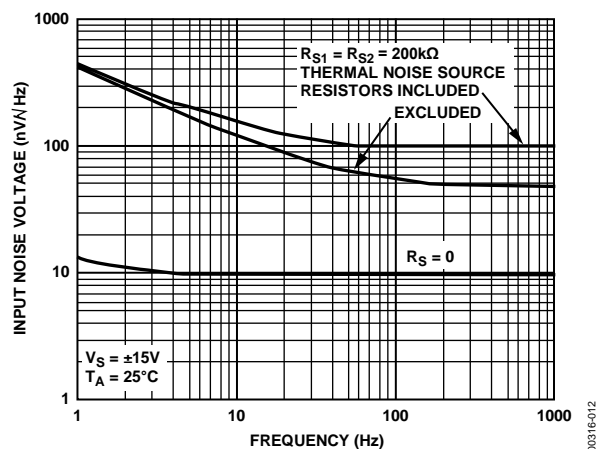


Figure 12. Total Input Noise Voltage vs. Frequency

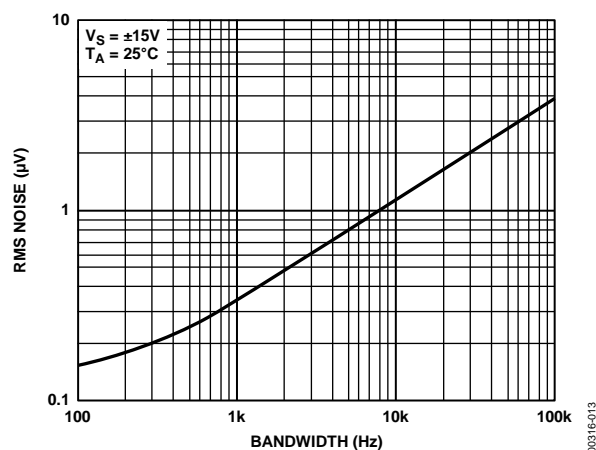


Figure 13. Input Wideband Noise vs. Bandwidth, 0.1 Hz to Frequency Indicated

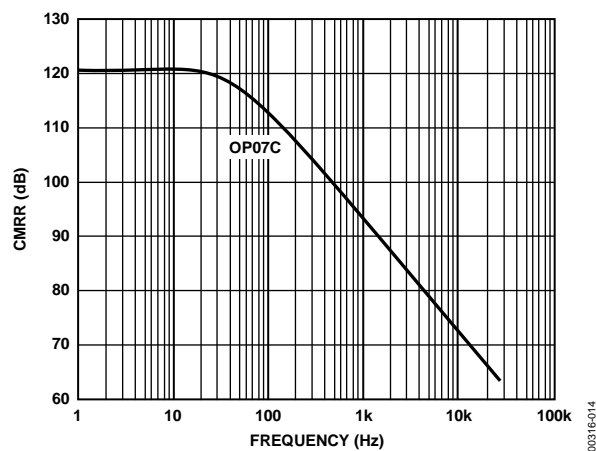


Figure 14. CMRR vs. Frequency

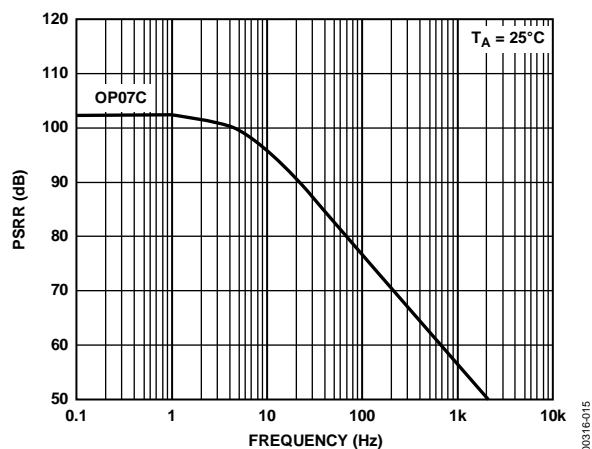


Figure 15. PSRR vs. Frequency

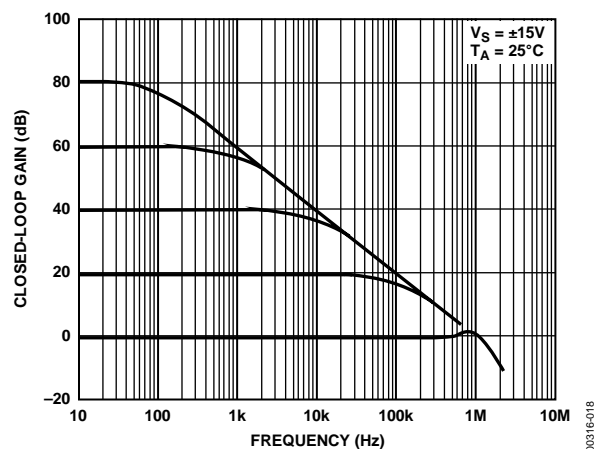


Figure 18. Closed-Loop Frequency Response for Various Gain Configurations

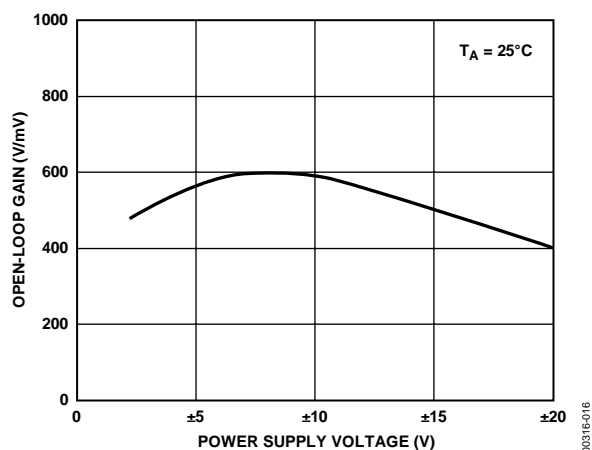


Figure 16. Open-Loop Gain vs. Power Supply Voltage

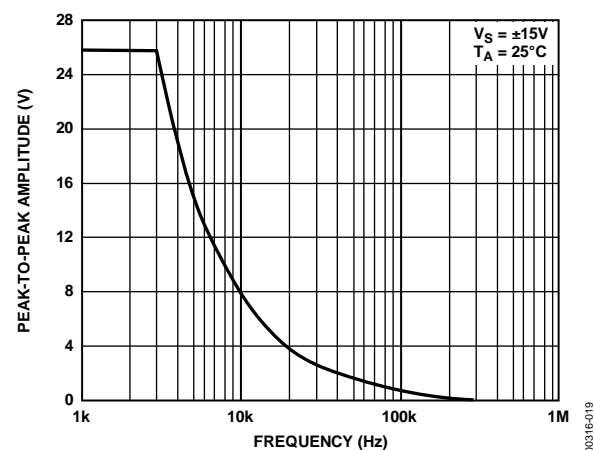


Figure 19. Maximum Output Swing vs. Frequency

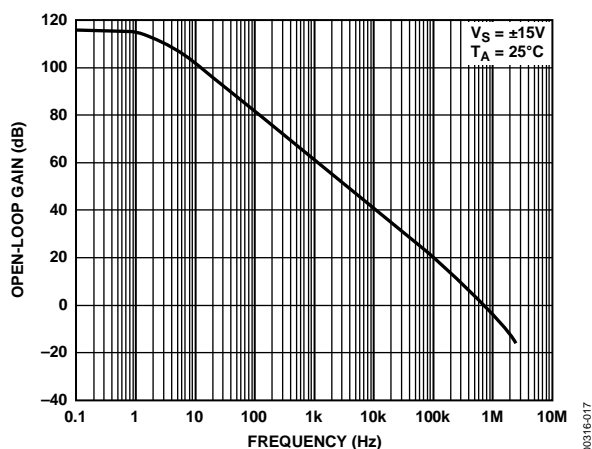


Figure 17. Open-Loop Frequency Response

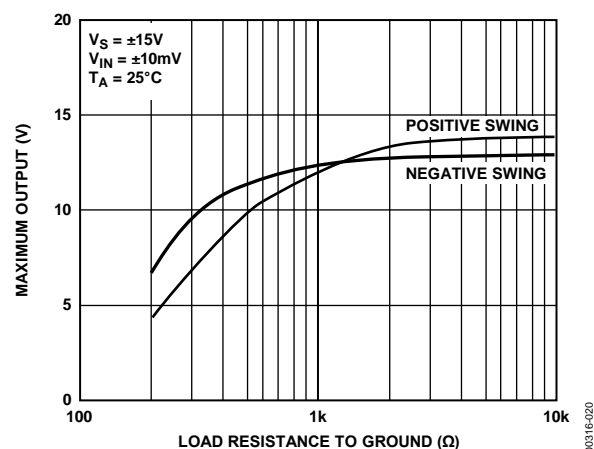


Figure 20. Maximum Output Voltage vs. Load Resistance

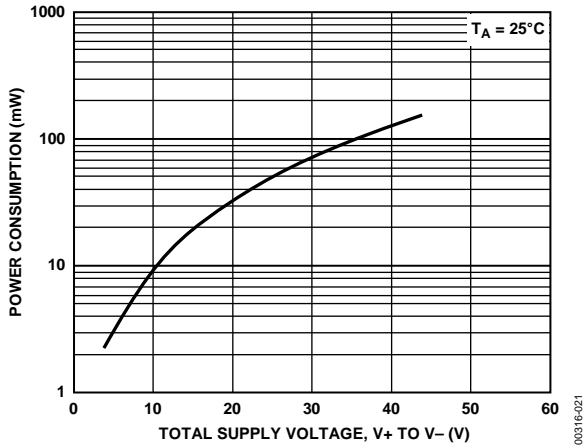


Figure 21. Power Consumption vs. Power Supply

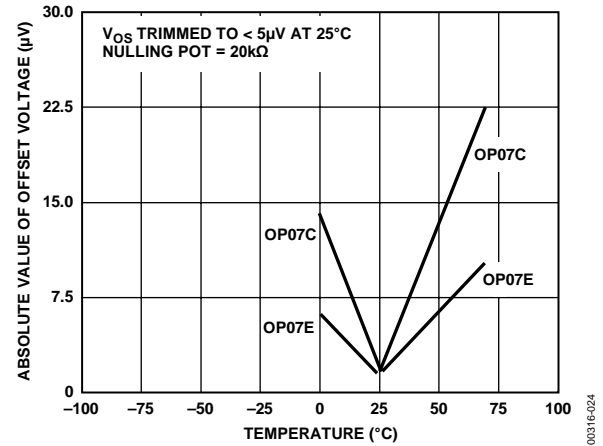


Figure 24. Trimmed Offset Voltage vs. Temperature

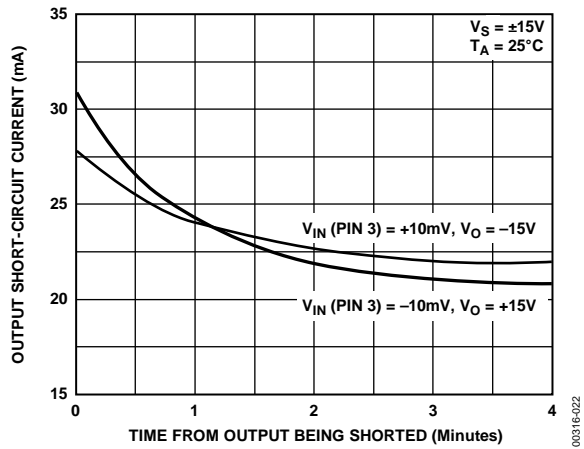


Figure 22. Output Short-Circuit Current vs. Time

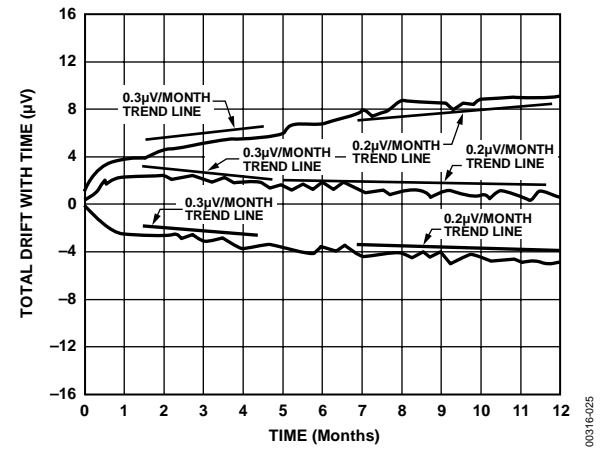


Figure 25. Offset Voltage Drift vs. Time

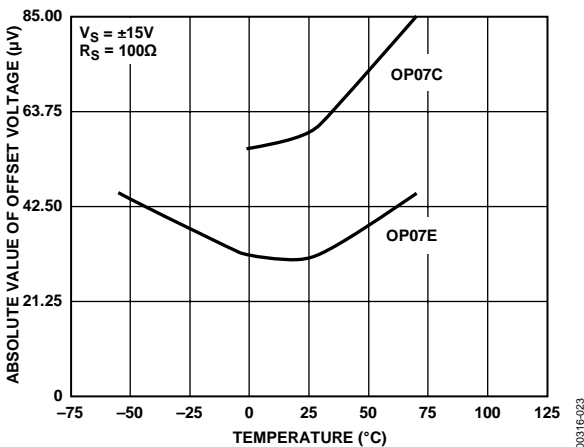


Figure 23. Untrimmed Offset Voltage vs. Temperature

TYPICAL APPLICATIONS

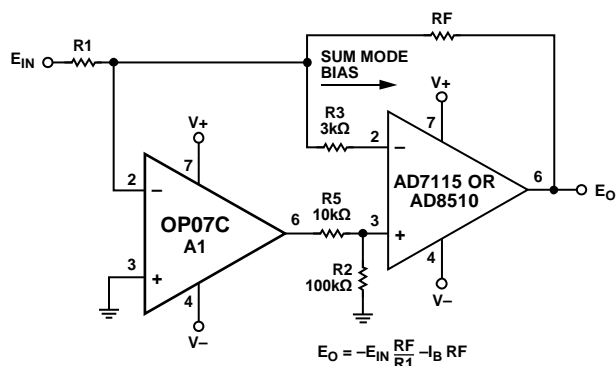


Figure 26. Typical Offset Voltage Test Circuit

00316-026

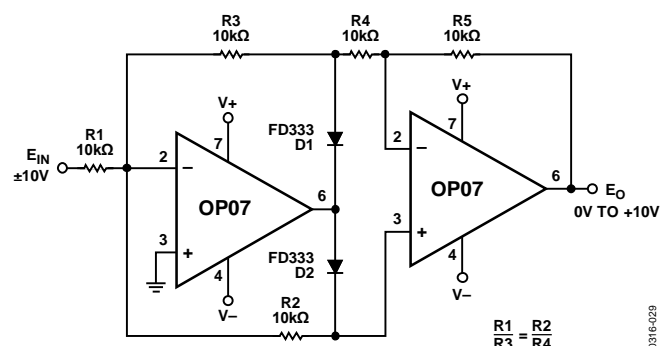


Figure 29. Absolute Value Circuit

00316-029

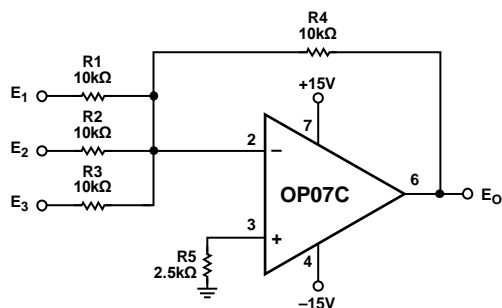
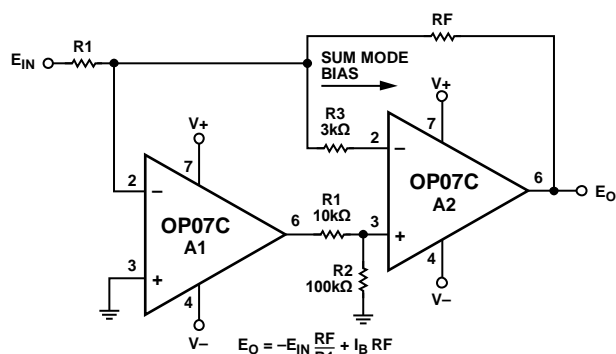


Figure 27. Typical Low Frequency Noise Circuit

00316-027



NOTES
1. PINOUT SHOWN FOR P PACKAGE

Figure 30. High Speed, Low V_{OS} Composite Amplifier

00316-030

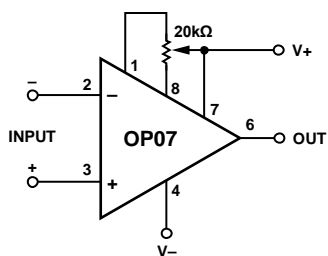
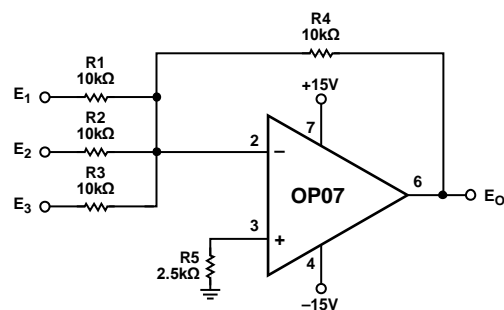


Figure 28. Optional Offset Nulling Circuit

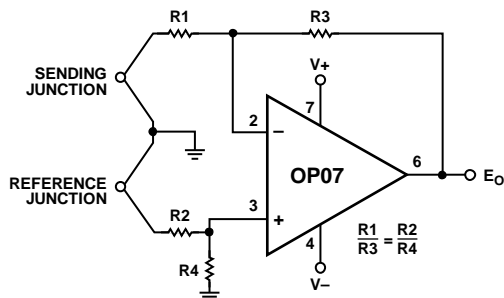
00316-028



NOTES
1. PINOUT SHOWN FOR P PACKAGE

Figure 31. Adjustment-Free Precision Summing Amplifier

00316-031



NOTES
1. PINOUT SHOWN FOR P PACKAGE

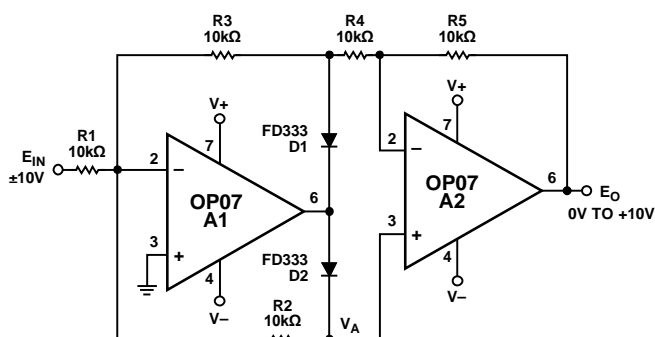
Figure 32. High Stability Thermocouple Amplifier

00316-032

APPLICATIONS INFORMATION

The OP07 provides stable operation with load capacitance of up to 500 pF and ± 10 V swings; larger capacitances should be decoupled with a 50 Ω decoupling resistor.

Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation is obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

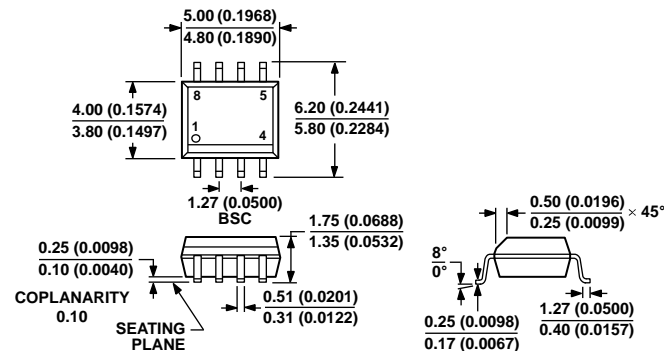


NOTES
1. PINOUT SHOWN FOR P PACKAGE

Figure 33. Precision Absolute-Value Circuit

00316-033

OUTLINE DIMENSIONS

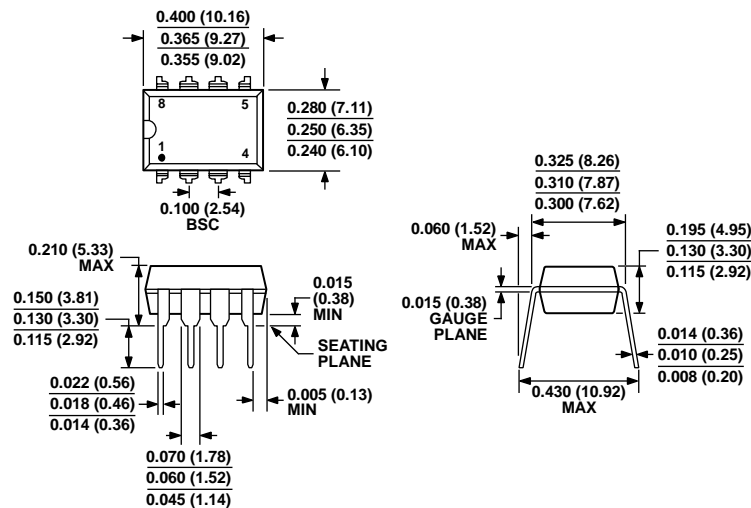


COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012-AA
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS
(IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR
REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

012407-A

Figure 34. 8-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_N]
Narrow Body S-Suffix
(R-8)

Dimensions shown in millimeters and (inches)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-001
CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS
(IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF INCH EQUIVALENTS FOR
REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.
CORNER LEADS MAY BE CONFIGURED AS WHOLE OR HALF LEADS.

070606-A

Figure 35. 8-Lead Plastic Dual-in-Line Package [PDIP]
P-Suffix
(N-8)

Dimensions shown in inches and (millimeters)

ORDERING GUIDE

Model ¹	Temperature Range	Package Description	Package Option
OP07EPZ	0°C to 70°C	8-Lead PDIP	N-8 (P-Suffix)
OP07CPZ	−40°C to +85°C	8-Lead PDIP	N-8 (P-Suffix)
OP07CSZ	−40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8 (S-Suffix)
OP07CSZ-REEL	−40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8 (S-Suffix)
OP07CSZ-REEL7	−40°C to +85°C	8-Lead SOIC_N	R-8 (S-Suffix)

¹ Z = RoHS Compliant Part.

NOTES

NOTES