

پردیس دانشکدههای فنی دانشگاه تهران دانشکده مهندسی مکانیک آزمایشگاه ابزار دقیق پیشرفته



طراحی و ساخت حسگر خازنی سطحسنج آب در مخازن

پژوهشگر: امیرمهدی متین

استاد راهنما: دكتر موسى آيتي



مقدمه

پیکربندی

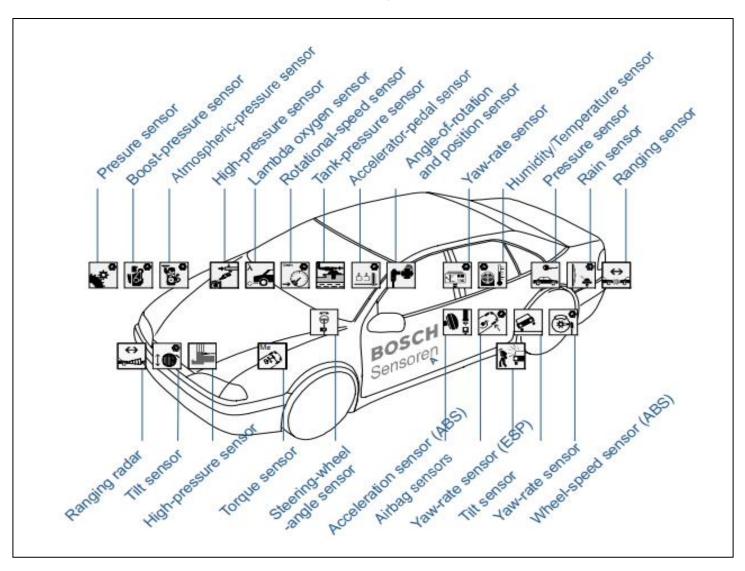
مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي



اهمیت سیستمهای اندازهگیری





مقدمه

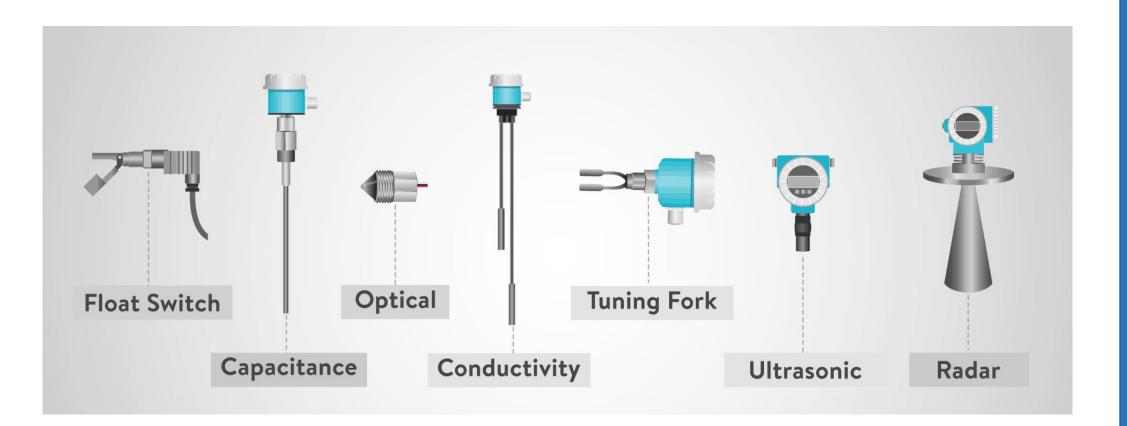
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

انواع حسگرهای سطحسنج





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

مقایسه انواع حسگرهای سطحسنج

معایب	مزایا	حسگر	
مستعد آسیبهای مکانیکی	ساختار ساده	شناوری	
هزینه تعمیر و نگهداری بالا	هزینه کم		
مستعد داشتن تداخلات	ساختار ساده	التراسونيك	
ایمنی ذاتی ضعیف	نصب و نگهداری آسان		
	دقت بالا		
گیرکردن در محیطهای خاص مانند مایع گلآلود	ابعاد بزرگ	مغناطيسي	
	امنيت بالا		
	عملكرد پايدار	دیفرانسیلی فشار	
مسدود شدن به آسانی	دقت بالا		
	هزینه کم		
عدم اندازهگیری مایعات کدر و مواد چسبنده	ضد تداخلات الكترومغناطيسي	• • • • • •	
	استحکام در محیطهای سخت	فیبر نوری	
ساختار پیچیده	هزینه کم		
ايمنى غير ذاتى	خطى بودن بالا	خازنی	
	اتلاف انرژی کم		



مقدمه

ييكربندي

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

مقایسه انواع حسگرهای سطحسنج

معایب	مزایا	حسگر	
مستعد آسیبهای مکانیکی	ساختار ساده	1• ÷.	
هزینه تعمیر و نگهداری بالا	هزینه کم	شناوری	
مستعد داشتن تداخلات	ساختار ساده	التراسونيک	
ایمنی ذاتی ضعیف	نصب و نگهداری آسان		
	دقت بالا		
گیرکردن در محیطهای خاص مانند مایع گل آلود	ابعاد بزرگ	مغناطيسي	
	امنيت بالا		
	عملكرد پايدار	دیفرانسیلی فشار	
مسدود شدن به آسانی	دقت بالا		
	هزینه کم		
عدم اندازه گیری مایعات کدر و مواد چسبنده	ضد تداخلات الكترومغناطيسي		
	استحکام در محیطهای سخت	فیبر نوری	
ساختار پیچیده	هزینه کم		
	خطى بودن بالا	خازنی	
ایمنی غیر ذاتی	اتلاف انرژی کم		



مقدمه

پیگربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

بیان مساله



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج

طراحی و ساخت حسگر خازنی سطحسنج

آب

مخازن با ارتفاع بالا

ع متر



pvl.co.uk/products/clm-70-capacitive-level-meter

شرکتهای سازنده

قیمت

80 M IRR



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج



1140\$



بلوک دیاگرام



مقدمه

پیکربندی

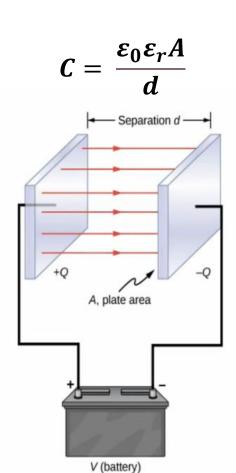
مكانيك

الكترونيك

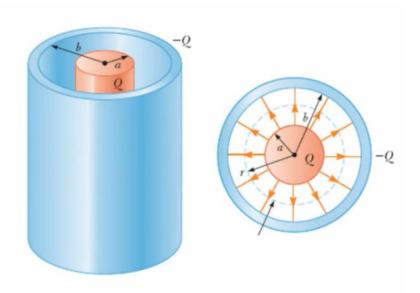
برنامهنويسي



انواع خازنها



استوانهای
$$C = rac{2\pi arepsilon_0 arepsilon_r}{\ln rac{b}{a}} L$$





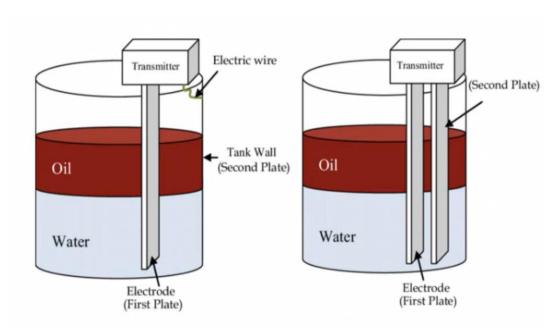
مقدمه

مكانيك

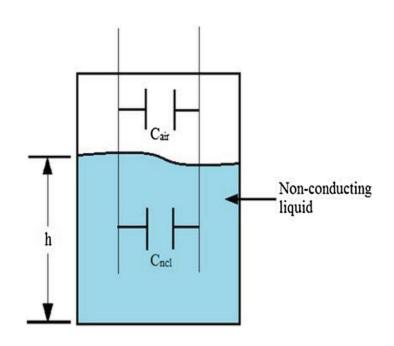
الكترونيك

برنامهنويسي

انواع پیکربندیها



en.wikipedia.org/wiki/Level_sensor



Rodrigo T. Bento, "Design, development and application of a real-time capacitive sensor for automatically measuring liquid level", *Springer Nature Switzerland AG*, 2019.



مقدمه

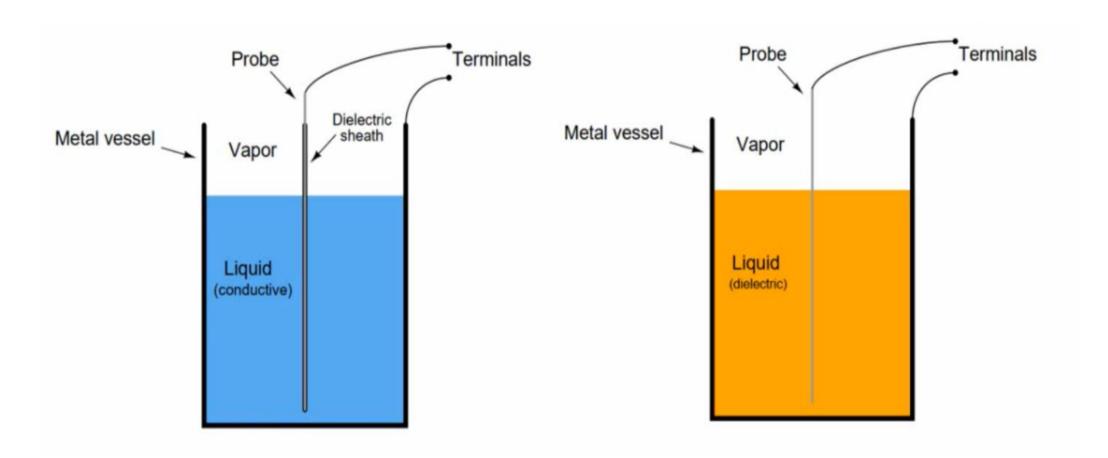
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

انواع پیکربندیها





مقدمه

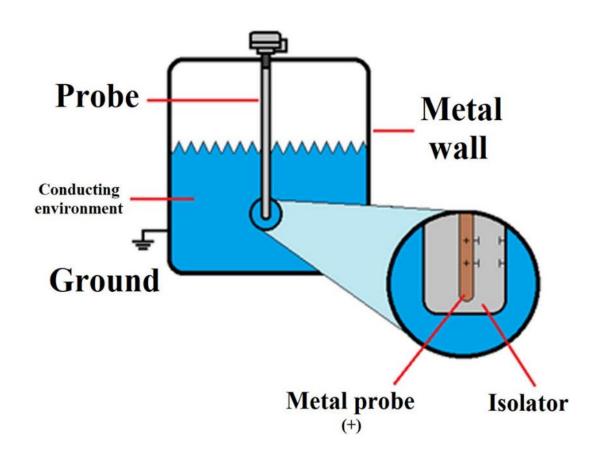
بيكربندي

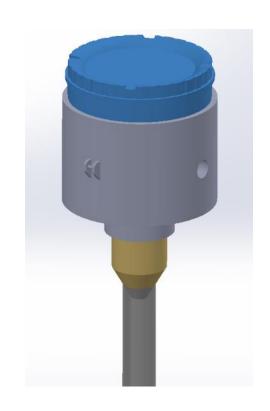
مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

دستیابی به پیکربندی مناسب





K. T. P. K. R. M. R. Stephannie C. Mathews, "Design and Development of a Simple and Efficient Low Cost Embedded Liquid Level Measurement System."



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي



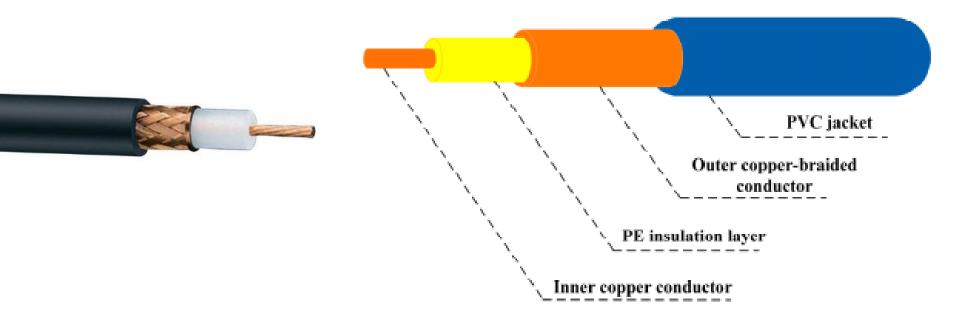
مقدمه

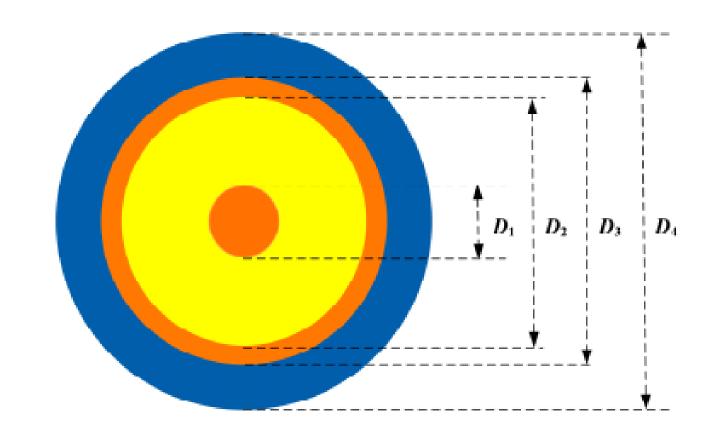
يكربندي

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي







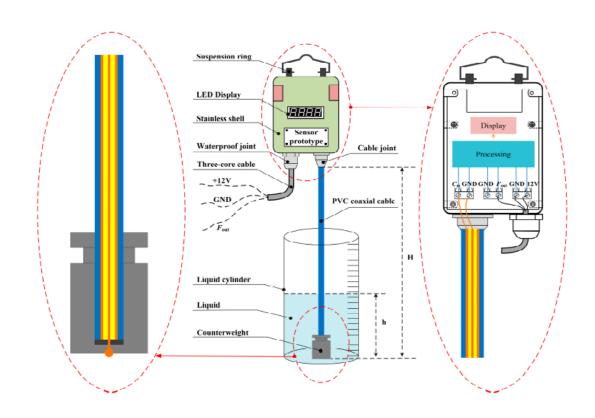
مقدمه

ييكربندي

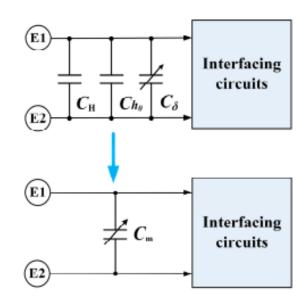
مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي



B. Jin, X. Liu, Q. Bai, D. Wang 5Y. Wang, "Design and Implementation of an Intrinsically Safe Liquid-Level Sensor Using Coaxial Cable", sensors, 2015.



A. Q. e. al, "Design of capacitive sensor for water level measurement ", Journal of Physics: Conference Series. 2016,



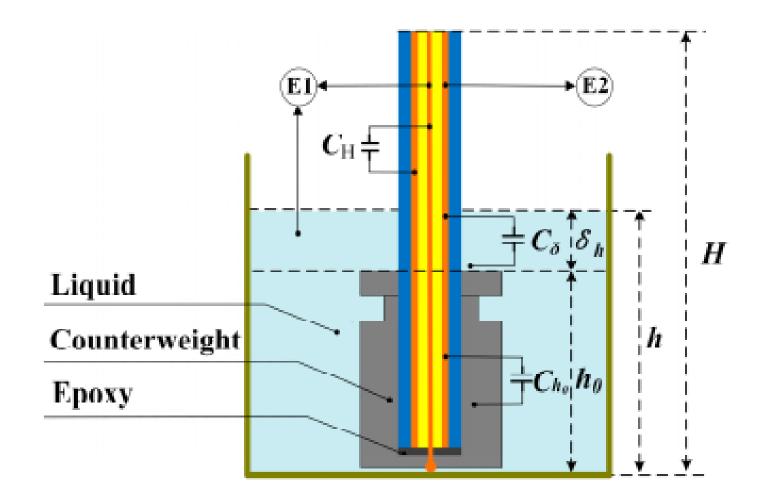
مقدمه

ييكربندي

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

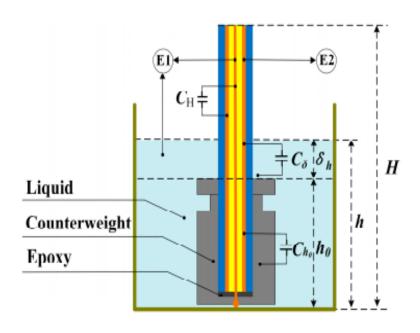
برنامهنويسي

معادلات حاكم

$$C_H = rac{2\piarepsilon_0arepsilon_r H}{\lnrac{D_2}{D_1}}$$
 , $C_{h_0} = rac{2\piarepsilon_0arepsilon_t h_0}{\lnrac{D_4}{D_3}}$, $C_{\delta} = rac{2\piarepsilon_0arepsilon_t \delta_h}{\lnrac{D_4}{D_3}}$

$$C_0 = C_H + C_{h_0} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r H}{\ln\frac{D_2}{D_1}} + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_t h_0}{\ln\frac{D_4}{D_3}}$$

$$C_m = C_0 + C_\delta = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_t\delta_h}{\ln\frac{D_4}{D_3}}$$



B. Jin, X. Liu, Q. Bai, D. Wang JY. Wang, "Design and Implementation of an Intrinsically Safe Liquid-Level Sensor Using Coaxial Cable", sensors, 2015.



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

معادلات حاكم

$2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r H$	$2\pi\varepsilon_0\varepsilon_t h_0$	$2\pi \varepsilon_0 \varepsilon_t \delta_h$
$C_H \equiv \frac{1}{\ln \frac{D_2}{D_1}}$, $C_{h_0} \equiv \frac{1}{\ln \frac{D_2}{D_1}}$	$=$ $\frac{\overline{D_4}}{\ln \overline{D_3}}$, \mathcal{C}_δ	$= \frac{1}{\ln \frac{D_4}{D_3}}$

$$C_0 = C_H + C_{h_0} = rac{2\pi arepsilon_0 arepsilon_r H}{\ln rac{D_2}{D_1}} + rac{2\pi arepsilon_0 arepsilon_t h_0}{\ln rac{D_4}{D_3}}$$

$$C_m = C_0 + C_\delta = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_t\delta_h}{\ln\frac{D_4}{D_3}}$$

$C_m = C_0 + C_\delta$
$= 134.76 + 731.98\delta_h$
$\approx 134.76 \sim 866.74 \ pF$

واحد	مقدار	توضيح	پارامتر
$\frac{\mathbf{F}}{\mathbf{m}}$	8.85×10^{-12}	ثابت گذردهی خلا	ϵ_0
Ø	2.3	ضریب گذردهی نسبی لایه PE	$\epsilon_{\rm r}$
Ø	4.8	ضریب گذردهی نسبی لایه PVC	ϵ_{t}
mm	0.75	قطر لایه رسانای داخلی یا مغزی	D_1
mm	4.8	قطر لايه محافظ PE	D_2
mm	5	قطر لایه رسانای خارجی یا شیلد	D_3
mm	7.2	قطر کلی کابل یا لایه PVC	D_4
m	1.2	ارتفاع کلی کابل	Н
m	0.1	ارتفاع وزنه ثابت مرجع	$\mathbf{h_0}$
m	0.1~1.1	ارتفاع مايع درون مخزن	h
m	0~1	ارتفاع مایع مازاد مرجع	$\delta_{ m h}$
pF	134.76	ظرفیت خازن مرجع	C ₀



مقدمه

پیکربندی

مکانیک

الكترونيك

برنامهنويسي

طراحی کیس محافظ



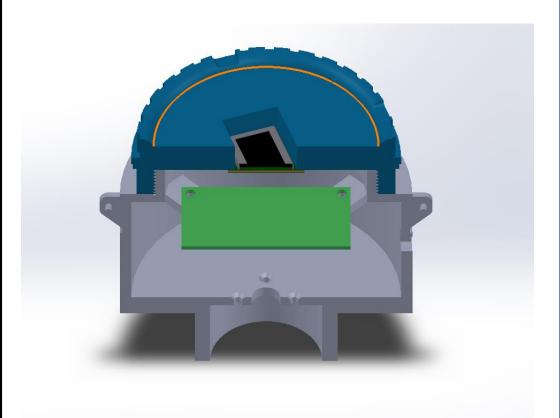
مقدمه

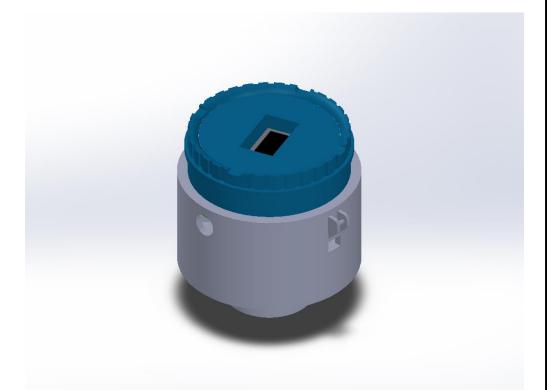
پیکربندی

مكانيك

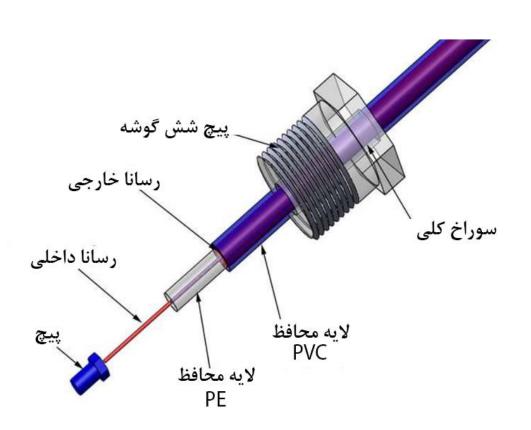
الكترونيك

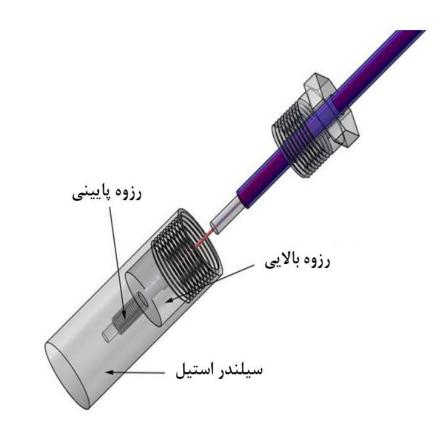
برنامهنويسي





طراحی ساختار اتصال کابل به وزنه







مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

پیادهسازی







مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

پیادهسازی







مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

الكترونيك

برد مدار چاپی PCB مدار آنالوگ Analog Circuit



مقدمه

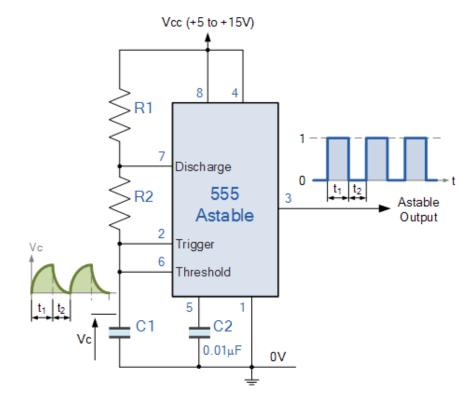
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

مدار آنالوگ



$$T = t_1 + t_2 = 0.693 \times (R_1 + 2R_2) \times C$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) \times C}$$



مقدمه

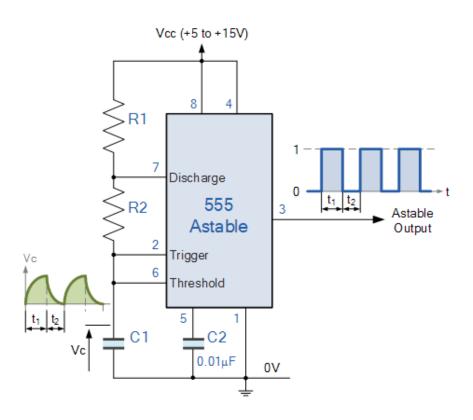
پیکربندی

مكانيك

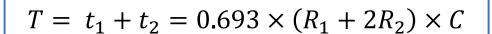
الكترونيك

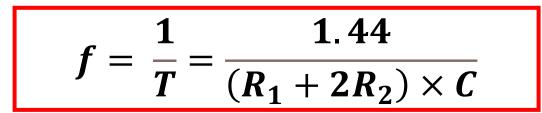
برنامهنويسي

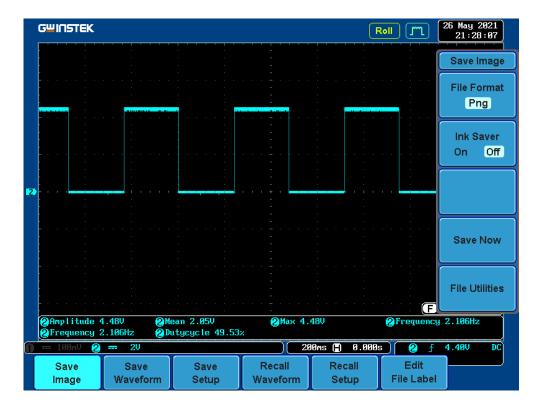
مدار آنالوگ



waveforms/555_oscillator









مقدمه

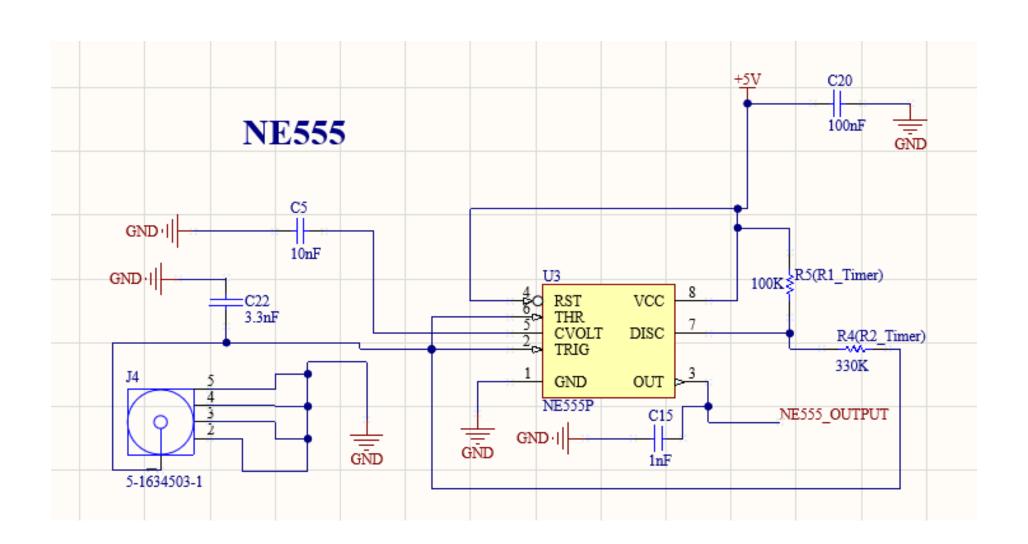
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

شماتیک اسیلاتور ۵۵۵





مقدمه

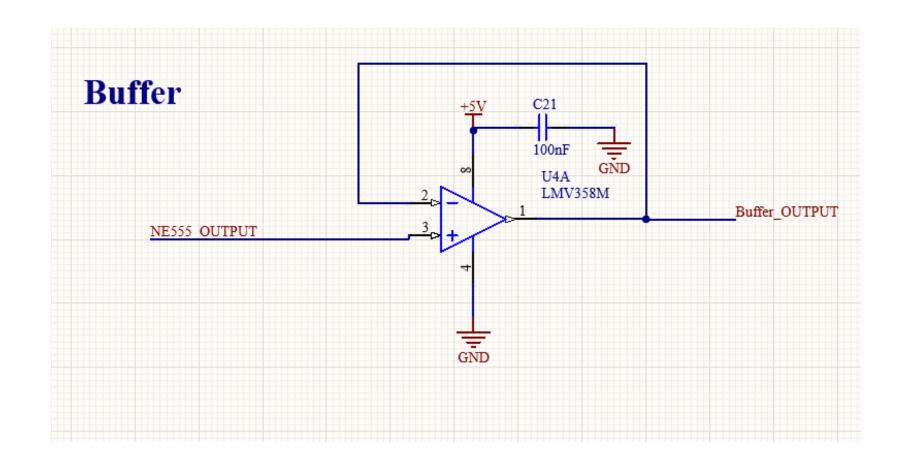
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

شماتیک مدار Buffer





مقدمه

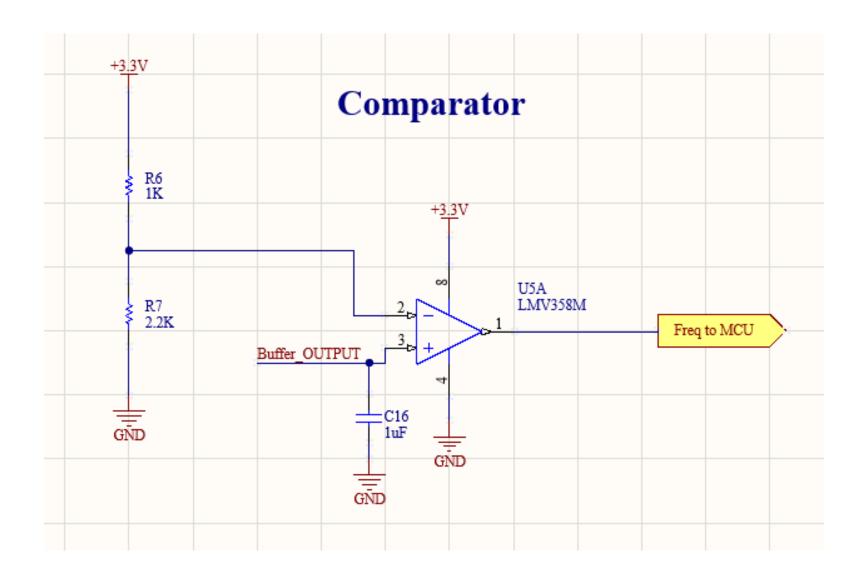
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامه نويسي

شماتیک Comparator





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

سیگنال خروجی



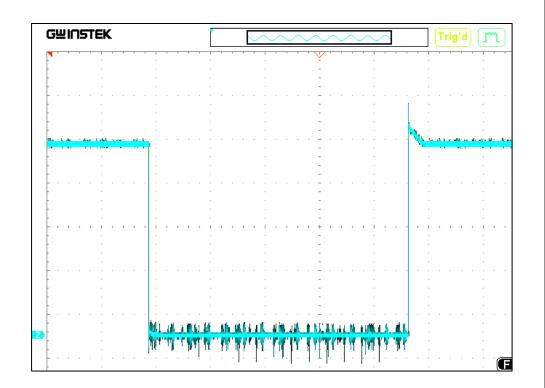
مقدمه

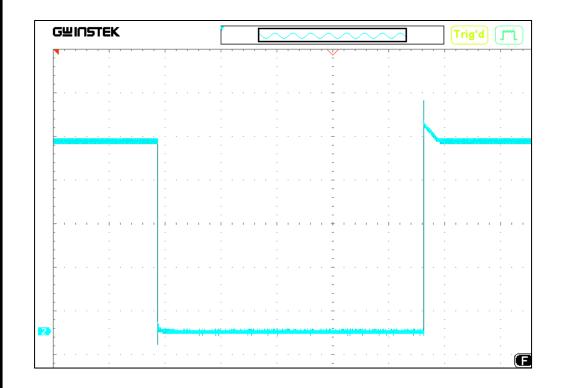
پیکربندی

مكانيك

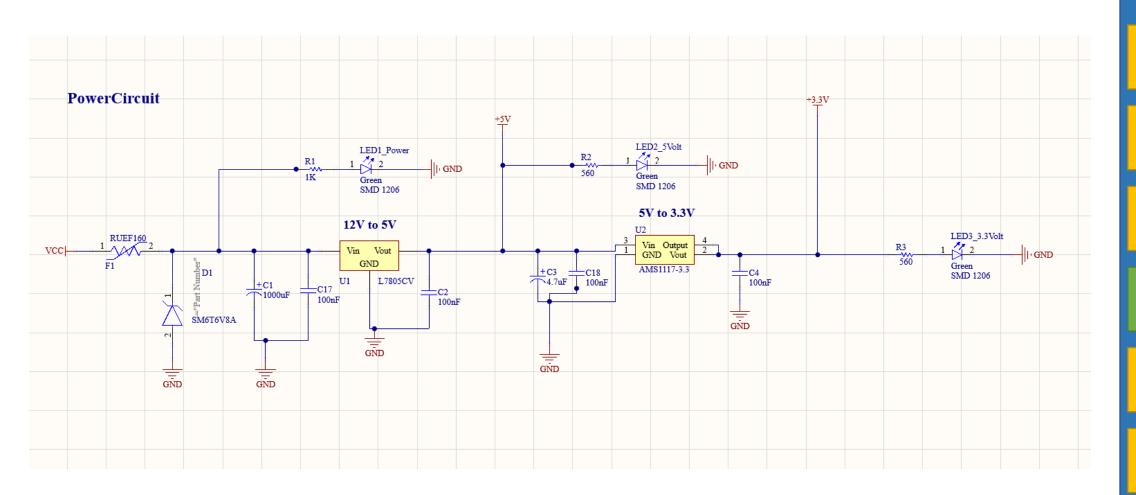
لكترونيك

رنامهنويسي





مدار تغذیه





مقدمه

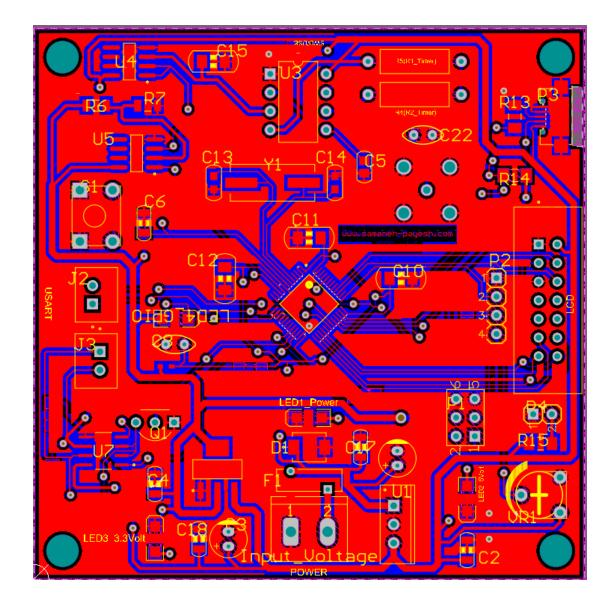
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

طراحی PCB





مقدمه

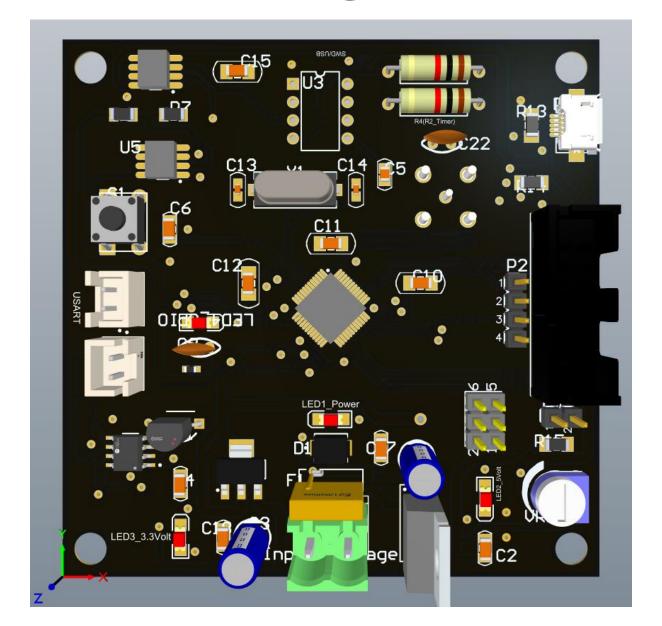
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

طراحی PCB





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

پیادهسازی PCB





مقدمه

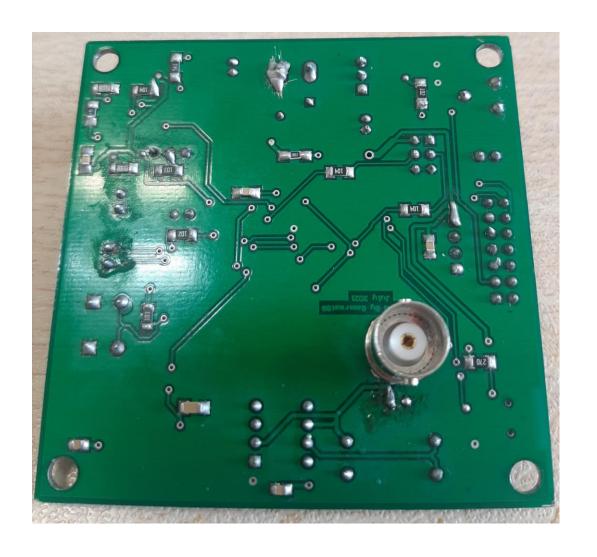
پیگربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنویسی

پیادهسازی PCB





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

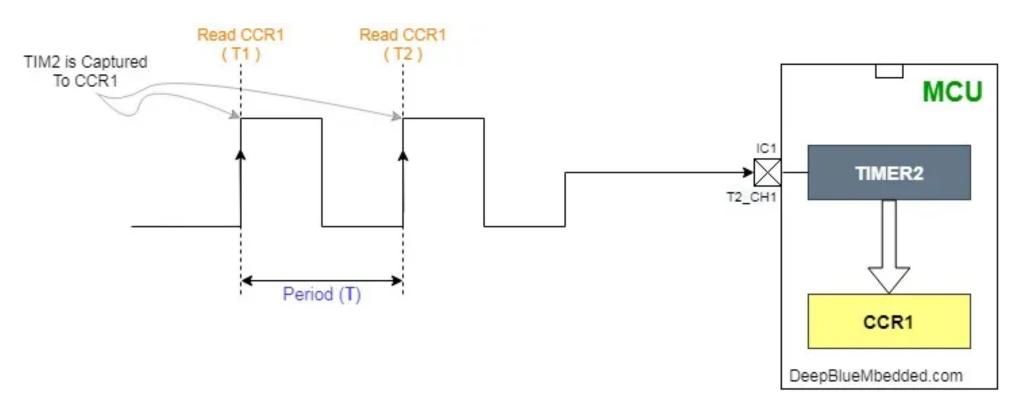
الكترونيك

برنامهنويسي

ميكروكنترلر

Arm Cortex-M3 - STM32F103CBT6

16-Bit Timer





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

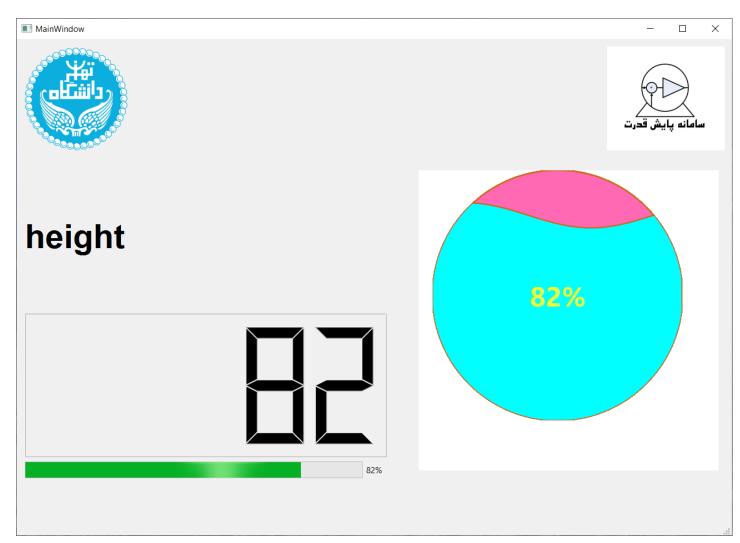
نرمافزار مانیتورینگ



www.qt.io



www.amazon.co.uk





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج

تست عملكرد خازن كابل كواكسيال

تست عملکرد مدار آنالوگ

تست عملكرد ميكروكنترلر

آناليز نتايج

تست عملکرد خازن کابل کواکسیال





مقدمه

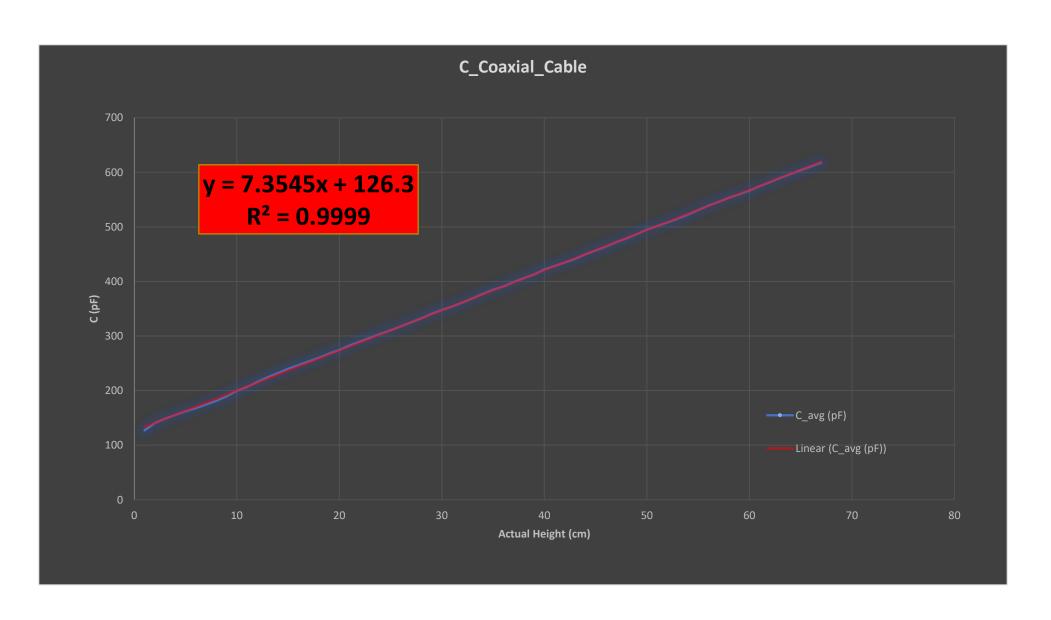
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

تست عملکرد خازن کابل کواکسیال





مقدمه

ييكربندي

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

تست عملکرد مدار آنالوگ





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

Vss 5 V

تست عملکرد مدار آنالوگ





مقدمه

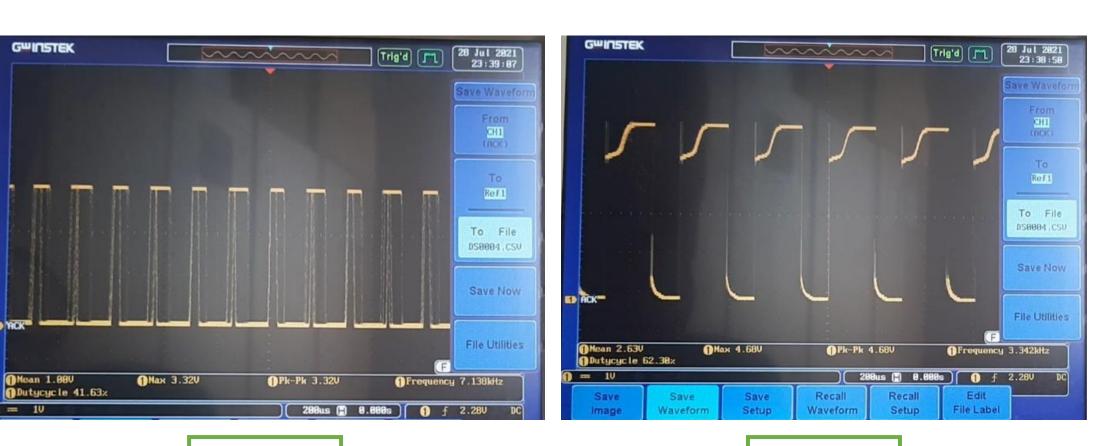
ييكربندي

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج



Comparator

NE555

Vss 5 V

تست عملکرد مدار آنالوگ





مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج

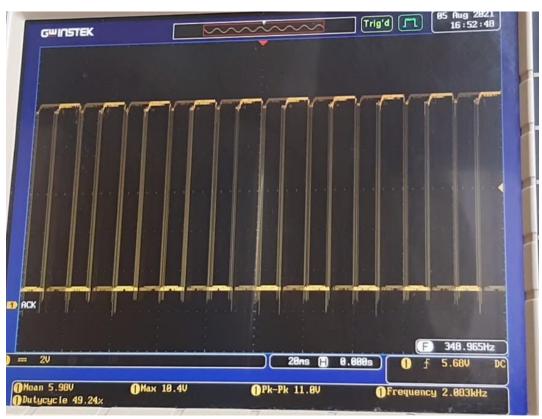


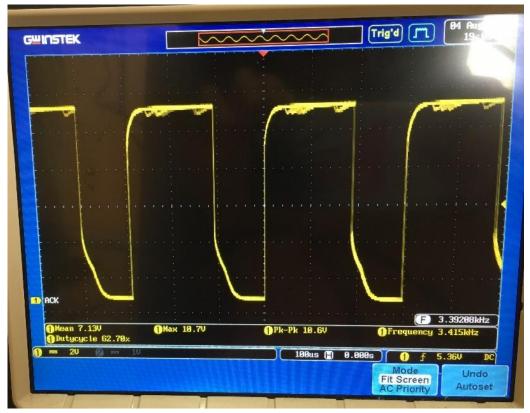
GWINSTEK minn Trig'd [] ED ACK F 398.246Hz = 10 18ms (A) 0.000s 1 f 2.28V 1 Mean 2.28V Max 4.36V ●Pk-Pk 4.28V 1 Frequency 103.3Hz ODutycycle 91.11z

Zoom In Zoom Out

NE555

تست عملکرد مدار آنالوگ





داخل مخزن

خارج مخزن

Advanced Instrumentation Laboratory

مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

نتايج

NE555

تست عملکرد میکروکنترلر

```
data: 433 ----avg frequency is: 2758 Hz -----capacitor is: 1301.421997 pF -----height is: 32 cm
data: 434 ----avg frequency is: 3119 Hz -----capacitor is: 1150.792480 pF -----height is: 12 cm
data: 435 ----avg frequency is: 3128 Hz -----capacitor is: 1147.481323 pF -----height is: 11 cm
data: 436 ----avg frequency is: 2691 Hz ----capacitor is: 1333.824463 pF ----height is: 37 cm
data: 437 ----avg frequency is: 2895 Hz -----capacitor is: 1239.834839 pF -----height is: 24 cm
data: 438 ----avg frequency is: 2783 Hz ----capacitor is: 1289.731201 pF ----height is: 31 cm
data: 439 ----avg frequency is: 2842 Hz -----capacitor is: 1262.956299 pF -----height is: 27 cm
data: 440 ----avg frequency is: 2309 Hz -----capacitor is: 1554.491943 pF -----height is: 67 cm
data: 441 ----avg frequency is: 2502 Hz -----capacitor is: 1434.581055 pF -----height is: 51 cm
data: 442 ----avg frequency is: 2845 Hz -----capacitor is: 1261.624512 pF -----height is: 27 cm
data: 443 ----avg frequency is: 2755 Hz -----capacitor is: 1302.839111 pF -----height is: 33 cm
data: 444 ----avg frequency is: 2817 Hz -----capacitor is: 1274.164673 pF -----height is: 29 cm
data: 445 ----avg frequency is: 2820 Hz -----capacitor is: 1272.809082 pF -----height is: 28 cm
data: 446 ----avg frequency is: 2753 Hz -----capacitor is: 1303.785645 pF -----height is: 33 cm
data: 447 ----avg frequency is: 2758 Hz -----capacitor is: 1301.421997 pF -----height is: 32 cm
data: 448 ----avg frequency is: 2836 Hz -----capacitor is: 1265.628296 pF -----height is: 27 cm
data: 449 ----avg frequency is: 2674 Hz -----capacitor is: 1342.304321 pF -----height is: 38 cm
data: 450 ----avg frequency is: 2707 Hz -----capacitor is: 1325.940796 pF -----height is: 36 cm
data: 451 ----avg frequency is: 2829 Hz ----capacitor is: 1268.759888 pF ----height is: 28 cm
data: 452 ----avg frequency is: 2891 Hz -----capacitor is: 1241.550293 pF -----height is: 24 cm
data: 453 ----avg frequency is: 2872 Hz -----capacitor is: 1249.763794 pF -----height is: 25 cm
data: 454 ----avg frequency is: 2830 Hz -----capacitor is: 1268.311523 pF -----height is: 28 cm
data: 455 ----avg frequency is: 2741 Hz -----capacitor is: 1309.493530 pF -----height is: 33 cm
data: 456 ----avg frequency is: 2723 Hz -----capacitor is: 1318.149780 pF -----height is: 35 cm
data: 457 ----avg frequency is: 3088 Hz -----capacitor is: 1162.345093 pF -----height is: 13 cm
data: 458 ----avg frequency is: 2975 Hz -----capacitor is: 1206.494751 pF -----height is: 19 cm
data: 459 ----avg frequency is: 2785 Hz -----capacitor is: 1288.804932 pF -----height is: 31 cm
```



مقدما

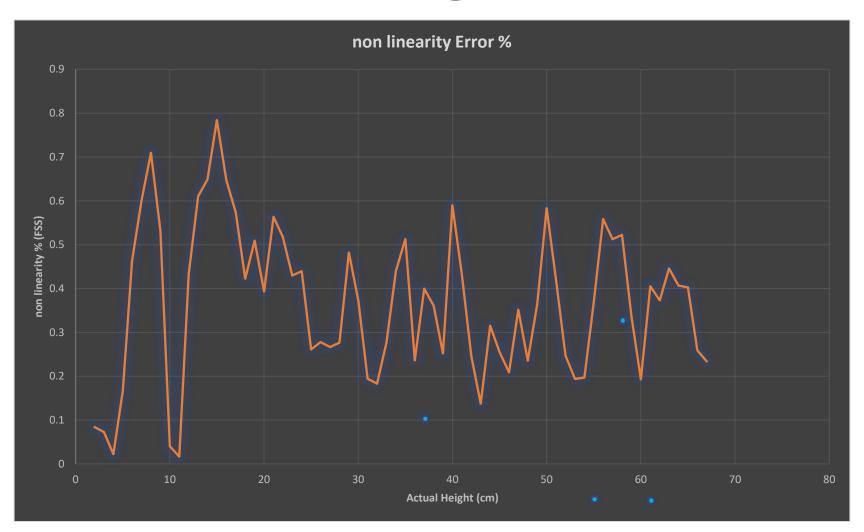
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

آنالیز نتایج: غیرخطی گری Non Linearity



Maximum nonlinearity error: 0.78 %



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

آنالیز نتایج: تفکیک پذیری Resolution

$$y = 7.3545x + 126.3$$

$$C = 7.3545h + 126.3$$

$$\Delta C = 7.3545\Delta h$$

Min $\Delta C = 0.1 \text{ pF}$

Resolution: 0.14 mm



مقدمه

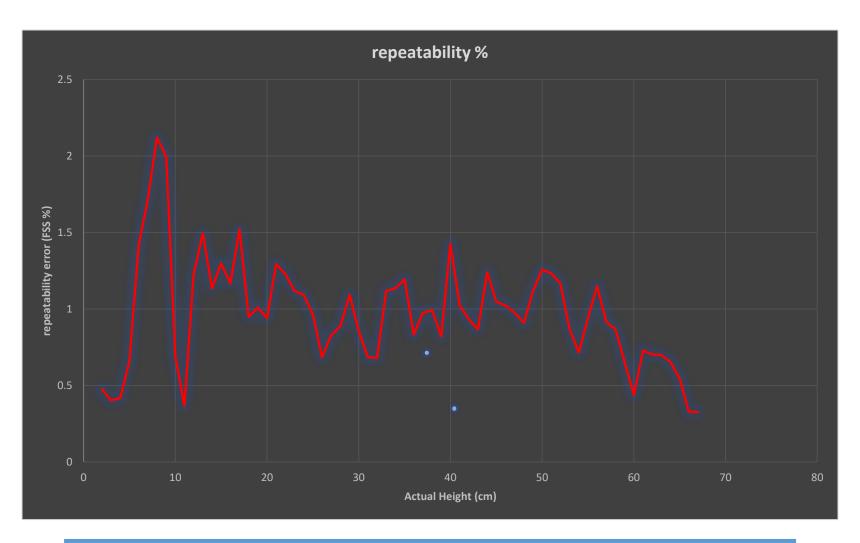
پیکربندی

مکانیک

الكترونيك

برنامهنویسی

آنالیز نتایج: تکرارپذیری Repeatability



Maximum Repeatability error: 2.11 %



مقدمه

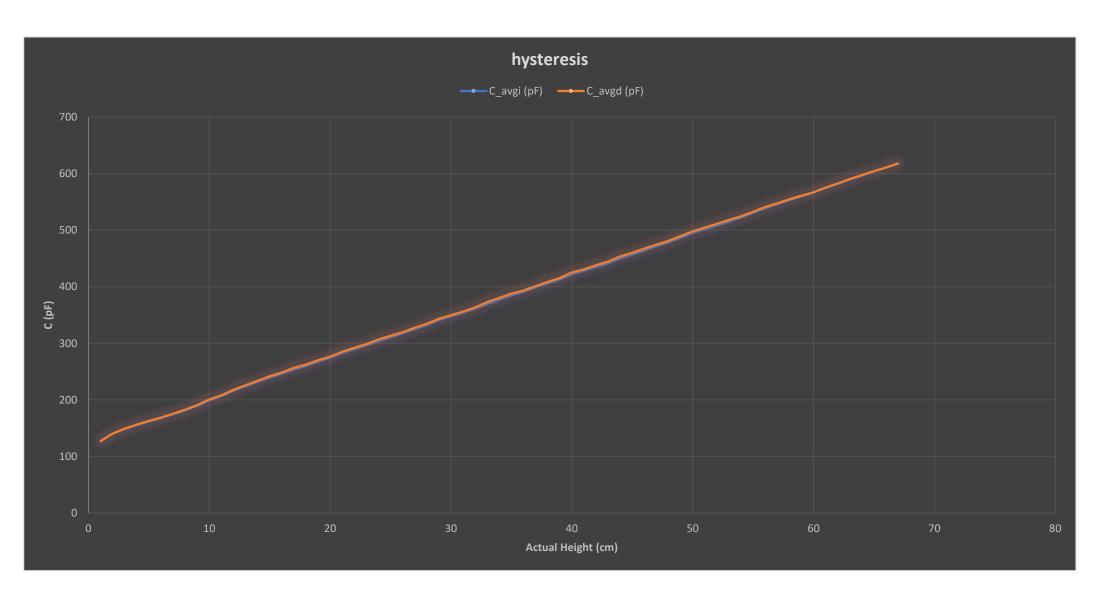
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

آنالیز نتایج: پسماند Hysteresis





مقدمه

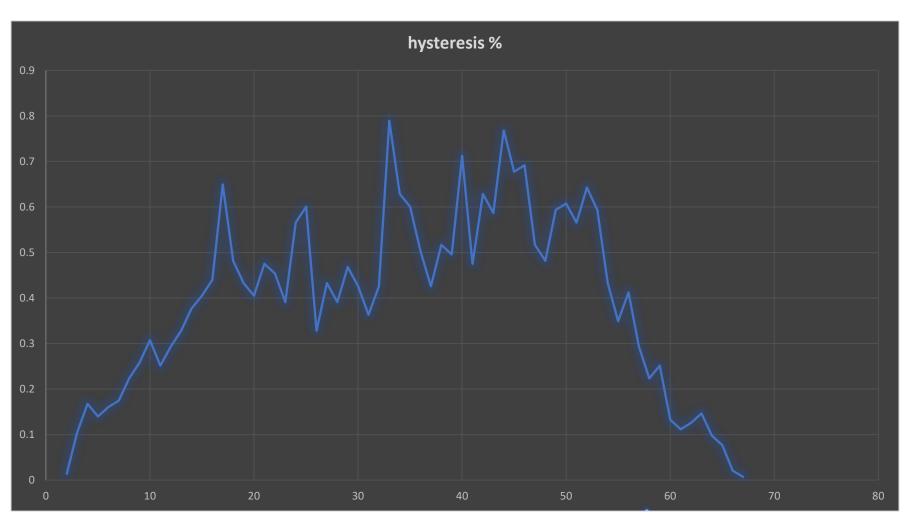
پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

آنالیز نتایج: پسماند Hysteresis



Maximum Hysteresis error: 0.79 %



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي

آنالیز نتایج: حساسیت Sensitivity

$$\frac{\partial C}{\partial h}$$

$$y = 7.3545x + 126.3$$

Sensitivity: 7.3545 $(\frac{pF}{cm})$



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنویسی

خلاصه نتایج

واحد	مقدار	ویژگی
mm	0.14	رزولوشن
mm	1.00	رنج
% F.S	0.78	بیشترین خطا غیرخطی گری
% F.S	2.11	بیشترین خطا تکرارپذیری
% F.S	0.79	بیشترین خطا پسماند



مقدمه

پیکربندی

مكانيك

الكترونيك

برنامهنويسي



[1]	A. S. Morris, Measurement and Instrumentation Principles, Butterworth-Heinemann, 2001.
[2]	S. Tumanski, Principles of Electrical Measurement, Taylor & Francis, 2006.
[3]	"www.engineersgarage.com"
[4]	"en.wikipedia.org/wiki/Level_sensor"
[5]	B. Jin, X. Liu, Q. Bai, D. Wang 9 Y. Wang, "Design and Implementation of an Intrinsically Safe Liquid-Level Sensor Using Coaxial Cable ",sensors ,2015.
[6]	L. K. Baxter, Capacitive Sensors Design and Applications, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1997.
[7]	"endress.com"
[8]	"VEGA_Grieshaber"
[9]	A. A. Basfar, "Effect of various combinations of flame-retardant fillers on flammability of radiation", Polym. Degrad. Stab, pp. 333-340, 2003.
[10]	A. Q. e. al, "Design of capacitive sensor for water level measurement ",Journal of Physics: Conference Series.2016,
[11]	Z. M. V. R. M. Z. V. Milosavljevic, "Implementation of low cost liquid level sensor (LLS) using embedded system with integrated capacitive sensing module ", Mediterranean Conference on Embedded Computing, 2012.
[12]	R. W. O. S. L. A. D. A. F. F. A. J. C. P. Rodrigo T. Bento, "Design, development and application of a real-time capacitive sensor for automatically measuring liquid level ", Springer Nature Switzerland AG, 2019.
[13]	"waveforms/555_oscillator"
[14]	"Faradars_L78xx"
[15]	"www.systematick.ir"
[16]	A. Sadighi, "Measurement Systems, Introduction, Part II," University of Tehran, Tehran, 2020.
[17]	E. O. Doebelin, Measurement systems: application and design, Mcgraw-Hill, 1990.
[18]	S. B. & .B. Vasuki, "Performance Enhancement of Capacitance-Type Level Measurement System using CCII-Based Interface", IETE Technical Review ,2019.
[19]	K. T. P. K. R. M. R. Stephannie C. Mathews, "Design and Development of a Simple and Efficient Low Cost Embedded Liquid Level Measurement System."
[20]	"www.st.com"
[21]	"deepbluembedded.com"
[22]	"mall.industry.siemens.com"
[23]	"www.tabrizpeguh.com"





با تشکر از توجه شما

matin.amirmahdi@ut.ac.ir