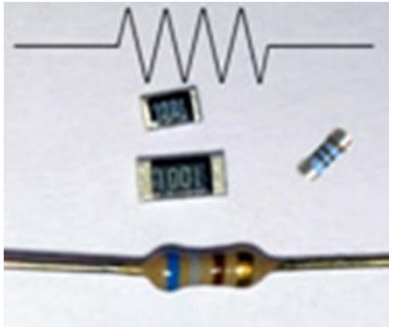
بررسی مختصر عناصر پسیو مورد نیاز در ابزار دقیق

ابزار دقیق پیشرفته الکترونیکی

معرفی مباحث

- بررسی مقاومت
  - مشخصه های مهم مقاومت
  - انواع مقاومت
- بررسی انواع خازن
  - مشخصه های مهم خازن
  - انواع خازن
- عناصر متفرقه
  - سلف، واریستور، دیود، رله و سوئیچ نیمه هادی، پتانسیومتر دیجیتال،

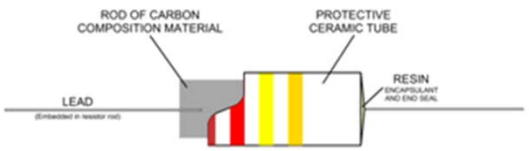
مشخصات مقاومت

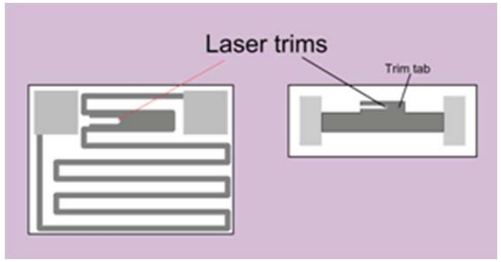


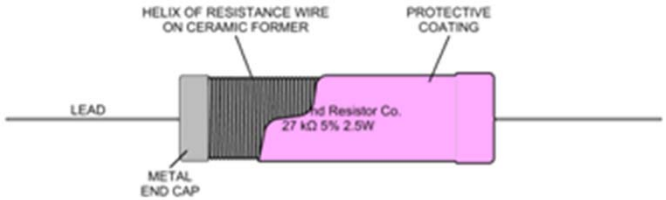
- مشخصات مهم:

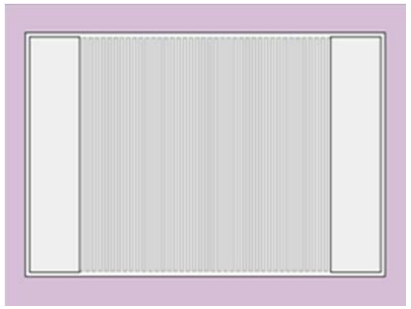
- تلرانس: تغیرات نسبت به مقدار نامی، 10%-5%-1% (تا0.1% در thinfilm)
- توان قابل تحمل: 1/4W به بالا
- ضریب حرارتی: 1500ppm/°C تا کمتر از 1ppm/°C
- مقاومت حرارتی: 50°C/W تا 150°C/W برای مقاومت پایه دار زیر2W
- نویز: نویز حرارتی و 1/f
- حداکثر ولتاژ قابل تحمل:100V به بالا
- پکیج: پایه دار (leaded) و مونتاژ سطحی SMT و شبکه (Network)
- عناصر پارازیتی: سلف سری و خازن موازی
- اثر ترموالکتریک: تولید ولتاژ در صورت وجود گرادیان حرارتی
- پایداری

انواع مقاومت







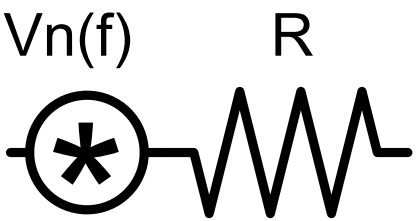


- کربنی (Carbon composite & Carbon Film)
- فیلم فلزی (Metal Film)
- سیم پیچی (Wirewound)
- فویل فلزی (Metal Foil)
- مقاومت بالا (High megh)

انواع مقاومت: مقایسه

TYPE	ADVANTAGES	DISADVANTAGES
Carbon Composition	Lowest Cost High Power/Small Case Size Wide Range of Values	Poor Tolerance (5%) Poor Temperature Coefficient (1500ppm/°C)
Wirewound	Excellent Tolerance (0.01%) Excellent TC (1ppm/°C) High Power	Reactance is a Problem Large Case Size Most Expensive
Metal Film	Good Tolerance (0.1%) Good TC (<1 to 100ppm/°C) Moderate Cost Wide Range of Values Low Voltage Coefficient	Must be Stabilized with Burn-In Low Power
Bulk Metal or Metal Foil	Excellent Tolerance (to 0.005%) Excellent TC (to <1ppm/°C) Low Reactance Low Voltage Coefficient	Low Power Very Expensive
High Megohm	Very High Values (10^8 to $10^{14}\Omega$) Only Choice for Some Circuits	High Voltage Coefficient (200ppm/V) Fragile Glass Case (Needs Special Handling) Expensive

نویز در مقاومتها



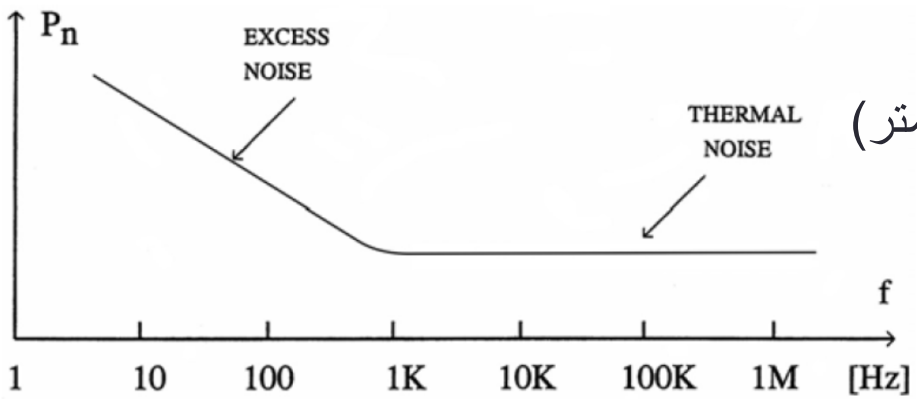
- نویز حرارتی: یکسان در تمام مقاومتها
- $V^2(f)=4kTR$
- طیف سفید

$$V_R(f)=\sqrt{\frac{R}{1K}}\times 4.06nV/\sqrt{Hz}$$

- $Vrms(nV) = 7.43\sqrt{RT\Delta f}$

- نویزاضافی 1/f (Excess Noise)
- $V^2(f) = \frac{CV_{DC}^2}{f}$
- تابع فرکانس و ولتاژ DC مقاومت
- C: ضریب وابسته به پارامترهای ساخت
- اطلاعات کم و یا عدم وجود اطلاعات در مورد نویز 1/f مقاومتها

نویز اضافی مقاومت



- اهمیت در فرکانس پایین (حدود 100Hz و کمتر)
- ولتاژ نویز rms از فرکانس f1 تا f2

$$\overline{v_n^2} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{C\,V_{dc}^2}{f}\,df + 4kTR(f_2 - f_1)$$

$$\overline{v_n^2} = C\,V_{dc}^2\,\ln\frac{f_2}{f_1} + 4kTR(f_2 - f_1)$$

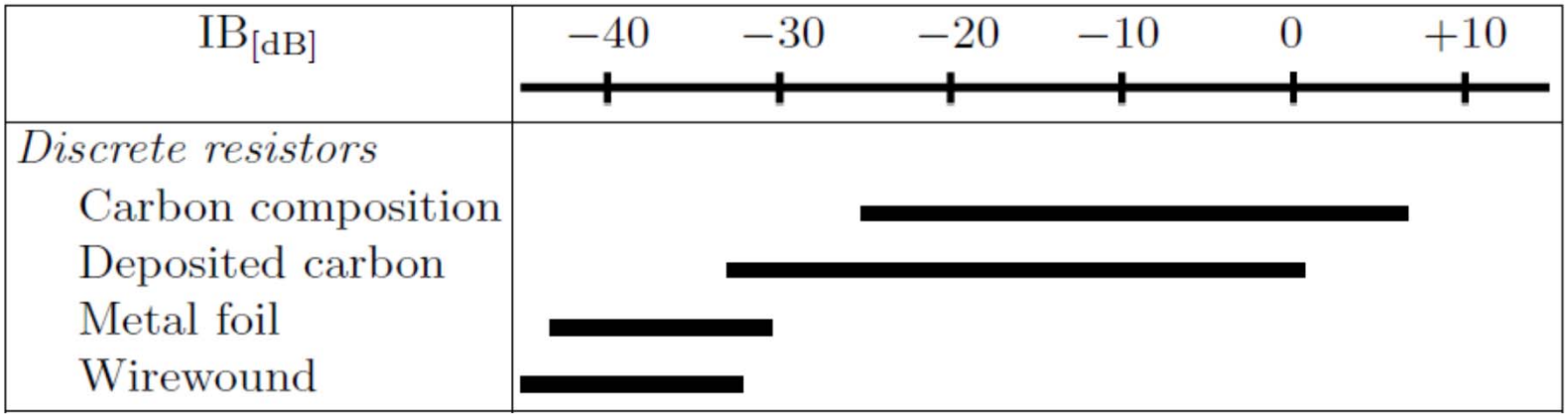
- شاخص نویز (noise index):نسبت rms نویز اضافی در یک دهه برحسب میکرو ولت به ولتاژ دو سر مقاومت بر حسب ولت.

$$\overline{v_{nex}^2} = C\,V_{dc}^2\,\ln\,10 \qquad NI = \frac{v_{nex}}{V_{dc}}\left[\frac{\mu V}{V}\right]$$

$$[NI]_{dB} = 10\log\frac{\overline{v_{nex}^2}}{V_{dc}^2} = 20\log(NI)$$

نویز اضافی مقاومت

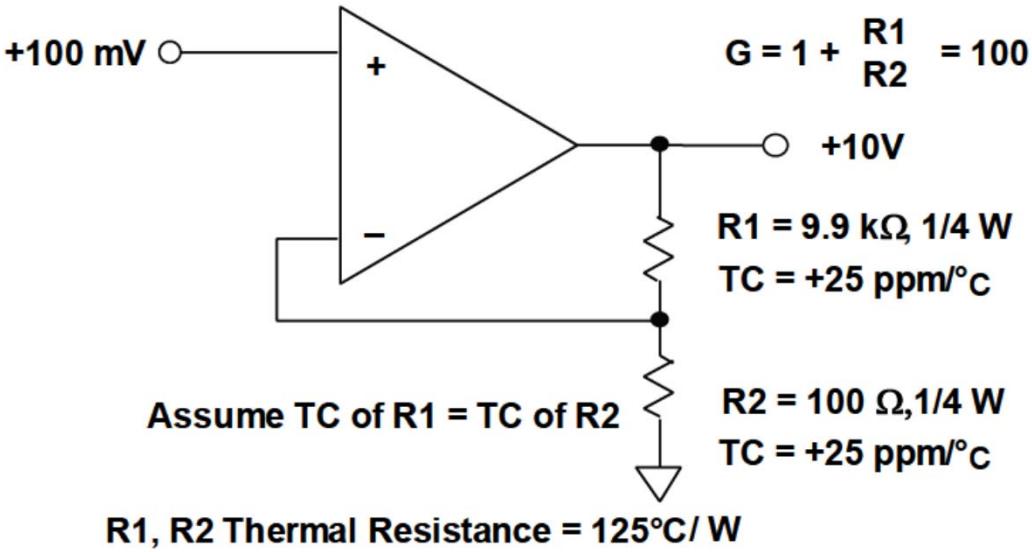
- مقادیر میانگین شاخص نویز در مقاومتهای تجاری:



$$C = \frac{(NI)^2}{\ln 10} = \frac{10^{([NI]_{dB}/10)}}{\ln 10}$$

$$\overline{v_{nex}^2} = \frac{V_{dc}^2 \; 10^{([NI]_{dB}/10)}}{f \; \ln 10} \; [\mu V^2]$$

اهمیت توان و ضریب حرارتی مقاومت



- مثال: تقویت کننده غیر معکوس کننده با بهره 100
- توان های تلف شده:

P_{D1}=9.9mW

P_{D2}=0.1mW

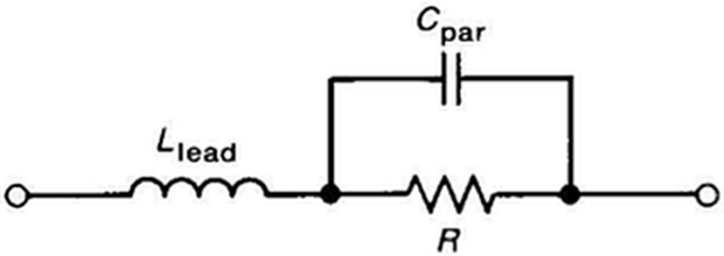
$\Delta T1=1.24^{o}C \rightarrow \Delta R_1 = 31ppm$

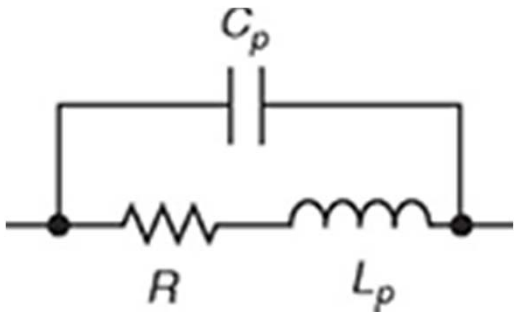
$\Delta T2 \approx 0$

- 31ppm خطا برای بهره 100
  - (معادل 1/2LSB در A/D 14bit)

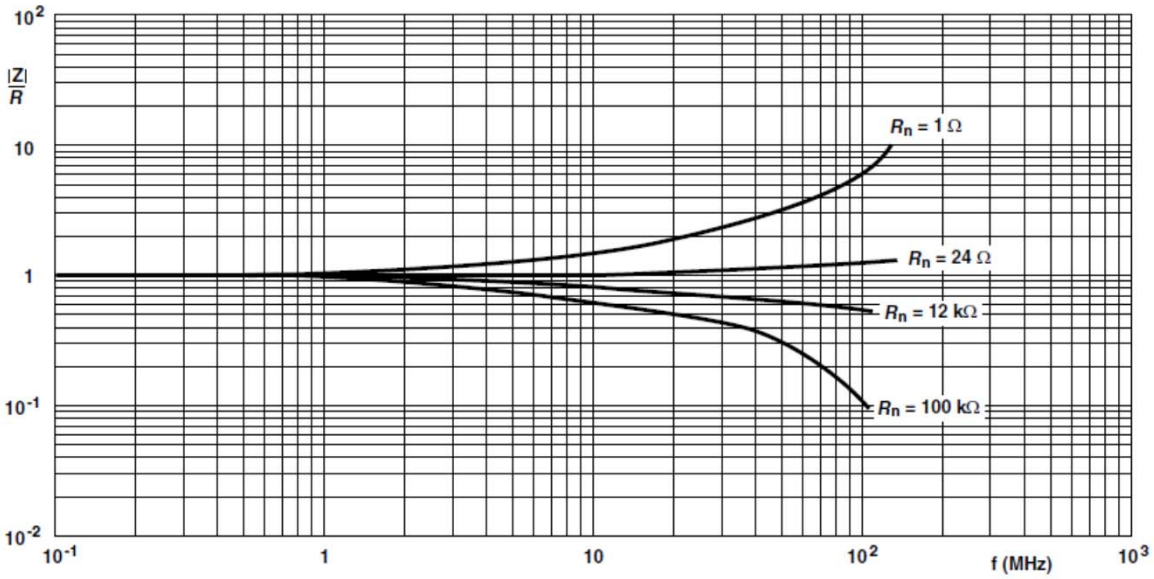
- اگر از مقاومت کربنی با TC=1000ppm/^{o}C استفاده می شد؟
  - $\Delta R_1 = 1240ppm \approx 0.1\%$:
  - (معادل 1/2LSB در A/D 10bit)

عناصر پارازیتی مقاومت





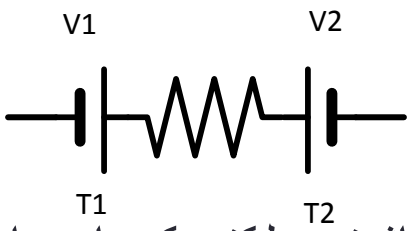
- خازن و سلف پارازیتی



- خازن: تا 0.5pF
- سلف: تا 10nH

اثر ترموالکتریک

- اتصال ماده مقاومت به پایه ها: تفاوت جنس ماده مقاومت با پایه ← اثر ترموالکتریک

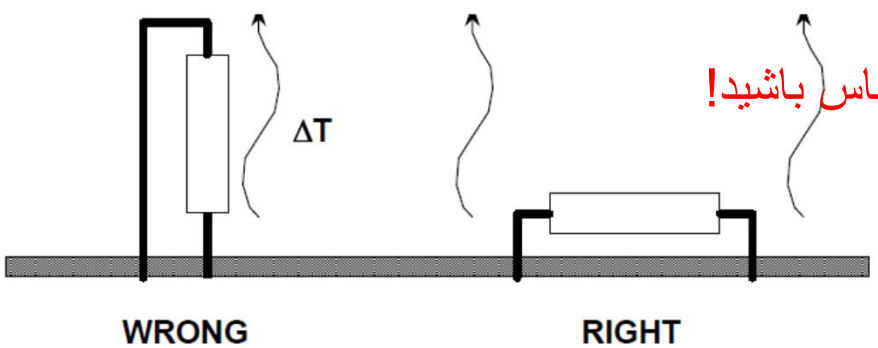


- دمای یکسان در دوطرف مقاومت: T1=T2 ،V1=V2، خنثی شدن ولتاژ ترمولکتریک پایه ها
- گرادیان حرارتی: ولتاژ آفست تابع دما: (Drift)

◆ **CARBON COMPOSITION** ≈ **400 µV/ °C**

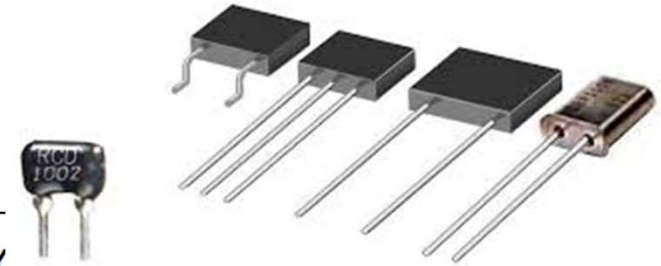
◆ **METAL FILM** ≈ **20 µV/ °C**

- اندازه ولتاژ پارازیتی:
- یک درجه اختلاف دما در دو سر مقاومت: دریفت بیشتر از اکثر آپ-امپ های دقیق
- مراقب گرادیان حرارتی اطراف مقاومتهای حساس باشید!



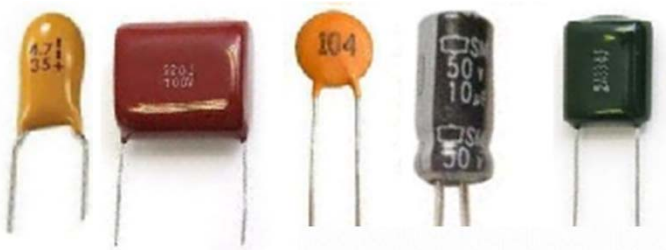
مثال از مقاومتهای خاص

- RCD HP-Series



Condition	HP10 Max.	HP7 & VS Series**	MIL RNC90Y
TC (ppm/°C)***	.25/.5/1/3/5	1/2/3/5/10/25/50	5ppm
Resistance Tol.	.001% to .1%	.005% to 1%	.005% to 1%
2000hr Load 125°C	±.02%	±.05%	±.05%
Overload	±.01%	±.01%	±.05%
Moisture Resistance	±.01%	±.03%	±.05%
Shock, Vibration	±.01%	±.01%	±.01%, ±.02%
Voltage Coefficient	.1ppm/V	2ppm/V	5ppm/V
Shelf Life (1 year)	5ppm	25ppm	-
Thermal EMF	.05μV/°C	0.1μV/°C	-
Rise Time	1nS	1nS	-
Inductance	.1μH	.1μH	-
Capacitance	1.0pF	1.0pF	-
Current Noise	-30dB	-30dB	-

مشخصات خازن



- مشخصات مهم:

- ظرفیت خازن
- حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن
- میزان نشتی خازن در DC (Leakage)
- تلفات AC خازن
  - ضریب تلف (DF-Dissipation Factor)، ضریب کیفیت (Q)، مقاومت سری (ESR)
- حداکثر فرکانس کاری خازن و فرکانس تشدید
- ضریب جذب دی الکتریک (DA-Dielectric Absorption)
- تلرانس خازن
- ضریب حرارتی

انواع اصلی خازن

- خازنهای سرامیکی
  - تک لایه (Single-Layer) یا Disc
  - چند لایه (Multi-Layer)
- خازنهای فیلم متالیزه
  - خازن پلی استر
  - پلی کربنات
  - پلی استایرن
- خازنهای الکترولیت
  - اکسید آلمینیوم
  - تانتالیم

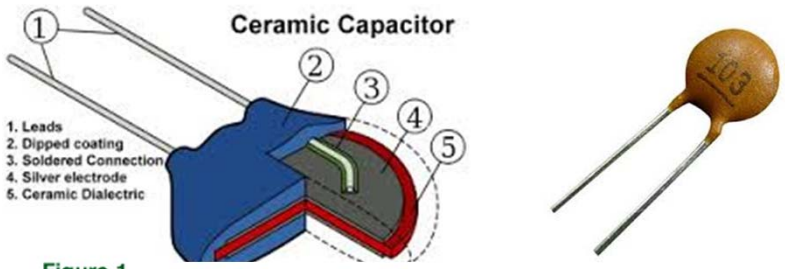
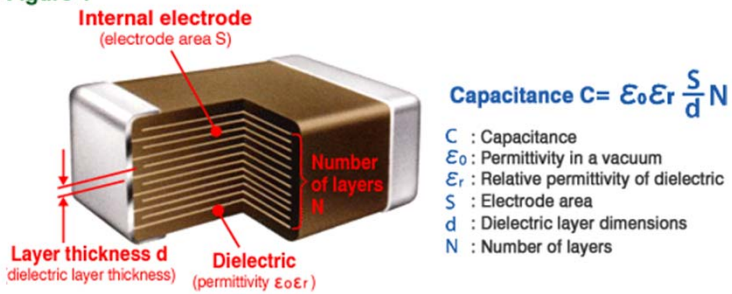
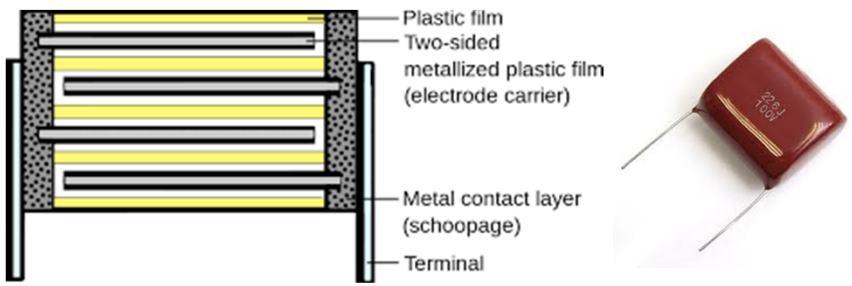


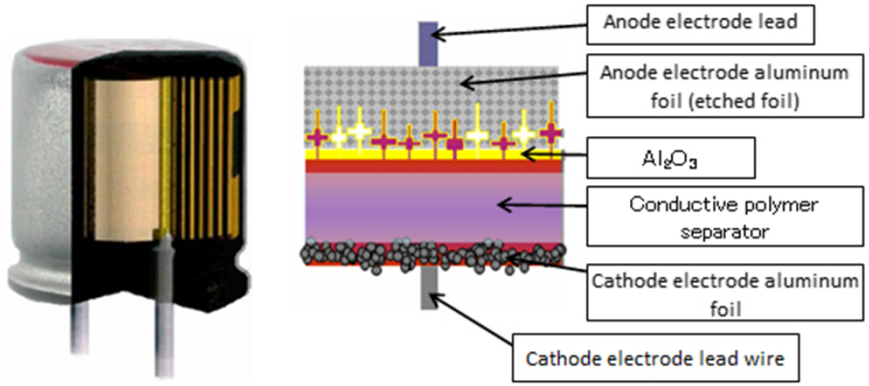
Figure 1



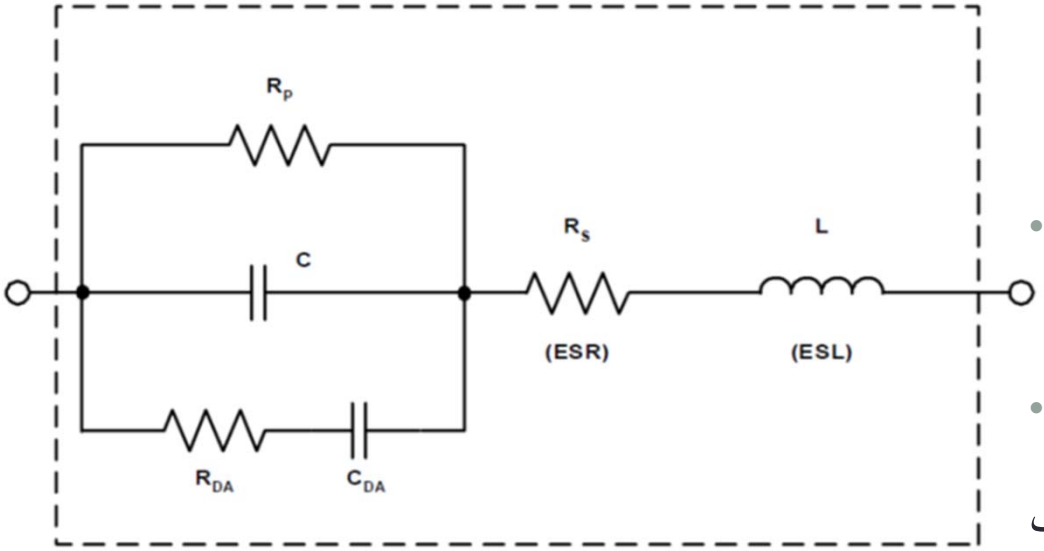
Capacitance $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} N$

C : Capacitance
ε_0 : Permittivity in a vacuum
ε_r : Relative permittivity of dielectric
S : Electrode area
d : Dielectric layer dimensions
N : Number of layers





مدل خازن و عوامل تلفات



- مدار معادل عمومی خازن
- R_P: مقاومت دی الکتریک
- R_S: مقاومت معادل سری خازن
- Equivalent Series Resistance
  - (ESR)
- L: سلف سری خازن
- Equivalent Series Inductance (ESL)
- R_{DA},C_{DA}:مدلسازی اثر جذب دی الکتریک

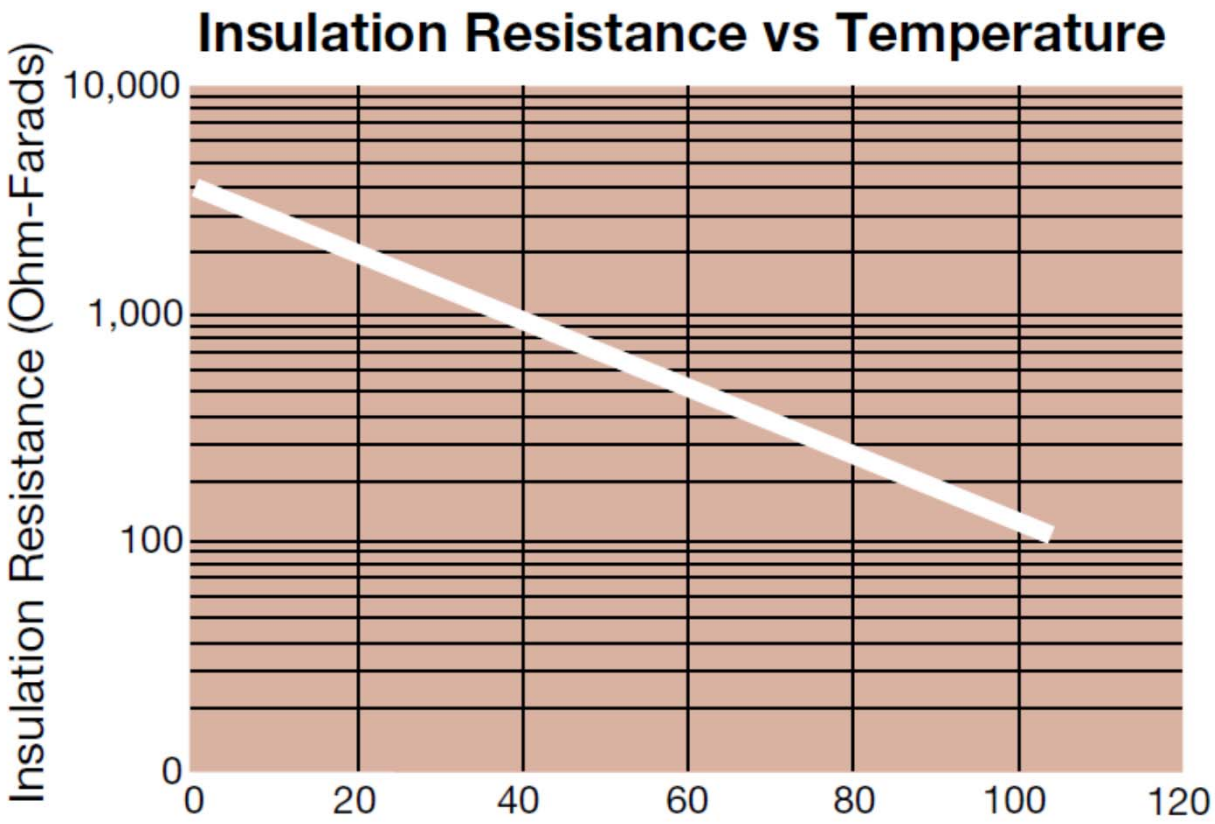
- اثر مقاومت دی الکتریک: نشت و تخلیه بار خازن با زمان
- اثر ESR: تلف توان AC در خازن و کاهش ضریب کیفیت
- اثر ESL: کاهش فرکانس مفید کاری خازن، ایجاد فرکانس رزونانس و اثر سلفی فرکانس بالا
- اثر جذب دی الکتریک:تخلیه ثانویه بار خازن پس از دشارژ

نشتی خازن

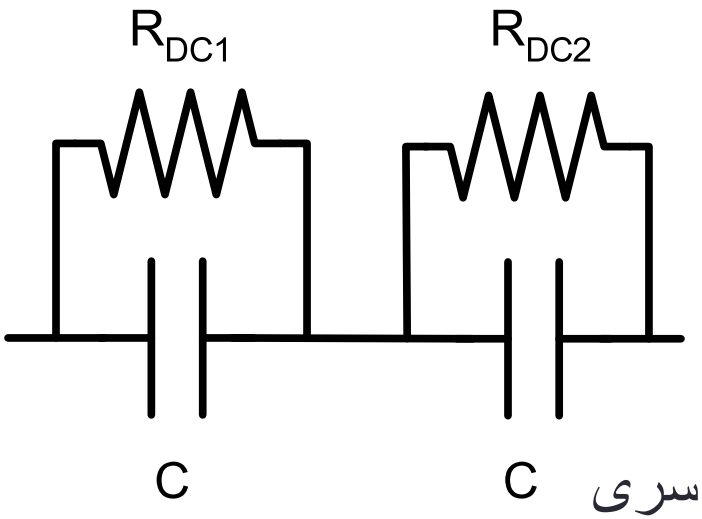
- مقاومت محدود دی الکتریک خازن: مقاومت ویژه $10^{14}\Omega m$ تا 10^{17}
- مقاومت موازی خازن را معمولا بر حسب حاصلضرب مقاومت (بر حسب مگا اهم) در خازن (بر حسب میکرو فاراد) بصورت ثابت زمانی تخلیه نشان می دهند.
  - مثال: خازن 0.1uF با مقاومت $10M\Omega\text{-}\mu F$: مقاومت نشتی $100M\Omega$
  - خازن های فیلم تا $10^6 M\Omega\text{-}\mu F$
  - خازنهای سرامیک: تا $10^4 M\Omega\text{-}\mu F$
  - خازنهای الکترولیت: مقاومت کوچکتر تا $1M\Omega\text{-}\mu F$
- جریان نشتی: معمولا در خازنهای الکترولیت جریان نشتی ارائه می شود:
- جریان نشتی بر حسب ضریبی از حاصلضرب اندازه خازن در ولتاژ نامی خازن ارائه می شود.
  - مثال: $I=0.01CV$ یا $I=0.04CV+40\mu A$

نشتی خازن

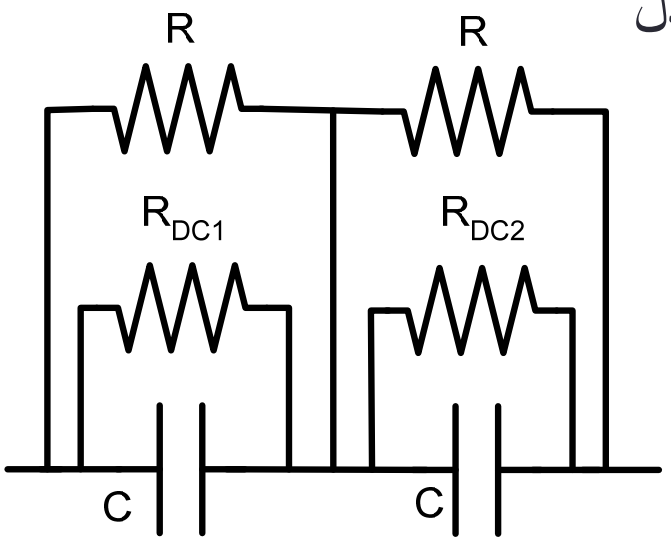
- اثر دما: کاهش شدید دما (نمایی) با افزایش دما
- اثر زمان: افزایش نشتی با زمان بخصوص در خازنهای الکترولیتی



نشتی خازن: سری کردن خازنهای الکترولیت



- اثر مقاومت سری بر ولتاژ خازنها:
- در حالت ماندگار DC:
- افت ولتاژ بر خازنهای سری متناسب با مقاومت سری
- مشخص نبودن مقدار مقاومتها: افت ولتاژ نا متعادل

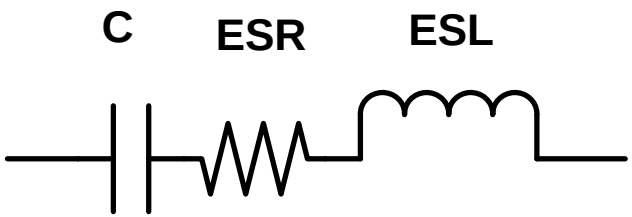


- استفاده از مقاومتهای کوچکتر خارجی:

عوامل تلفات:اثر ESR

- مقاومت سری خازن:
  - مقاومت پایه ها و صفحات خازن
  - تلف توان در دی الکتریک خازن ناشی از بار الکتریکی trap ها
- اثر ESR:
  - کاهش ضریب کیفیت (Q) خازن: محدود کردن ضریب کیفیت فیلترها و مدارات تطبیق
  - محدود کردن سرعت تغییر ولتاژ خازن
- اندازه مقاومت سری: تابع فرکانس و دما
- مقایسه ESR:
  - خازن فیلم پلی استر: کوچک
  - خازن سرامیک چند لایه: بسیار کوچک(در حد چند ده میلی اهم)
  - خازن الکترولیت: قابل توجه (در حد چند اهم)
- معمولا تولید کنندگان خازن، ESR را مستقیم ارائه نمی دهند
- Dissipation Factor یا منحنی امپدانس بر حسب فرکانس

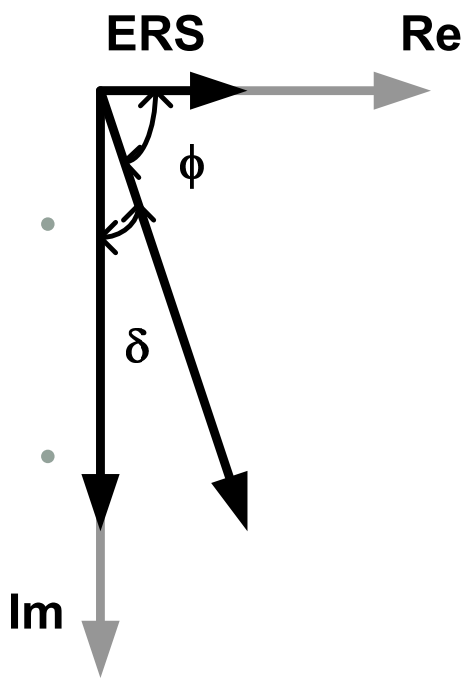
تلفات: Dissipation Factor، Q، tan(δ)



- ضریب تلفات: تعریف پایه ای:

$$\frac{\text{توان تلف شده در خازن در یک سیکل}}{\text{توان ذخیره شده در خازن در یک سیکل}}$$

- مقادیر از 0.01% تا 5% در خازنهای مختلف
- روابط کاربردی: (حذف اثر ESL)



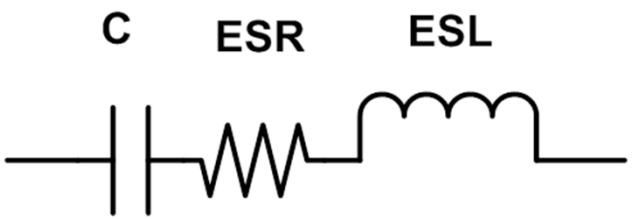
$$DF \approx \frac{ESR.i^2}{X_C.i^2} = \frac{ESR}{X_C} = \tan\delta$$

- رابطه ضریب کیفیت خازن (Q_C) و DF

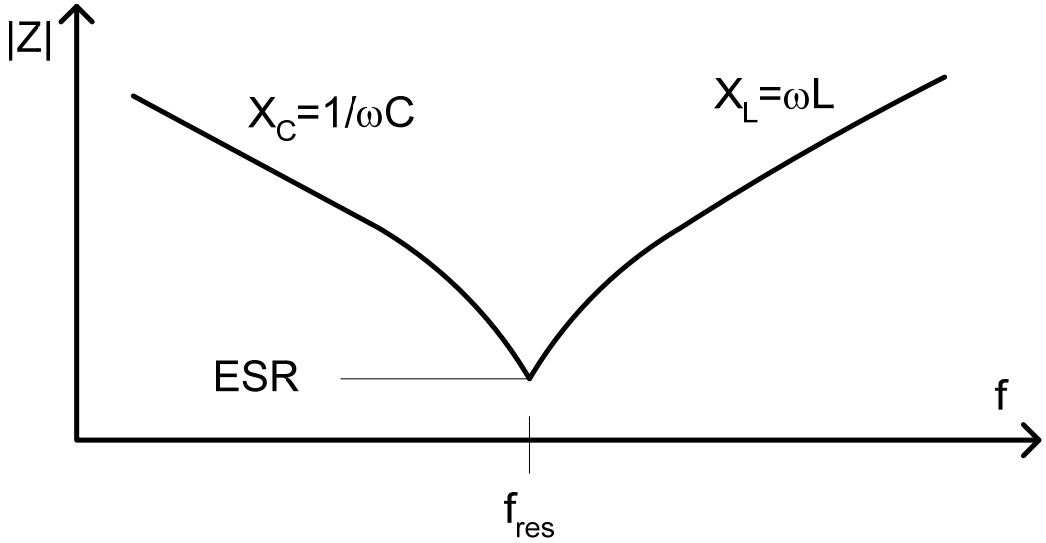
$$Q_C = \frac{1}{DF}$$

- افزایش قابل ملاحظه DF با کاهش دما

پاسخ فرکانسی و تشدید

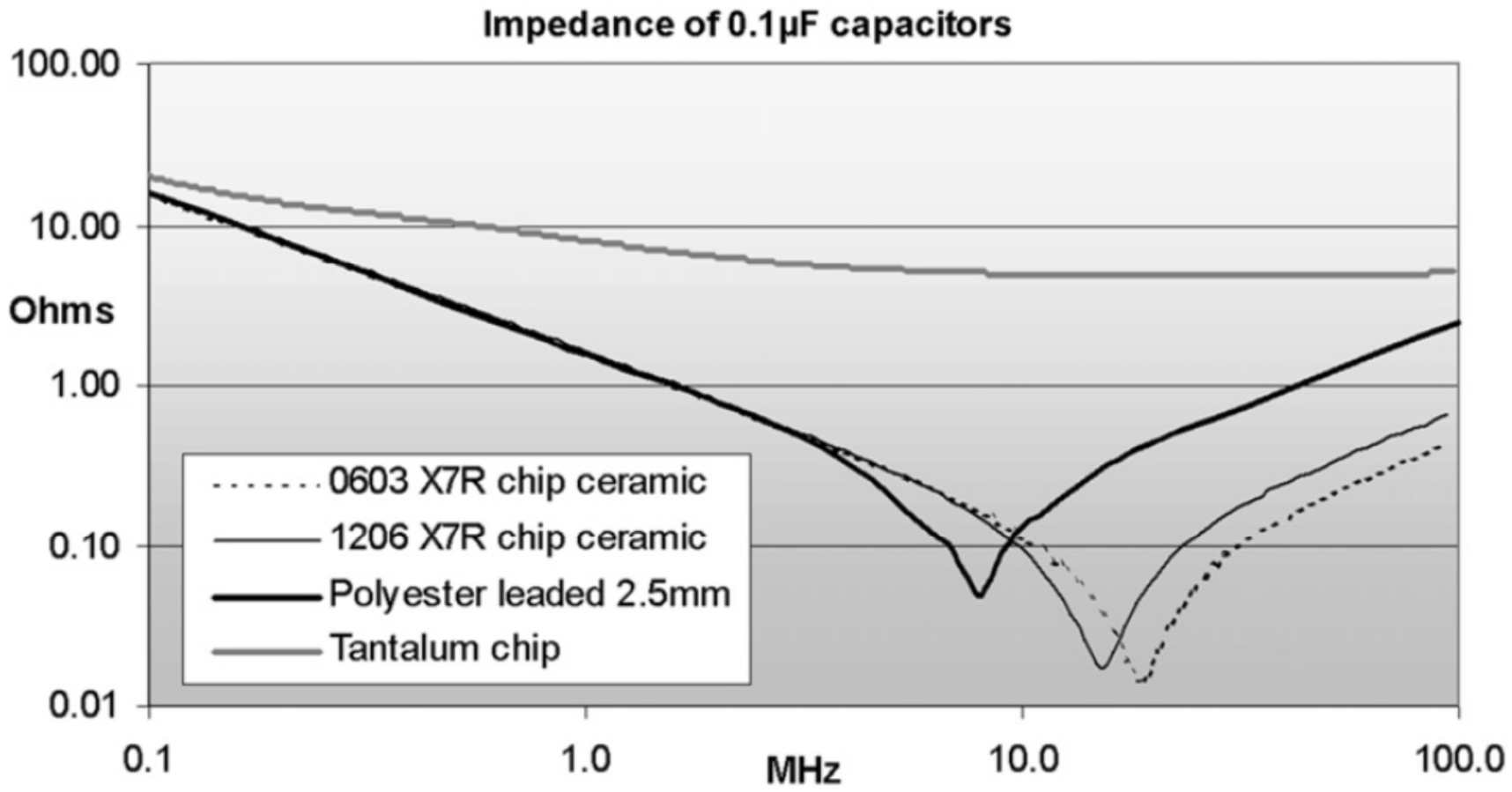


- محدودیت ناحیه خازنی به دلیل ESL
- محدودیت فرکانس کاری خازنی
- ESL: تابع جنس دی الکتریک ونحوه قرارگیری صفحات و پایه های خازن

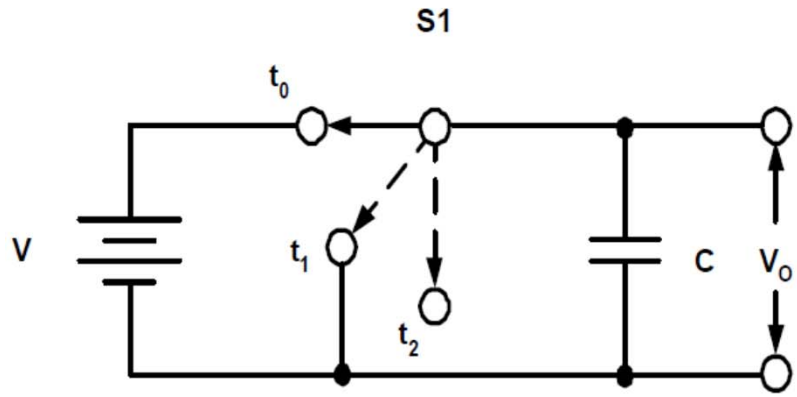


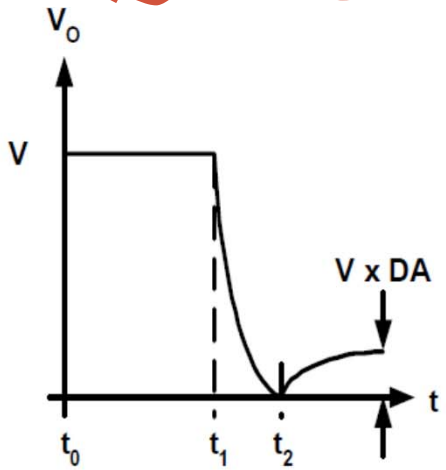
- فرکانس رزونانس: $X_C=X_L$
- فرکانس رزونانس:
- چند ده کیلوهرتز خازن الکترولیت تا نزدیک گیگاهرتز خازن سرامیک

پاسخ فرکانسی



جذب دی الکتریک (Dielectric Absorption)





- ایجاد ولتاژ در ترمینال خروجی خازن پس ازدشارژخازن و رسیدن ولتاژ خروجی به صفر!
- علت:وجود تاخیر (ثابت زمانی) در دی-پلاریزه شدن دوقطبی های الکتریکی دی الکتریک (در زمان شارژ خازن) پس از اتصال کوتاه و دشارژ خازن
- ولتاژ خروجی ثانویه متناسب با ولتاژ شارژ اولیه است.
- DA: نسبت ولتاژ ایجاد شده ثانویه به ولتاژ شارژ اولیه
- DAدر خازنهای مختلف: سرامیک 0.2% تا 1%، پلی استر: 0.5%، الکترولیت تانتالیم: 1%-5%، الکترولیت معمولی: تا 10%، پلی استایرن : کمتر از 0.01%
- اثر بسیار مخرب در مدارات نمونه بردار (S&H) که با مدارات غیر مجتمع ساخته شود.

مقایسه خازنها

- خازنهای سرامیک
  - جنس سرامیک: COG,X7R,X5R,Z5U,Y5V
  - اندازه خازن: کمتر از 47nF برای COG ، تا 0.1uF برای X7R، تا 1uF برای Z5U
  - ضریب تلفات: 0.1% در COG، 0.1% تا 2% در X7R، تا 3% در Z5U
  - ضریب حرارتی
    - 30ppm/°C در COG در محدوده دما 50- تا 120
    - ±15% در X7R محدوده دما 50- تا 120
    - +20% تا -80% در محدوده دما 30- تا 85+
  - تلرانس: 1% تا 10% (تا 0.1% موجود است)
  - ضریب جذب دی الکتریک: 0.3% در COG، تا 3% در X7R
  - فرکانس رزونانس: بالای 10MHzبرای خازن 100nF
  - محدوده ولتاژ: 100V در چندلایه، تا 1000V در تک لایه
- خازنهای چند لایه معمولا بصورت smd

مقایسه خازنها

- خازنهای فیلم متالیزه
  - جنس فیلم: پلی استر، پلی استایرن، پلی کربنات، پلی پروپیلن، تفلون
  - اندازه خازن: تا 10uF (معمولا کوچکتر از1uF)
  - ضریب تلفات:در محدوده 0.1% تا 1%
  - ضریب حرارتی:
    - ±5% در پلی استر محدوده دما 50- تا 100
    - کمتر از ±1% در پلی کربنات محدوده دما 50- تا 100
    - ±2% در پلی پروپیلن محدوده دما 50- تا 100
    - 125ppm در پلی استایرن محدوده دما 50- تا 100
  - تلرانس: 5% تا 20% برای نو پلی استر و پلی کربنات، 1%تا 10% برای پلی استایرن و پلی پروپیلن
  - ضریب جذب دی الکتریک: پلی استر0.3%، پلی استایرن0.02% و کمتر، پلی کربنات 0.1%، پلی پروپیلن0.02% و کمتر، تفلون 0.02% و کمتر
  - فرکانس رزونانس: پایین تر از 10MHz
  - محدوده ولتاژ: زیر 100V

مقایسه خازنها

- خازنهای الکترولیتی
  - اکسید آلومینیوم و تانتالیم
  - اندازه خازن: تا mF برای اکسید الومینیوم و تا 10uF در تانتالیم
  - ضریب تلفات:در متغیر؛ معمولا ESR در محدوده 0.1Ω
  - ضریب حرارتی: بزرگ
  - تلرانس: 20% ± برای اکسید آلومینیوم و تا 10% برای تانتالیم
  - ضریب جذب دی الکتریک: بزرگ، نامعلوم
  - فرکانس رزونانس: پایین تر از 100kHzدر اکسید آلومینیوم و 1MHz در تانتالیم

ابر خازن (Suppercapacitor یا Ultracapacitor)

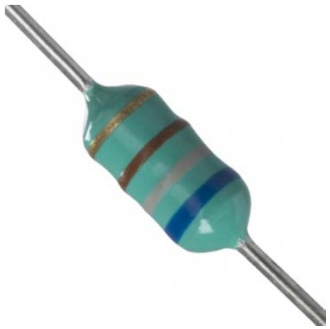
- خازن با ظرفیت بسیار بزرگ نسبت به ابعاد: بالاتر از فاراد
- ظرفیت سلول از 0.1F تا بالاتر از 1000F
- از نوع الکترولیتی
- حداکثر ولتاژ کاری کم (2.2V,2.7,3.3V,5V)
- کاربرد ذخیره کوتاه مدت انرژی
- فرکانس کاری بسیار کم
- حساس به تغییر حرارت
- قیمت مناسب: 2-3$ برای 10F, 2.7V

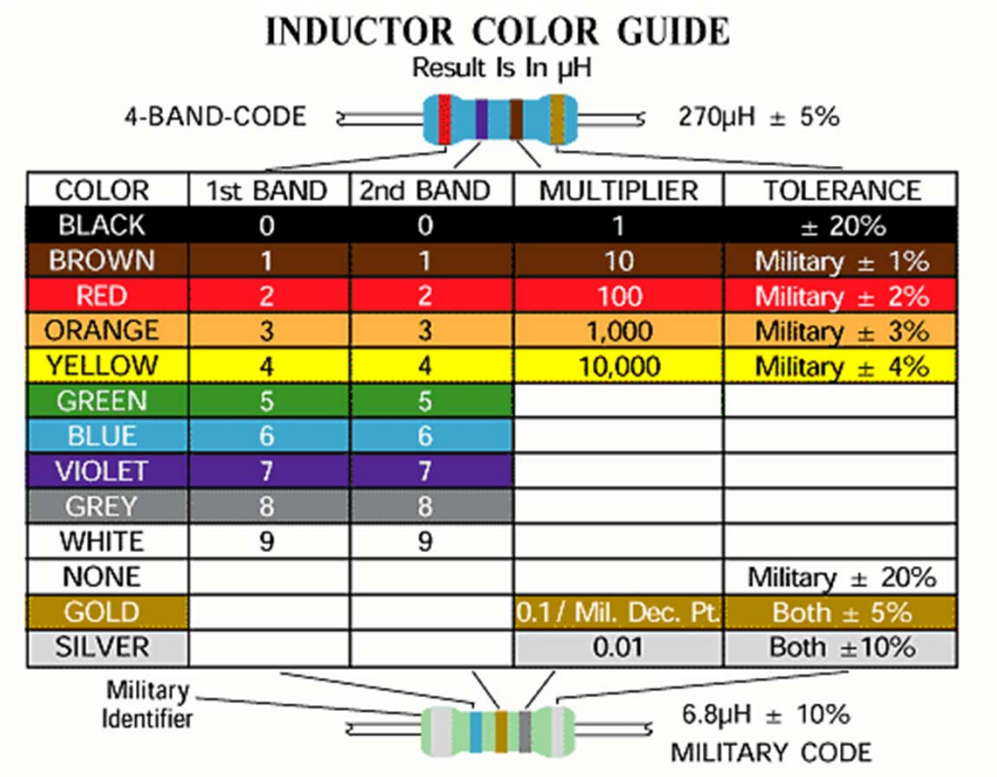
ابر خازن (Ultracapacitor یا Suppercapacitor)

ELECTRICAL	BCAP0001	BCAP0003	BCAP0005
Rated Capacitance[1]	1 F	3.3 F	5 F
Minimum Capacitance, initial[1]	0.8 F	2.6 F	4.0 F
Maximum ESR_{DC}, initial[1]	700 mΩ	290 mΩ	170 mΩ
Test Current for Capacitance and ESR_{DC}[1]	0.1 A	0.33 A	0.5 A
Rated Voltage (65°/85°C)	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V	2.70 / 2.30 V
Absolute Maximum Voltage[2]	2.85 V	2.85 V	2.85 V
Absolute Maximum Current	0.8 A	1.9 A	3.2 A
Leakage Current at 25°C, maximum[3]	0.006 mA	0.012 mA	0.015 mA
TEMPERATURE			
Operating temperature range (Cell case temperature)			
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	65° / 85°C	65° / 85°C	65° / 85°C
Storage temperature range (Stored uncharged)			
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	70°C	70°C	70°C
PHYSICAL			
Mass, typical	1.1 g	1.7 g	2.3 g

سلفهای آماده

- انواع Radial و Axial
- اندازه سلف Axial
  - نوار رنگی مانند مقاومت
  - بر حسب uH
- انواع smd





INDUCTOR COLOR GUIDE

Result Is In µH

4-BAND-CODE 270µH ± 5%

COLOR	1st BAND	2nd BAND	MULTIPLIER	TOLERANCE
BLACK	0	0	1	± 20%
BROWN	1	1	10	Military ± 1%
RED	2	2	100	Military ± 2%
ORANGE	3	3	1,000	Military ± 3%
YELLOW	4	4	10,000	Military ± 4%
GREEN	5	5		
BLUE	6	6		
VIOLET	7	7		
GREY	8	8		
WHITE	9	9		
NONE				Military ± 20%
GOLD			0.1 / Mil. Dec. Pt.	Both ± 5%
SILVER			0.01	Both ±10%

Military Identifier

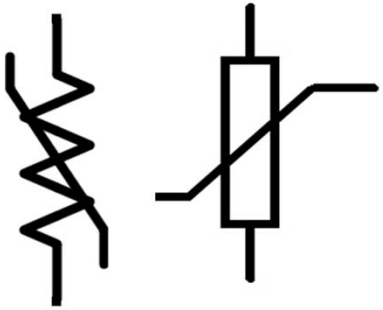
6.8µH ± 10%

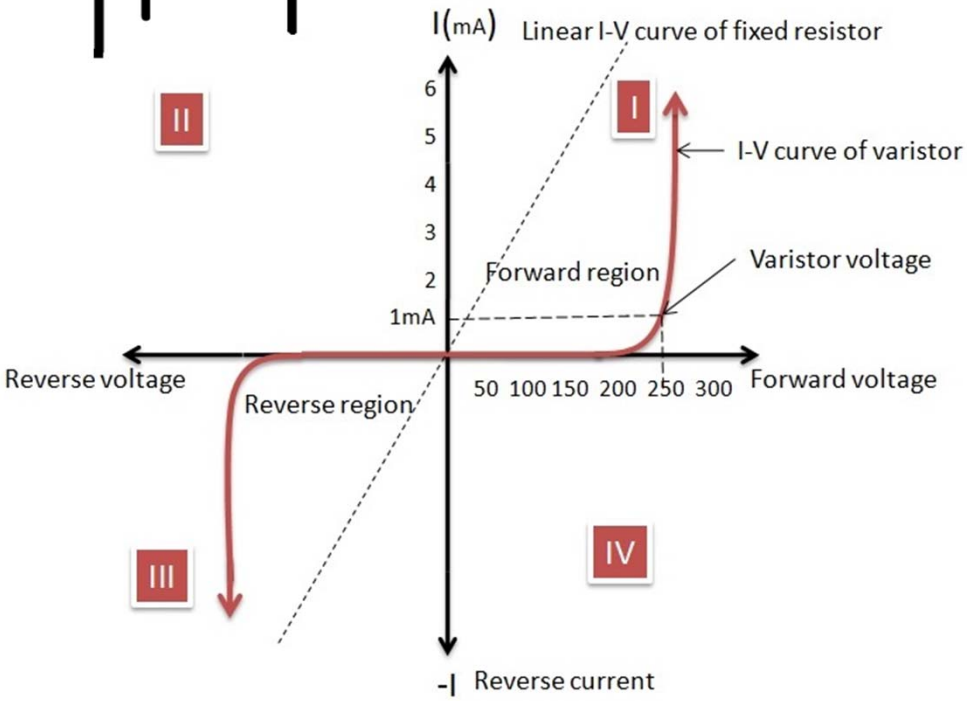
MILITARY CODE

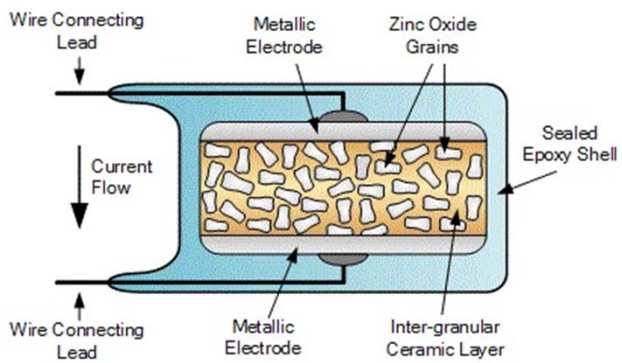
سلفهای آماده

- مشخصات سلف ها
- محدوده اندوکتانس
  - 0.1uH تا 1000uH در انواع پایه دار کوچک
  - 1nHتا 10uH در انواع smd کوچک
  - تا چند mH در چوکهای بزرگ
- تلرانس: 5%-10%-20%
- ضریب کیفیت:
  - 30 تا 40 در axial
  - 40-60 در Radial
  - کمتر از 30 در انواع smd
- فرکانس رزونانس: تابع اندازه سلف
  - برای سلف 1uH: رادیال: 100MHz، اکسیال: 150MHz
- جریان DC قابل تحمل: تابع سلف: 20mA تا 1A (در انواع رادیال بزرگتر است)
- کاربردها
  - فیلترینگ منابع تغذیه
  - منابع تغذیه سوئیچینگ
  - تطبیق امپدانس

واریستور

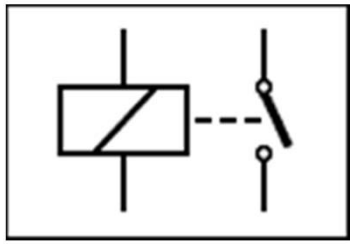


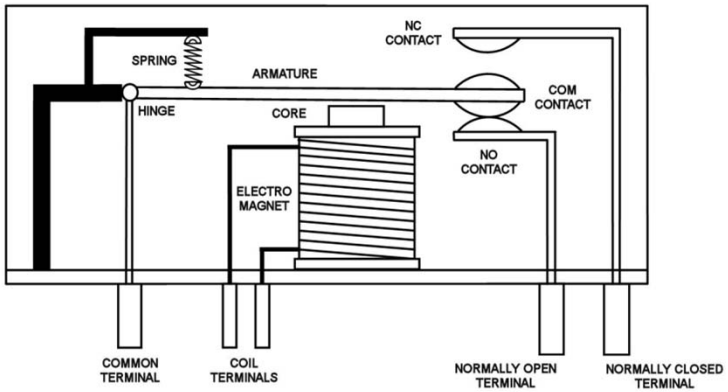




- مشخصه و کاربرد
  - مقاومت متغیر با ولتاژ (غیر خطی)
  - افزایش شدید جریان با افزایش ولتاژ
- کاربرد: حفاظت مدار از ولتاژهای لحظه ای
- دامنه ولتاژ:20V تا 1000V
- ساختار: ترکیب ذرات اکسید روی و ماده نگهدارنده سرامیکی بین دو الکترود فلزی

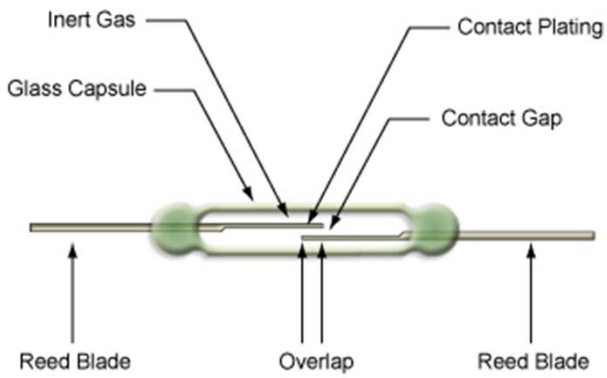
رله ها



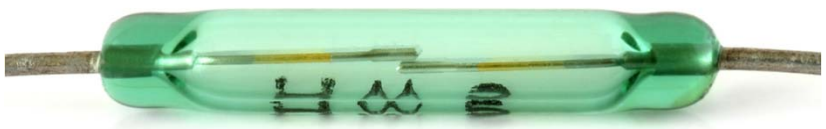


- کاربرد در ابزار دقیق:
  - تغییر محدوده کاری و دقت مدار
  - تغییر توپولوژی مدار
- رله های مغناطیسی
  - جریان اولیه زیاد: 10mA تا 60mA
  - مقاومت خروجی کم (در حد mΩ)
  - ابعاد بزرگ
  - سرعت سوئچینگ کم: 5ms به بالا
  - ولتاژ اولیه: 3V,5V,12V,24V
  - حداکثر ولتاژ ثانویه: 250V تا 2kV
- قیمت کم
- Reed Switch

رله ها

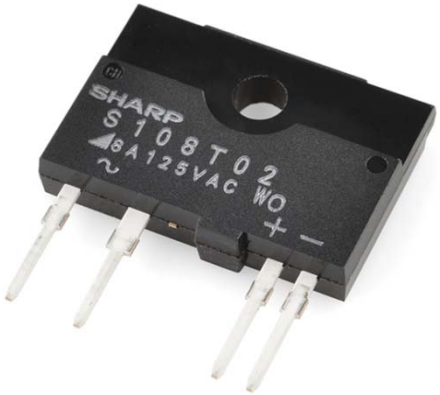


- Reed Switch
- کنتاکها در محفظه گاز خنثی
- تحریک با سلنوئید (رله) یا آهنربای دائمی (سوئیچ)
- کاربرد:
  - کنترل مدارها
  - تله متری

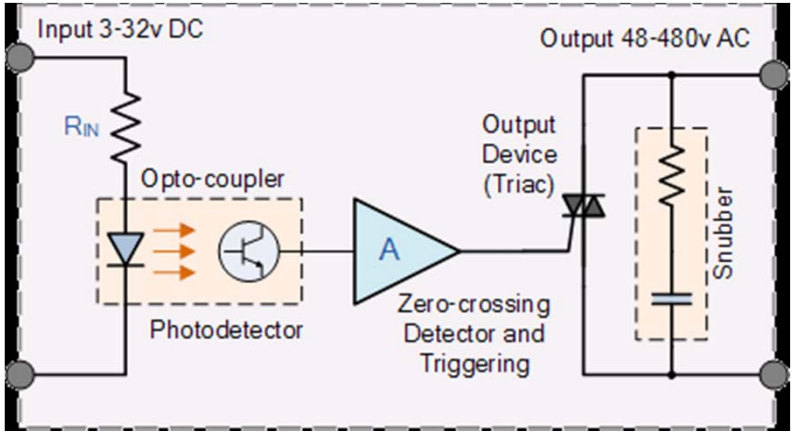


- مقاومت خروجی کم (در حد mΩ)
- ابعاد کوچک
- سرعت سوئچینگ بالا: 2-0.2ms
- حداکثر ولتاژ ثانویه: متنوع
- قیمت کم

رله ها



- رله های solid-state
  - سوئیچینگ با ادوات نیمه هادی
  - ادوات خروجی: ترایاک یا power mosfet
  - کوپلاژ: معمولا نوری
  - جریان اولیه کوچک: در حد 2mA
  - مقاومت خروجی نسبتا زیاد (0.1Ω تا 100Ω)
  - ابعاد: بسیار کوچک تا بزرگ
  - سرعت سوئچینگ زیاد: کوچکتر از ms
  - ولتاژ اولیه: 3V,5V,12V,24V
  - حداکثر ولتاژ ثانویه:معمولا کمتر از 500V



- قیمت زیاد