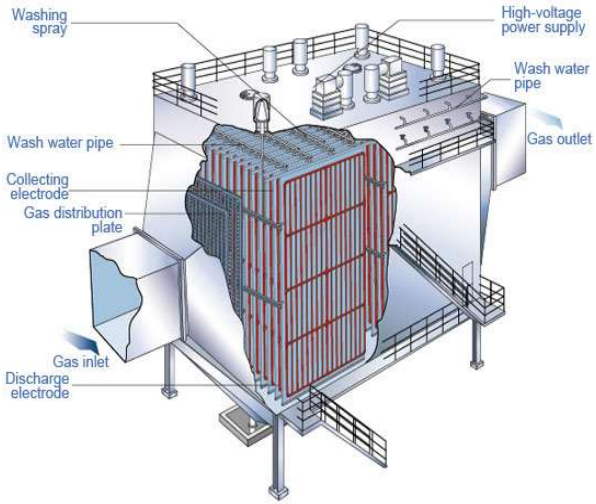
- کاربردهای فشارقوی

۱. فیلترهای الکترواستاتیک " ته نشین کننده‌ها "
۲. تجهیزات رنگ پاش ، ریزسازی مایع ، تولید حشره کش‌ها
۳. مولدهای اشعه X " شتاب دهنده‌های ذرات "
۴. لیزرهای پرتوان
۵. سیم پیچ‌های ابر رسانا " SMES "



فیلترالکترواستاتیک

- انواع عایق‌ها از نظر خاصیت فاز فیزیکی

۱. گاز : هوا – ازت – CO_2 - SF_6 - H_2

گاز SF_6 (واکنش پذیری پایینی دارد اما قدرت خاموش کنندگی آن بسیار زیاد است.)

۲. مایع : روغن‌های مایع – معدنی – گیاهی (ترکیبات حاوی آلکان‌ها)

۳. جامد : کاغذ – مقوای فشرده – چوب – شیشه – سرامیک – چینی – پی وی سی – پلی اتیلن

۴. کامپوزیت : ترکیبی ازدو یا چند مواد

- **نقش عایق‌های الکتریکی درسیستم‌های قدرت**

۱. الکتریکی : " ایزولاسیون "

الف) مقاومت دربرابرشکست الکتریکی : " استقامت دربرابرحداکثرشدت میدان الکتریکی اعمالی "
ب) مقاومت دربرابراضافه ولتاژهای محتمل برشبکه

ج) مقاومت دائمی درحداکثرولتاژنامی دستگاه

۲. مکانیکی :

الف) تحمل وزن عایق‌ها درخطوط توزیع وانتقال

ب) تحمل بارها ونیروهای مکانیکی تحت بدترین شرایط " برف ویخ زدگی "

۳. حرارتی : " جریان‌ها " تحمل حرارت ناشی ازعبورجریان ازهادی

الف) هدایتی " جریان عبوری ازسیم‌ها "

ب) پلاریزاسیون " دوقطبی شدن "

ج) یونیزاسیون " اگرانرژی الکترونی به حدی باشد که بتواند جداشده وانرژی مورد نیازخودش را تامین کند ، جریان یونیزاسیون را به وجود می‌آورد. (هرچه الکترون به هسته نزدیکترباشد انرژی بیشتری دارد.) "

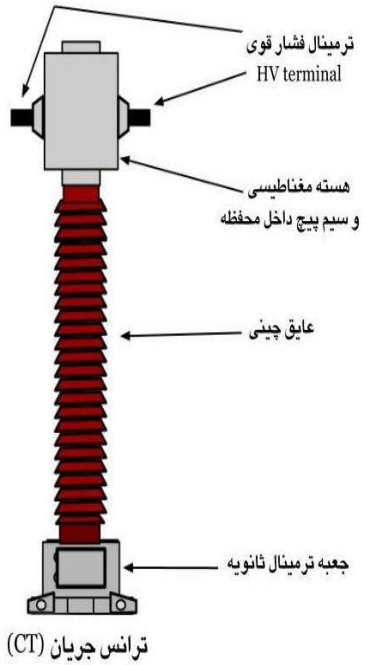
- ❑ هرچه حرارت بیشترباشد طول عمرعایق کمتراست .
- ❑ پله دمایی عایق‌ها (۶ تا ۸) درجه است " یعنی ۶ تا ۸ درجه اضافه دما عمرعایق را نصف می‌کند."

- کاربرد موادعایقی درصنعت برق فشارقوی

۱. ترانسفورماتورها " کویل‌ها " ←
- ترانس ولتاژ " PT "
- ترانس جریان " CT "

- ✓ به کمک نوارها عایق بندی می‌شوند
- ✓ درمکانی روی هسته با قطعاتی ازفایبرگلاس نگه‌داشته می‌شوند
- ✓ دریک مایع غوطه ورمی‌شوند
- ✓ ازیک " SYS " خنک کنندگی استفاده می‌شود (روغن هوا)

❑ جنس عایق‌های مورد استفاده : سیم های لعابی – شیشه – چینی ترموپلاستیک – روغن معدنی - سیلیکون – تخته فشاری



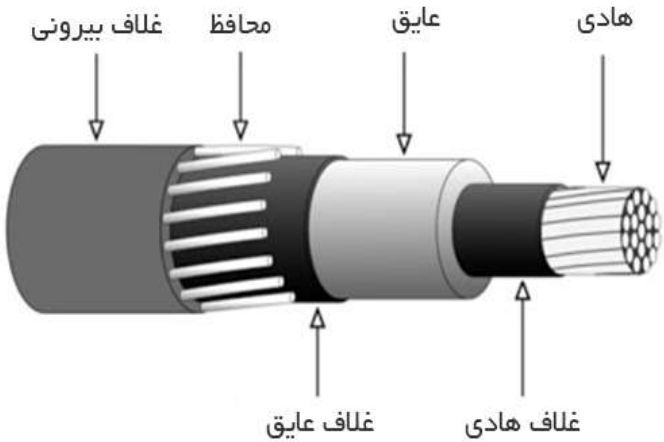
ترانس جریان

۲. کلیدهای قدرت

- ✓ هوا ، روغن ، گاز SF6: به عنوان عایق اصلی و واسطه خاموش‌سازی قوس
- ✓ سرامیک و رزین‌ها : پشتیبانی مکانیکی و کمک به خاموش‌سازی قوس

- ❑ جنس عایق‌های مورداستفاده : رزین‌های ولکانیزه شده " حرارت دیده "
  سرامیک – هوا - خلاء

۳. کابل‌های قدرت



- جنس عایق مورداستفاده : ترموپلاستیک ها ، نوارهای کاغذ لاستیک‌های سیلیکونی " PVC "، " XLPE " ، " PE "

۴. خطوط هوایی

- ✓ هوا " به عنوان عایق اصلی "
- ✓ هادی‌ها " توسط زنجیره مقره ازبرج جدا می‌شوند "

۵. خازن‌های قدرت

- ✓ صفحات نازک " FILM "
- ✓ پلی‌پروپیلن آبکاری شده با فلز نازک
- ✓ فویل
- ✓ زرورق‌های آلومینیوم
- ✓ الکترودهای کاغذی پوشیده شده با فلز نازک

خازن گازی فشار ضعیف

خازن روغنی فشار متوسط

- ❑ جنس مایع غوطه وراز" مایع سیلیکونی " و" ایزوپروپیل " است
- ❑ جنس عایق ژنراتور " میکا " است

- ویژگی‌های عایق‌های ایده آل " گازی "

۱. ارزان
۲. پایدار (شیمیایی ، فیزیکی ، حرارتی)
۳. درتنش‌های طولانی مشتعل یاسمی نشود
۴. استحکام خوب مکانیکی
۵. استقامت عایق بالا
۶. قابلیت انتقال حرارت
۷. قابلیت خاموش کردن قوس
۸. مقاومت حجمی بالا " فشردگی بالا "
۹. ظرفیت گرمایی بالا " ویژه "
۱۰. قابلیت چسبندگی

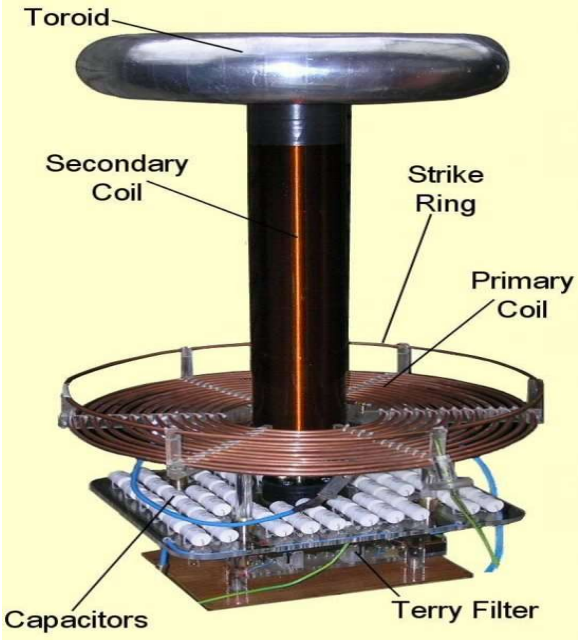
- چهارحوزه‌ی اساسی اعمال عایق بندی

۱. بین کویل وزمین " فاز به زمین "

۲. بین کویل‌های مختلف " فاز به فاز "

۳. بین دورهای یک کویل

۴. بین کویل‌های یک فاز



کویل تسلا

❖ هرکجا خازن باشد ، قطعا عایق وجود دارد .

❖ نقش سیم گارد جلوگیری ازبرخورد صاعقه به فازها

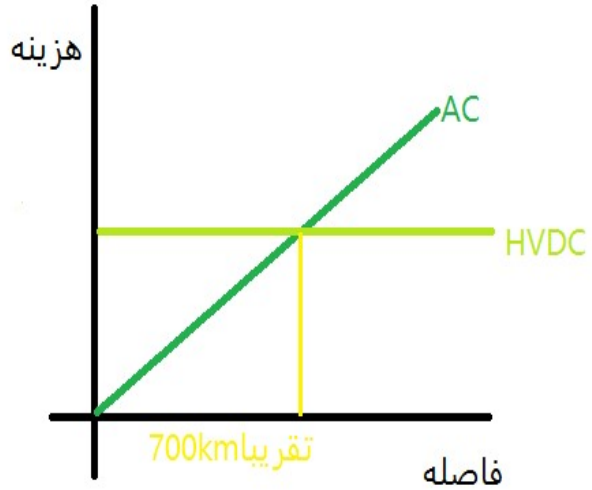
❖ تکفاز ⟵ متغیربازمان

(به شفت ژنراتورفشارمی‌آید ودرتوان‌های بالا باعث فروپاشی سیستم

می‌شود زیرا توان متغیربا زمان زیاد وکم می‌شود (Sin(wt) .)

❖ سه فاز ⟵ عدم بستگی به زمان

(به شفت ژنراتور درتوان‌های بالا فشارنمی‌آید .)



- کلاس عایق‌ها

کلاس عایق	دمای حداکثر	جنس عایق
Y	۹۰ درجه	PVC - کاغذ
A	۱۰۵ درجه	کاغذ آغشته به عایق مایع
E	۱۲۰ درجه	سلولز – پلی اتیلن
B	۱۳۰ درجه	میکا – پشم شیشه
F	۱۵۵ درجه	اپوکسی رزین
H	۱۸۰ درجه	لاستیک سیلیکون دار
C	بالای ۱۸۰ درجه	تفلون

- کلاس ولتاژ

کلاس ولتاژ	رنج ولتاژ
LV	$V \leq 1$
MV , MHV	$1 \leq V \leq 70$
HV	$110 \leq V \leq 230$
EHV	$275 \leq V \leq 800$
UHV	$V \geq 1000$

- محدوده کاری (تولید، توزیع، انتقال)

- محدوده کاری فشار قوی
- محدوده شروع اثرفرانتی

- محدوده کاری شتاب‌دهنده‌ها
- فقط سطح ولتاژمهم است
- AC یا DC فرق ندارد

- انواع تنش‌ها " اضافه ولتاژها "

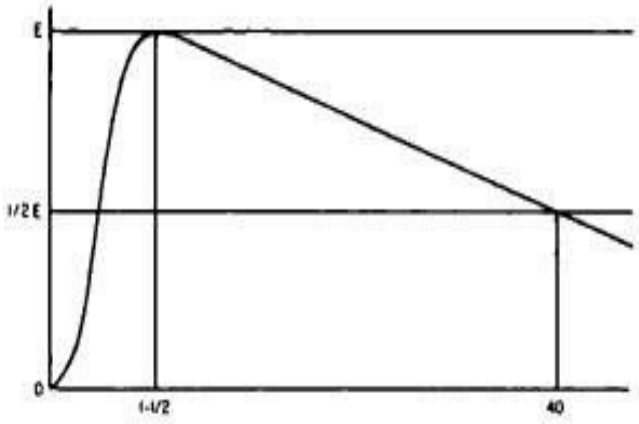
- ✓ داخلی : " ایجاد شده دراثرتغییرات درشرایط بهره برداری سیستم قدرت "
  - ❑ کلید زنی " سوئیچینگ "
  - ❑ پدیده فرانتی

- ✓ نیازمند مطالعه‌ی دامنه ، شکل موج (پله – ضربه – نوسانی) ، دوره زمانی ، فرکانس وقوع
- ✓ نیازمند مطالعه‌ی محل رخداد خطا ، آغازخطا ، پایان خطا
- ✓ مطالعه تمام نقاط دیگرشبکه (چون امواج سیاردرسیستم منتقل می‌شوند وسیرمی‌کنند)

- ✓ خارجی : " صاعقه "
  - ❑ هارمونیک سوم نیز نوعی اضافه ولتاژ است

- اضافه ولتاژهای داخلی
  - ✓ سوئیچینگ

۱. انرژی دارکردن کابل‌ها و خطوط هوایی
۲. انرژی دارکردن خطی که انتها آن بازاست
۳. انرژی دارکردن خطی که به یک ترانس بی باروصل می‌شود
۴. قطع بار
۵. بازوبسته کردن یک تجهیزفشارقوی " ترانس یا راکتور "
۶. شروع و رفع خطا



موج استاندارد سوئیچینگ

✓ خطا " FAULT "

انرژی که روی زمین تخلیه می‌شود به دوخط دیگروارد شده وباعث اضافه ولتاژ روی آنها می‌شود

۱. زمین نشود و یا با امپدانس بالا زمین شود ⟵
- جریان خطا
- اضافه ولتاژ

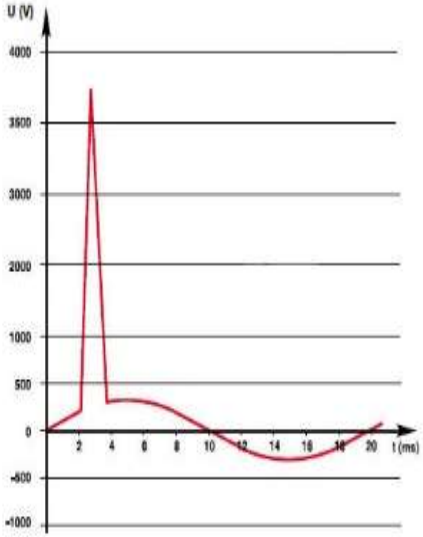
❑ از طریق خازن‌ها به سلف‌ها برمیگردد

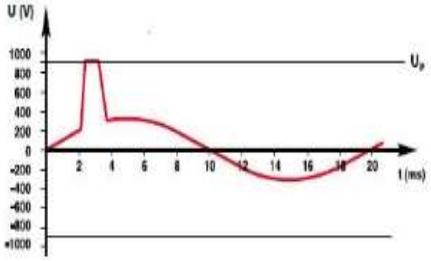
۲. ایزوله باشد ⟵
- اضافه ولتاژهای نزدیک ولتاژخط $\left(\sqrt{3}\ Vph\right)$
- بر روی فازمقابل سیستم می‌افتد
- جریان خطا کمترمی‌شود

۳. زمین شود ویا با امپدانس پایین زمین شود ⟵
- جریان خطا
- اضافه ولتاژ

❑ جریان خطا ازطریق یک سیم با امپدانس کوچک عبورمی‌کند

- اضافه ولتاژهای گذرا "۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میکرو ثانیه "
  - ✓ خطای زمین
  - ✓ هارمونیک‌ها " غیرخطی بودن هسته "
  - ✓ بار زدایی
  - ✓ اثرفرانتی





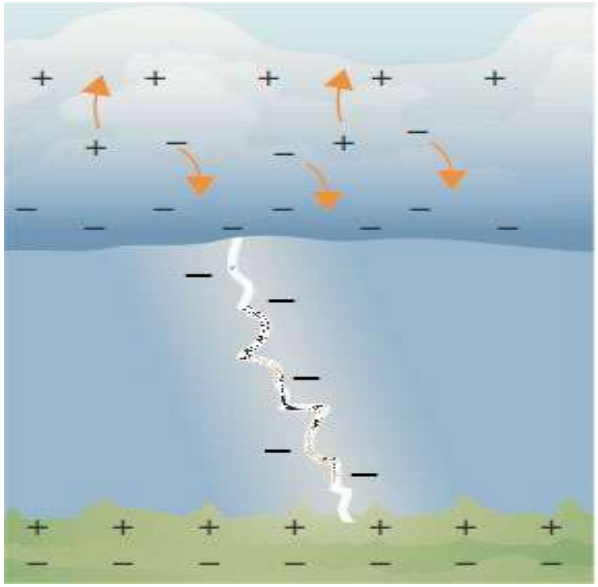
- ❑ اضافه ولتاژهای موقتی " با دوام " به مدت طولانی‌ترازاضافه ولتاژگذرا هستند " چند سیکل یا چند ثانیه "

- اضافه ولتاژهای خارجی " صاعقه "

✓ بزرگترین عامل خروج خطوط انتقال و توزیع هوایی است

- ۱۴سال تحقیقات درآمریکا و کانادا به طول ۲۵۰۰۰ مایل که صاعقه (۲۶٪عامل اساسی درخروج خطوط ۲۳۰ کیلوولت) و (۶۵٪ عامل اساسی درخروج خطوط ۳۴,۵ کیلولت) است .

✓ پدیده الکتریکی صاعقه درابرها اتفاق می‌افتد "بسیارپیچیده است " وبه طورکل شناخته شده نیست



- برخورد صاعقه با سطح ولتاژ هیچ ربطی ندارد " اهمیت حفاظت بیشترمی‌شود "
- جریان صاعقه ضربه است

- ✓ فاکتورهای موثردرحفاظت سیستم درمقابل صاعقه " برای خط انتقال با ولتاژهای مشخص "

۱. ارتفاع برج : چون صاعقه درارتفاع بالا رخ می‌دهد لذا برج کوتاهتردرمعرض خطرکمتراست

۲. تعداد وموقعیت سیم‌های گارد دربالای فازها (زاویه ۳۰ درجه بسازند)

۳. امپدانس برج و امپدانس برج به زمین

۴. تعداد مقره ها

- مطالعه میدان ⟵ طراحی عایق بهینه

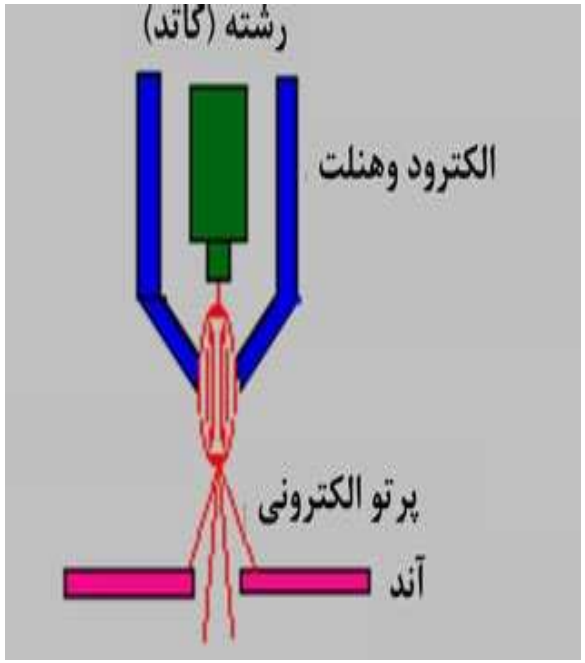
- عملکرد یک عایق به شدت میدان وجهت گیری خطوط میدان بستگی دارد

- خصوصیات خطوط میدان :

- ✓ خطوط میدان از صفحه مثبت به سمت صفحه منفی می رود.
- ✓ شکل هادی ها و الکترودها و جنس عایق ها بر آرایش خطوط میدان موثر است.
- ✓ خطوط میدان بر سطح هادی عمود است.
- ✓ خطوط میدان و سطوح هم پتانسیل بر هم عمودانند.
- ✓ داخل هادی میدان صفر است وهر جا چگالی بار بیشتر باشد میدان الکتریکی قویتر است.

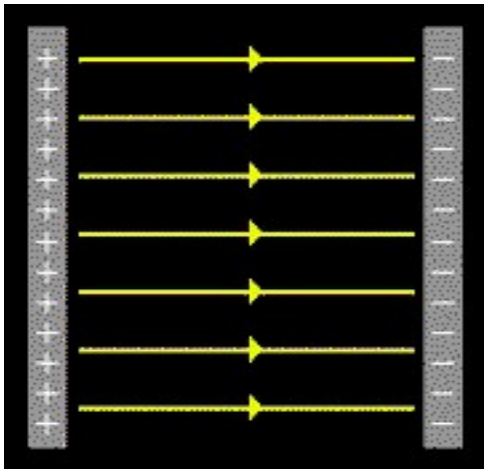
- استقامت الکتریکی و عوامل موثر درآن

- حداکثرشدت میدان الکتریکی که به یک عایق می‌تواند تحمل کند

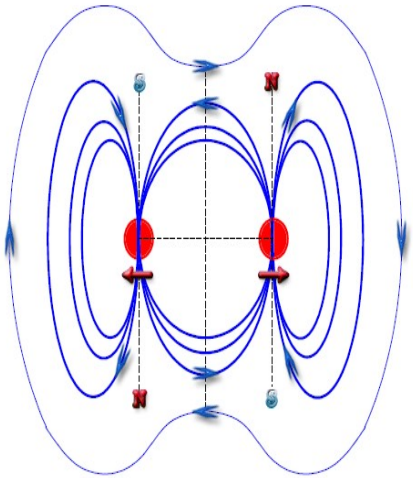


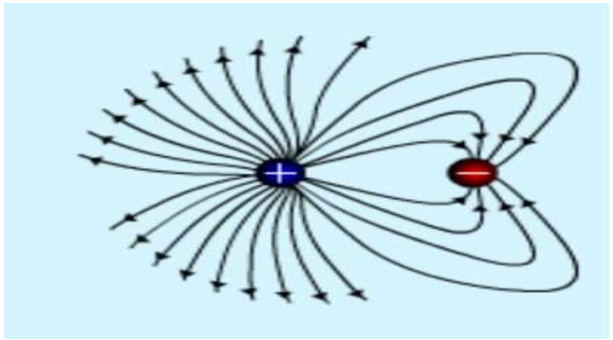
- ✓ رطوبت ، دما ، فشار
- ✓ آرایش میدان الکتریکی (شکل الکترودها)
- ✓ ناخالصی موجود درعایق
- ✓ خطا ها " اضافه ولتاژها " ←
  - دوره زمانی
  - دامنه ولتاژ
  - شکل موج

- طبقه بندی میدان های الکتریکی
  - میدان های یکنواخت ⟵
    - پتانسیل خطی است
    - سطوح هم‌پتانسیل و خطوط میدان دقیقا برهم عمودند
    - شدت میدان بین دو الکترود ثابت است
  - میدان های شبه یکنواخت و غیریکنواخت ضعیف
  - میدان به شدت غیریکنواخت



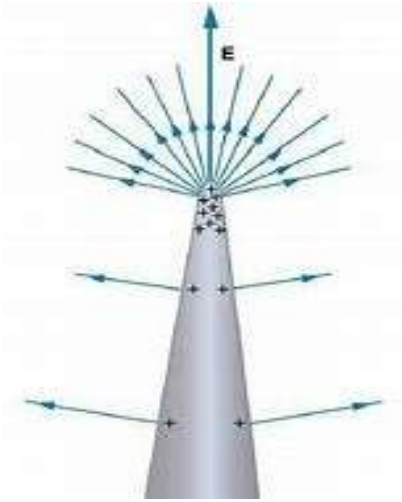
میدان یکنواخت





میدان غیریکنواخت

- راه‌های کنترل شدت میدان " ایجاد میدان با یکنواختی بیشتر "



۱. تغییرشکل الکترودها

۲. باندل کردن هادی‌ها درخطوط " EHV "

۳. استفاده از شیلدهای حفاظتی

۴. استفاده از عایق های چندگانه

۵. لایه بندی کردن عایق‌ها ⟵

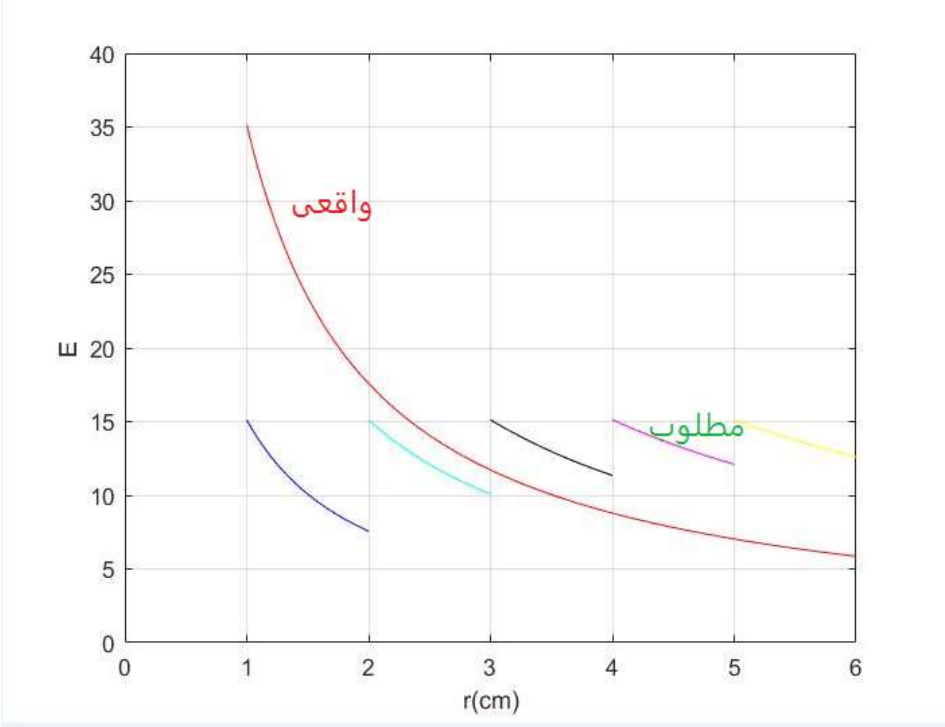
- درجه یکنواختی بیشتر
- عایق تحت استرس کمتر
- جلوگیری از ایجاد نقاط نوک تیز و لبه‌ای
- بهبود یکنواختی

➢ درجه یکنواختی میدان " η "

$$\frac{E_{mean}}{E_{max}} = \eta$$

d ← کمترین فاصله بین الکترودها

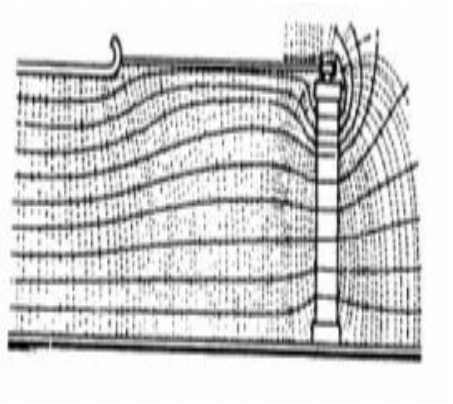
r ← شعاع منحنی ترین قسمت اکترودها



$$P = 1 + \frac{d}{r}$$

❖ $P = \frac{1}{\eta}$

- روش‌های مستقیم اندازه گیری شدت میدان



۱. روش پرکاه : باتوجه به آنکه عدد دی‌الکتریک پرکاه ازهوا بزرگتراست به پرکاه ازسوی میدان نیرو وارد می‌شود . پرکاه درجهت میدان آرایش پیدا می‌کند و تراکم، شدت و جهت گیری میدان مشخص می‌شود .

۲. روش جبرانی : برای تعیین پتانسیل هرنقطه از فضا یک پروب درآنجا قرارمی‌دهند ، پروب را با سیم به صفرسنج ولتاژ (لامپ نئون یا فازمتر) متصل می‌کنند . صفرسنج بین پروب و منبع ولتاژ متغیر(اتوترانس) قرارمی‌گیرد .

- وقتی صفرسنج عدد صفر را نشان داد ($V_1 = V_2$) ولتاژ ترانس = ولتاژ نقطه مورد نظر)
- با تعیین تابع پتانسیل میدان الکتریکی تعیین می‌شود .

❖ نکات مورد توجه در روش جبرانی

الف) پروب و سیم رابط آن باید هم‌پتانسیل باشند به طوری که باعث تغییر شکل میدان هم‌پتانسیل نشوند

ب) ابعاد پروب باید به گونه‌ای باشد تاجریان لازم برای تحریک دستگاه صفرسنج بتواند ازآن عبورکند

ج) این روش فقط برای ولتاژمتناوب مناسب است ، دراین ولتاژ جریان ازطریق ظرفیت بین پروب و الکترودهای فشارقوی عبورمی‌کند

د) به دلیل وجود ظرفیت و مقاومت‌های متفاوت برای درست کارکردن صفرسنج ازدستگاه تنظیم ولتاژ و فاز باید استفاده کرد

➢ روش‌های مستقیم اندازه گیری شدت میدان

۳. روش کریستال : کریستال " L_1Nbo_3 " یا "$CaCo_3$ " را درمقابل پرتوی نورقرارمی‌دهیم ، پرتو نورتقسیم می‌شود به " دو نورپلاریزه خطی " که صفحه پلاریزاسیون آنها بریکدیگرعمود است .

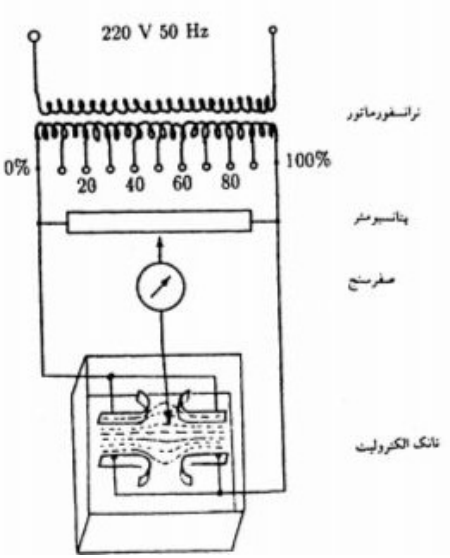
❑ سرعت سیرنور دراین نوع کریستال‌ها به شدت به میدان وابسته است.

❑ با اعمال شدت میدان به صورت عمود بریکی ازصفحات پلاریزاسیون سرعت یکی از دو نور را تغییر می‌دهیم ، دو نوربا اختلاف فازازکریستال خارج می‌شوند ، با تعیین این اختلاف فازازطریق پروب کوچک " میدان " مشخص می‌شود.

❖ پروب دو ورقه کوچک ⟵
- ورقه اول : پلاریزه کردن شدید نور
- ورقه دوم : دو نور پلاریزه شده را با هم جمع می‌کند

❑ برای تعیین میدان الکتریکی "عایق باعدد ʒ ازالکترولیت با قابلیت هدایت σ "استفاده می‌شود .

❖ هردو "ʒ" ، "σ " تحت لاپلاس اند .



- روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری شدت میدان

✓ آنالوگ " استفاده ازشبیه سازی "
مدلسازی یک کمیت یا سیستم فیزیکی به جای یک کمیت دیگر
(درصورتی که معادلات هردویکسان باشند)

- مثلا : میدان الکتریکی ⟵ پتانسیل ، میدان حرارتی ⟵ حرارت

❑ مثال : تانک الکترولیت

مواد مورد استفاده : دوالکترود – ترانسفورماتور" منبع تغذیه" – پتانسیومتر" دسترسی به رنج‌های مختلف ولتاژ- صفرسنج " ولتمتربا اسیلوسکوپ " – الکترولیت باقابلیت هدایت – پروب – آب مقطر

طرزکار : باجابه‌جایی پروب " سوزن" درون الکترولیت " روی سطح آن " ، نقاطی که صفرسنج مشخص می‌کند " نقاط هم‌پتانسیل " سپس بادرصد ولتاژ" پتانسیل"معلوم ترانس را انتخاب می‌نمائید.

- دلایل استفاده از عایق‌های چندگانه

۱. دلایل مکانیکی " چون عایق‌های مایع و گاز قابلیت پشتیبانی و مجزاسازی کمتری دارند "

۲. کنترل شدت میدان با استفاده از لایه های مختلف

- رفتارمواد عایقی مجزا دریک میدان الکتریکی با ضریب نفوذپذیری " ع " مشخص می‌شود
- یک تغییرناگهانی در" ع " ممکن است سبب ایجاداختلاف پتانسیل‌های مختلف و تتغییرتوزیع میدان شود

➢ میدان با مرزهای مختلف " ولتاژشکست مجموعه چند عایق ≥ ضعیف ترین عایق

۱. میدان با مرزطولی $E_1 = E_2$

۲. میدان با مرزعمودی $\frac{E_1}{E_2} = \frac{ʒ1}{ʒ2}$

۳. میدان با مرزقطری $E1ʒ1 / E2ʒ2 \longrightarrow \frac{tan\alpha_1}{tan\alpha_2} = \frac{ʒ1}{ʒ2}$

❑ میدان یکسان است " کل سیستم تحت استرس یکسان است "

$$E_1 = \frac{V}{d_{1+\frac{ʒ1\,(d2)}{ʒ2}}}$$

❑ عایق ضعیف‌تر زودترخراب می‌شود

❑ درطراحی باید ولتاژ شکست عایق ضعیف تر را درنظربگیریم " بدلیل وجود ناخالصی درعایق " از آن ولتاژ شکست هم کمتردرنظرمی‌گیریم

$$E_2 = \frac{V}{d_{2+\frac{ʒ2\,(d1)}{ʒ1}}}$$

❖ توضیحات برای محاسبه ی " E_1 " و " E_2 "

الف) جایگزین یک ماده عایقی با ماده عایق استفاده شده اولی سبب کاهش طول فاصله هوایی می‌شود

اگر ($\mathfrak{Z}_1 < \mathfrak{Z}_2$) ⟵ $d = d_1 + \frac{\mathfrak{Z}1}{\mathfrak{Z}2}(d_2)$

ب) بدترین حالت برای وضعیتی است که لایه‌های خیلی نازک ازماده دارای ضریب نفوذ پذیری الکتریکی کوچکترباشند .

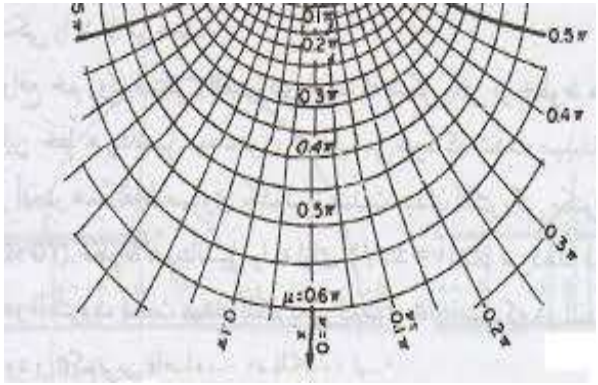
($d \longrightarrow 0$)

- ازاین نظرسیستم عایقی چندگانه بسیارمضراست اما به دلیل هزینه (ارزان قیمت) ازآنها استفاده می‌شود .

- خم روکوفسکی " کنترل شدت میدان درلبه های بین دو صفحه "

- ✓ درموردی که تخلیه الکتریکی بین دوصفحه ویا بین صفحه والکترود بررسی می‌شود .

- ✓ صفحه باید به گونه‌ای طراحی وساخته شود که لبه‌های تیزآن باعث افزایش شدت میدان الکتریکی نشود ؛ برای این منظورلبه صفحه خم می‌شود به صورتی که شدت میدان الکتریکی روی لبه‌ی صفحه‌ها (مساوی و یا حتی کمترازشدت میدان الکتریکی وسط صفحه باشد) این الکترود با این خم را صفحه‌ای با خم روکوفسکی می‌نامند .



خطوط میدان دوالکترود صفحه‌ای باخم روکوفسکی

- ✓ خم روکوفسکی ، الکترودی است که شکل یکی ازخطوط هم‌پتانسیل را ازتابع نگاشت ماکسول دارد. این خط هم‌پتانسیل به نحوی انتخاب می‌شود که شدت میدان الکتریکی خارج ازآن درهمه‌ی نقاط مساوی ویا کمترازشدت میدان یکنواخت باشد .

➢ انواع ولتاژهای فشارقوی

- ✓ DC ⟵ مطالعه تئوری شکست الکتریکی درعایق‌ها
- ✓ AC ⟵ آزمایش ترانسفورماتورها و MRI
- ✓ ضربه‌ای ⟵ سوئیچینگ و اتصال کوتاه

❑ استقامت عایق

- باید خیلی بیشترازمقدارنامی مورد استفاده آنها باشد
- تا دربرابراضافه ولتاژهای احتمالی دچارشکست نشود
- عایق باید ضریب اطمینان بالایی داشته باشد

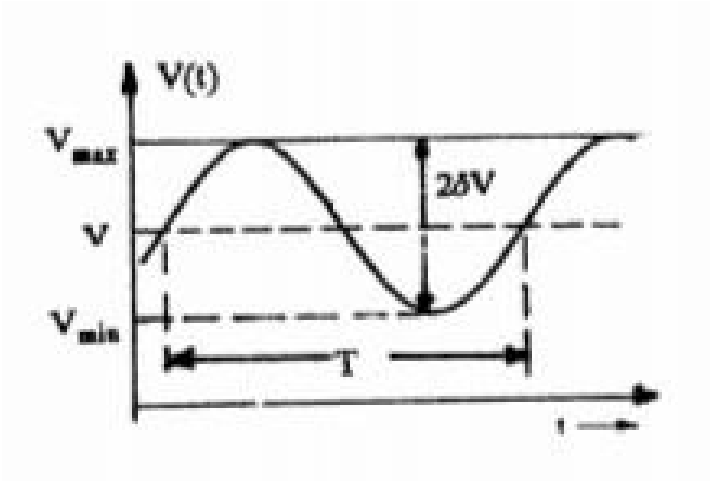
$$\text{ضریب اطمینان} = \frac{\text{ولتاژشکست عایق}}{\text{ولتاژنامی عایق}} = ۱$$

➢ ولتاژ DC

تعریف DC ⟶ $\tilde{V} = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)\,dt$

دامنه اعوجاج δV ⟶ $\delta V = \frac{V\max - Vmin}{2}$

ضریب اعوجاج موج V (t) ⟶ $V(t) = \frac{\delta V}{V}$



✓ ولتاژ V(t) در دوره " T "ثابت نیست وبا فرکانس " $F=\frac{1}{T}$ " نوسان می‌کند

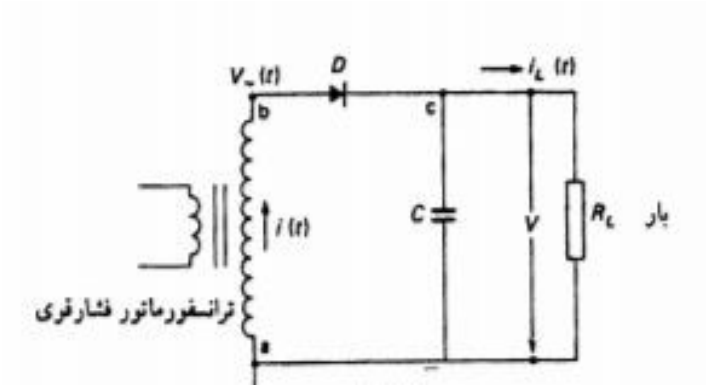
✓ ولتاژهای تست اعمالی هم به صورت متناوب ازمقدارمتوسط منحرف می‌شوند که به معنای تولید یک ریپل است

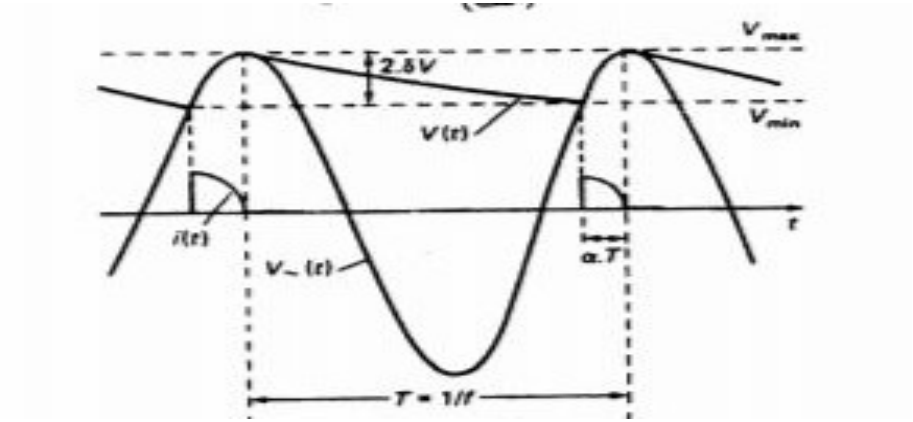
- نحوه تولید ولتاژفشارقوی DC

۱. مدارات یکسوساز
- یکسوسازنیم موج
- ویلارد
- گرانیاخ

۲. مولدهای الکترواستاتیک (واندوگراف)

- یکسوسازنیم موج





➢ رفتار مداریکسوساز نیم موج

۱. هدایت می‌کند " از V(t) ترانس تا ولتاژ Vmax خازن شارژمی‌شود

۲. ($R_L = \infty$) و($I_L = 0$) ⟵ ولتاژخازن = V_{max} ثابت می‌ماند

بارگیری (R_L) و بارگیری (I_L) خازن ثابت نمی‌ماند وطی دوره تناوب مقدار بار به مقاومت بار منتقل می‌شود

$Q = \frac{Il}{F}$

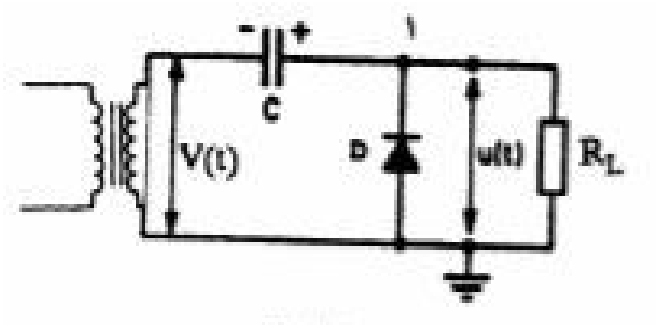
❖ I_L مقدارمتوسط جریان بار
❖ δV دامنه اعوجاج

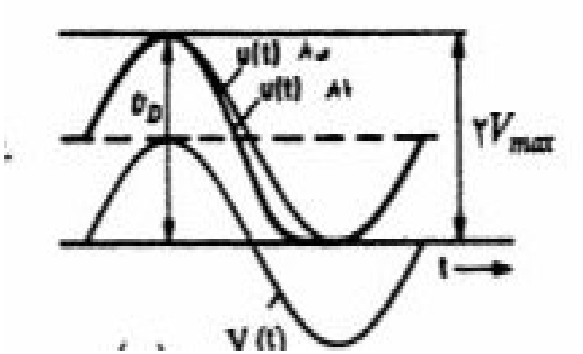
$Q \longrightarrow R_L$

$\delta V = \frac{I}{2F_C} = \frac{IT}{2C}$

❑ R_L برای عایق‌ها مقدارزیادی است ⟵ I_L بسیارکم می‌شود

- مداریکسو سازدوبله " ویلارد "



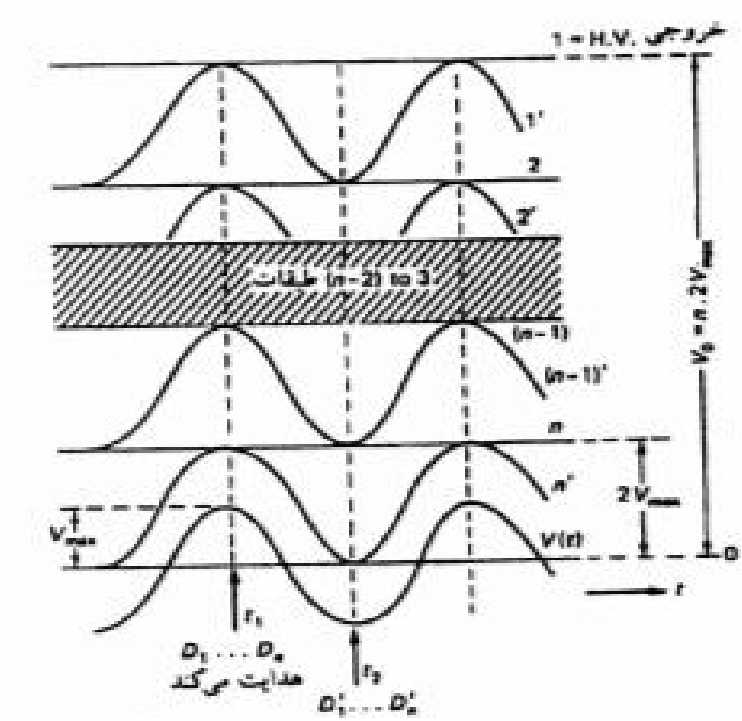


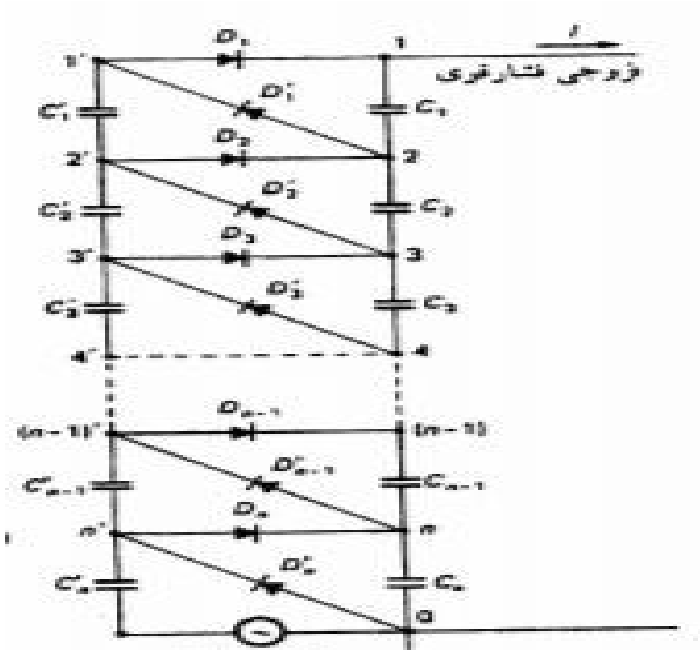
❑ کارکرد مدارویلارد

۱. درنیم سیکل منفی : (موج ولتاژثانویه ترانس ازطریق دیود خازن را به مقدار(V_{max}) شارژمی‌کند) " یک دوبرابرکننده ولتاژبدست می‌آید"

۲. درنیم سیکل مثبت : موج ولتاژثانویه ترانس روی مقدار(V_{max}) قرارگرفته و ولتاژنقطه"۱" به دوبرابر($2V_{max}$) می‌رسد ،(موجی بین دوسربار" صفر و $2V_{max}$ " است)

- مداریکسوسازچند پله گرانیاخ





مدارچند برابر کننده گرانیاخ

- مثال : برای یک ژنراتور DC وبارعایقی با مشخصات ($I=500_{mA}$) ($V_{max}=100_{KV}$) ($C=1_{\mu F}$) ($F=500_{HZ}$)

$n_{opt} = \frac{\sqrt{Vmax * F * C}}{\sqrt{I}}$ تعداد طبقات n

$n_{opt} = 10$

$V_{out} = 2nV_{max} - \frac{I}{FC}\left(\frac{2n^3}{3}\right) = \frac{4}{3}$ (mv)

$P_{out} = V_{out} \cdot I$

- با افزایش فرکانس منبع ، می‌توان قدرت خروجی " P_{out} "را افزایش داد.

- این روش ازروش افزایش ظرفیت خازن‌ها اقتصادی‌تراست
- افزایش فرکانس منبع " افت ولتاژ" و "اعوجاج موج خروجی" را کاهش می‌دهد

گرانیاخ۳طبقه

❑ مثال : یک چندبرابرکننده ولتاژازنوع گرانیاخ دارای "۸طبقه " با کاپاسیتانس "۰/۰۵ µf" درهرطبقه است. ولتاژثانویه ترانسفورماتورتغذیه درفرکانس"HZ۱۵۰" برابر"۱۲۵KV" وجریان بار"5mA" می‌باشد مطلوب است درصداعوجاج وتعداد طبقات بهینه برای حداقل کردن رگولاسیون وافت ولتاژ ؟

n = 8

اعوجاج ولتاژ"δV" $\delta V = \frac{I}{FC} \cdot \frac{n(n+1)}{4} = ۱۲۰$

افت ولتاژ"ΔV" $\Delta V = \frac{I}{FC}\left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right) = 248$

ولتاژ خروجی "V_{out}" $V_{out} = 2n\,V_{max} - \Delta V - \delta V = 2460.4$

درصد اعوجاج = $\frac{\delta V}{Vout} * (100) = 4.88\%$

تعداد طبقات بهینه (n > 5) $n_{opt} = \frac{\sqrt{Vmax * F * C}}{\sqrt{I}} = 16.28 = 16$

- مولدهای الکترواستاتیک

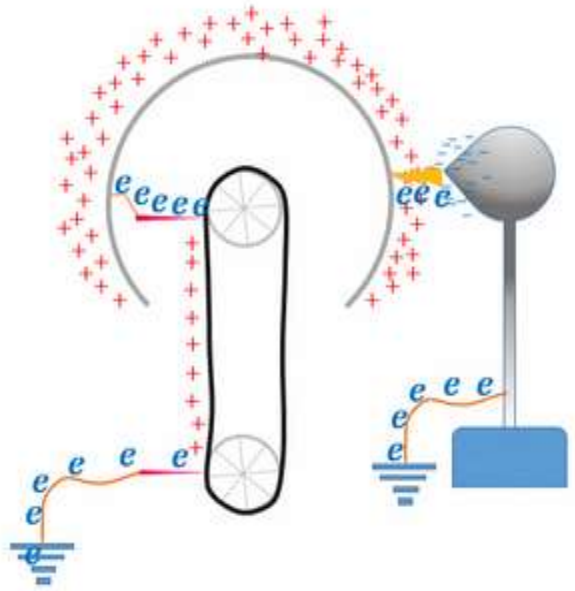
(استفاده ازآنها درتامین ولتاژ DC درشتاب دهنده‌های ذرات درفیزیک هسته‌ای)

- اصول کارمولدهای الکترواستاتیک

- به روش انتقال بارهای الکتریکی تا "5MV " ولتاژبی باری
" بارهای الکتریکی درخلاف جهتی که میدان الکتریکی برآنها نیرو وارد می‌کند
(رانده می‌شود) به وسیله انرژی مکانیکی "

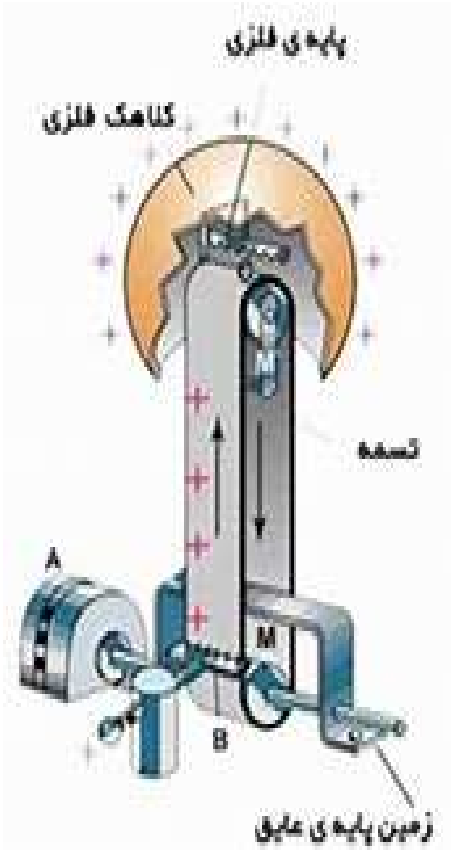
- به روش تبدیل انرژی (انرژی ازبین نمی‌رود)
" انرژی مکانیکی مستقیما به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود "

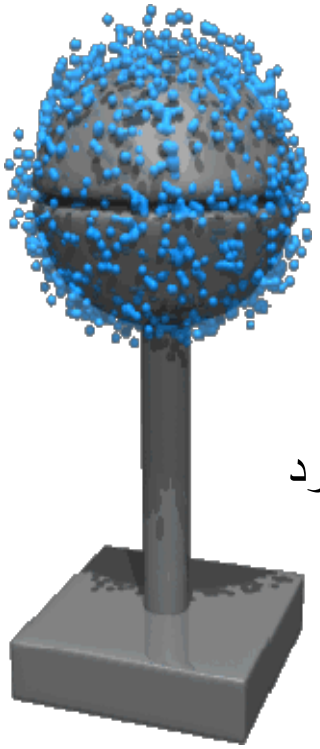
- مولد واندوگراف



- اساس کار : ولتاژپایین – ولتاژ بالا
- ✓ منبع ولتاژ DC دررنج پایین(KV "۱۰۰-۱۰") قراردارد
- ✓ تسمه با سرعت معین به وسیله یک موتورمی‌چرخد
- ✓ به وسیله نوک یک سوزن وکرونا بارالکتریکی روی تسمه عایق" دوار" پاشیده می‌شود.
- ✓ منبع ولتاژ DC در رنج بالای (KV ۱۰۰) قراردارد
- ✓ ذرات الکتریکی به وسیله یک میله نوک تیزجارومی‌شود" به سطح الکترود فلزی کروی بزرگ هدایت می‌شود " . ذرات باردارداثرتجمع روی سطح الکترود نسبت به زمین و هوا " اضافه ولتاژ" ایجاد می‌کنند .

- ساختمان واندوگراف





- ❑ برای ثابت ماندن ولتاژ
  - ✓ متصل کردن ژنراتور DC به یک مصرف کننده
  - ✓ جریان بارمصرفی = بارجمع شده روی الکترود
- ❑ برای انجام شدن تخلیه الکتریکی
  - ✓ الکترود فلزی باید به اندازه کافی بزرگ باشد
  - ✓ شدت میدان الکتریکی روی سطح کره خیلی زیاد نشود
  - ✓ از افزایش ولتاژالکترود جلوگیری شود

- ولتاژ AC

❑ نحوه تولید " MPI "

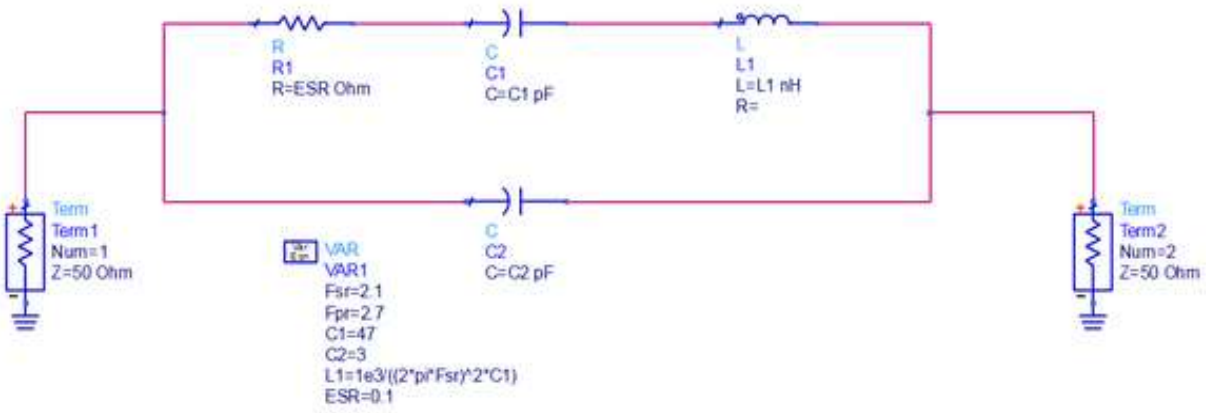
۱. استفاده ازترانس های افزاینده " به صورت سری"
(سیم‌پیچ تحریک برای تغذیه اولیه ی ترانس بعدی)

۲. استفاده ازمدارهای رزونانس " تشدید"

❖ مزایای مدار رزونانس : برای تولید ولتاژفشارقوی

✓ جریان و توان کمتری لازم است

✓ خروجی سینوسی‌تر است



➢ ولتاژهای ضربه‌ای فشارقوی
(اضافه ولتاژهای ناگهانی وگذرا با دامنه‌های خیلی زیاد)

❑ عوامل ایجاد ولتاژضربه‌ای

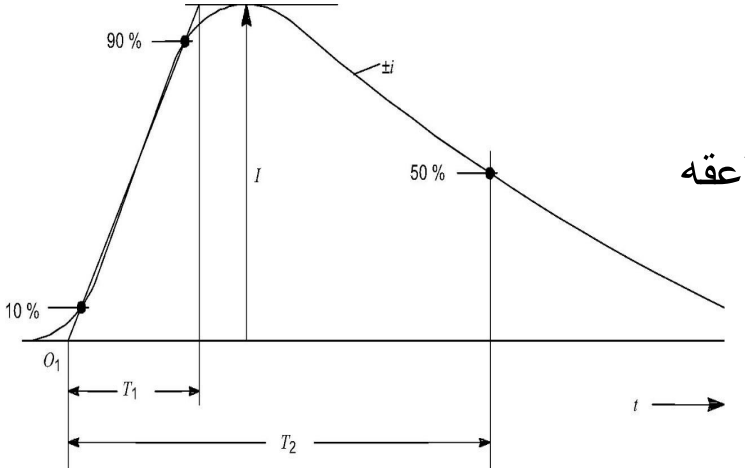
۱. صاعقه‌های آسمانی
۲. سوئیچینگ " کلیدزنی "
۳. بستن کلیدهای قدرت
۴. اتصال کوتاه روی خطوط انتقال

❑ مشخصات ولتاژ ضربه‌ای
- غیرنوسانی
- درمدت زمان بسیارکوتاهی"μs تا ms " به مقداردامنه " اوج " خود می‌رسند
- موج آن به صورت نمایی به صفرکاهش می‌یابد

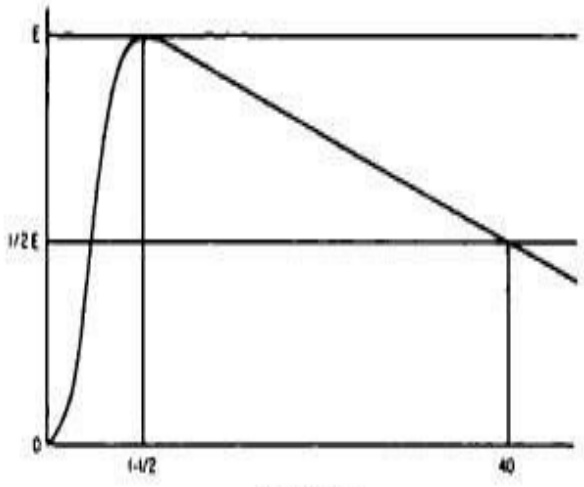
❖ ضرورت تولید ولتاژضربه‌ای درآزمایشگاه
✓ بدلیل آزمایش استقامت الکتریکی تجهیزات عایقی دربرابراضافه ولتاژها

- انواع ولتاژهای ضربه‌ای

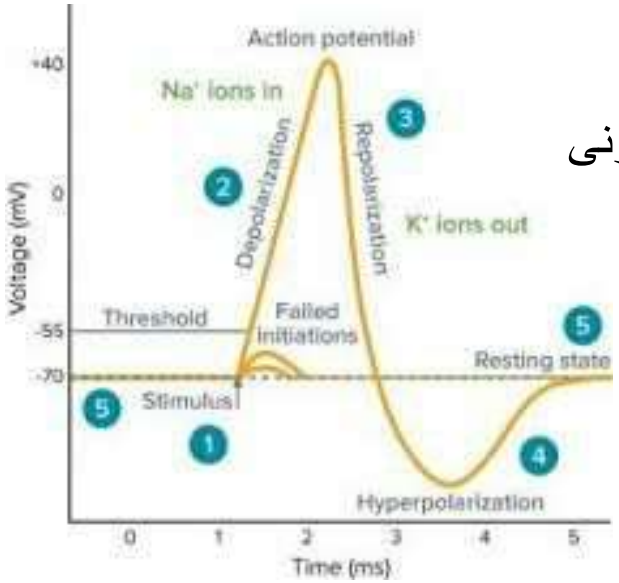
- ✓ صاعقه
- ✓ سوئیچینگ " کلیدزنی "
- ✓ شکسته
- ✓ سوزنی



صاعقه



سوئیچینگ



سوزنی