

سرفصل ها

- تخلصی اللّٰهی ۱۳۵
- هیدان ما اللّٰهی ۱۵
- حواصی همداد حایق و اندازده لیری آنها ۱۲۰
- تولید و اندازده لیری شار قدی ۱۳۰
- ضابط از تجهیزات در مقابل فشار اضافه و لغا ۱۱۵

منابع

- ۱- محمدسی شار قدی اللّٰهی ، دکتر حسین محسنی ، انتشارات دانشا تهران
- ۲- ... و عایق ، دکتر محبت الله هوشمند ، ویراست دوم

\*\*\*  
۴۰۰ کت  
۲۲۰ کت

چراغ عایق هم است ! در صورتی شار قدی عایق مانع از این می شود  
این در صورتی خاصه جاری شود

مواد از شار هدایت اللّٰهی  
رسانا  
رسانا  
عایق

- \* عایق ایده آل ماده است که تحت تمامی شرایط هیچ جریان اللّٰهی از خود عبور ندهد و رسانای
- آن برابر با صفر باشد و مقادیر آن برابر با لحاظ است با ...
- \* عایق واقعی است که تحت شرایط خاص خاصیت عایق خود را از دست داده و تبدیل به رسانای شود
- \* بریده ای که تحت شرایط اعمالی ناشی از آن به یک عایق ، عایق خاصیت عایق خود را از دست داده و به رسانا تبدیل می شود ، سگت اللّٰهی نامیده می شود

## مفضل اول : تجلیات اللزجی

- تنوری سلسلہ اللزجی ذرہ ها

- سلسلہ اللزجی در گازها (مانند پاسته)

- انواع سلسلہ اللزجی ← از درون ماده عایق

← از مرز بین عایق ها ← تجلی سطحی  
در شش

- انواع سلسلہ اللزجی ← کامل

- که عامل مهم در سلسلہ اللزجی گازها ناقص

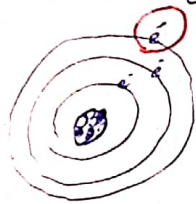
- سلسلہ اللزجی در مایع ها

جا مرها

- عایق

در تمام بر خیز ذرات باردار به مولکول عاویج سرخ اتفاق افتاد :

- ۱- دوزہ پس از برخورد در مرکز عاویج به مرکز خود ادامه می دهند.
- ۲- ترکیب : دوزہ پس از برخورد باعث جابجایی الکترون ذرات خارجی شوند پس از مدتی به تراز اصلی خود بازمی گردند و انرژی در یافتی به صورت فوتون در محیط اواران و بخش می شود.



۳- یونیزه شدن : ذرات تحت برخورد یونیزه می شود.

سلسلہ بروز این اتفاقات به انرژی جنبشی در لحظه برخورد بستگی دارد.

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

- $K_1$  و  $K_2$  به انرژی و ولتاژی هر ذرات  
دایه ات برآیند همین رفتار عاویج  
در مقابل سلسلہ الکتریکی عاویج است.
- ۱ →  $K < K_1$
  - ۲ →  $K_1 < K < K_2$
  - ۳ →  $K > K_2$

بخش الکتریکی → افزایش دایه → ذرات باردار → در اتفاق دوم

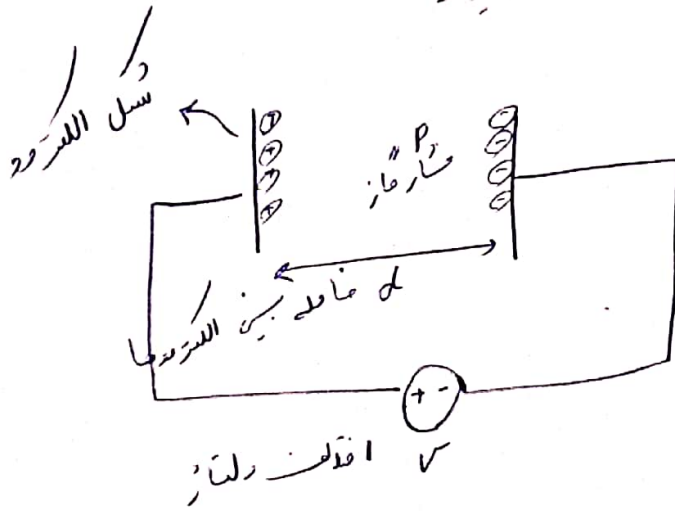
از بین رفتن خاصیت عاویج → افزایش دایه → افزایش دوزات باردار الکتریکی

→ سلسلہ الکتریکی

قانون پاشنه در سلف الکتری در گازها

وقتی سلف الکتری در گازها، فشار گاز، افتاد و لذا بین الکترودها، فاصله الکترودها و سلف الکترودها وابسته است.

یک گاز، گازهای دایق گازها را در سلف الکتری



از سلف الکترودها ثابت

اگر فاصله اول:  $V$  و  $d$  ثابت

$P > P_{cr} \rightarrow$  سلف رخ نخواهد داد

$P_{cr} =$  شار بحرانی

اگر فاصله دوم:  $P$  و  $V$  ثابت

$d > d_{cr} \rightarrow$  سلف رخ نخواهد داد

$d_{cr} =$  فاصله بحرانی

اگر فاصله سوم:  $P$  و  $d$  ثابت

$V < V_b \rightarrow$  سلف رخ نخواهد داد

$V_b =$  استقامت عایق



۲۵ / **۷۶** اشخاص تابع بر حسب ولتاژ بیان شود و نشان دهنده صد ممل تابعی یک تابع

است، یعنی هرگز که هر اثر از آن تابع بر مانا تبدیل شود.

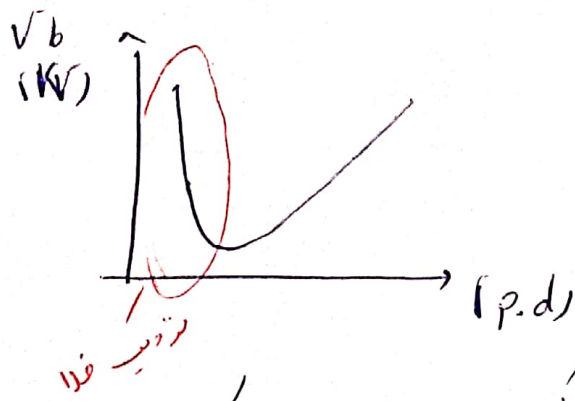
مقدار اشخاص تابع بر هر کار به مقدار کار باز، فاصله الکترود سارسل الکترودها وابسته است.

**هفتی با رسی**

خازن با رسی خازنی در صفحه فیلد الکتریکی کارهاست و بیان می کند ولتاژ لازم برای سکت الکتریکی کار در یک میدان یکنواخت تابعی است از حاصلضرب کار کار

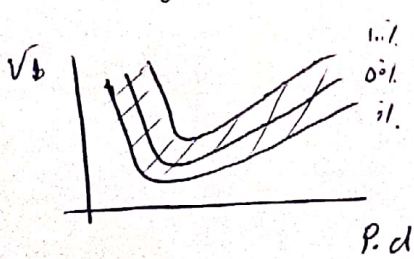
تابعی از الکترودها  

$$V_b = f(p.d)$$



برای هر دفعه عایق کارها و در آن  
 شکل الکترودها مختلف، هفتی  
 متفاوتی خواهند داشت.

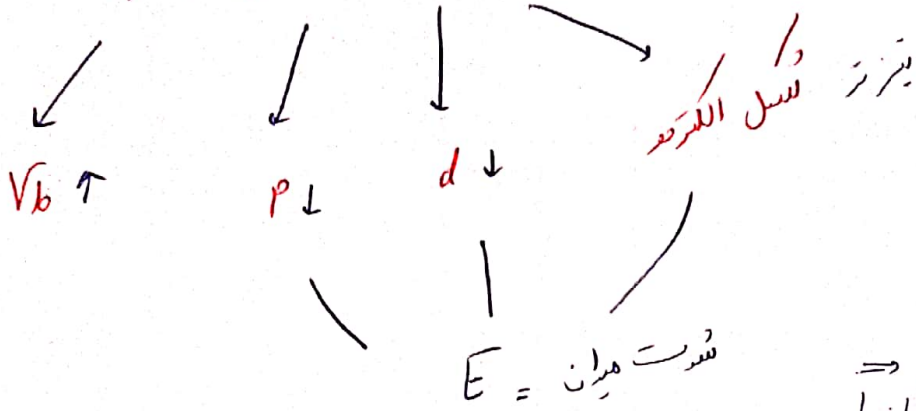
- توضیح فلا: بعد از سکت عایق، مقدار  $V_b$  به یکبار از اسیک پدید می آید.
- \* هر چه کار کار بیشتر باشد، فاصله بین دو الکترودها کمتر است، به ازای بیشتر برای سکت نیاز است.
- \* هر چه فاصله الکترودها از هم بیشتر باشد.
- \* هر چه شکل الکترودها پیچیده تر باشد و فاصله آنها.
- \* هر چه اختلاف ولتاژ اعمالی بیشتر باشد و وقوع سکت الکتریکی محتمل تر است.



از آنجایی که پدیده سکت احتمالی است از یک ناصیه  
 به جا هفتی استفاده می شود.

P6

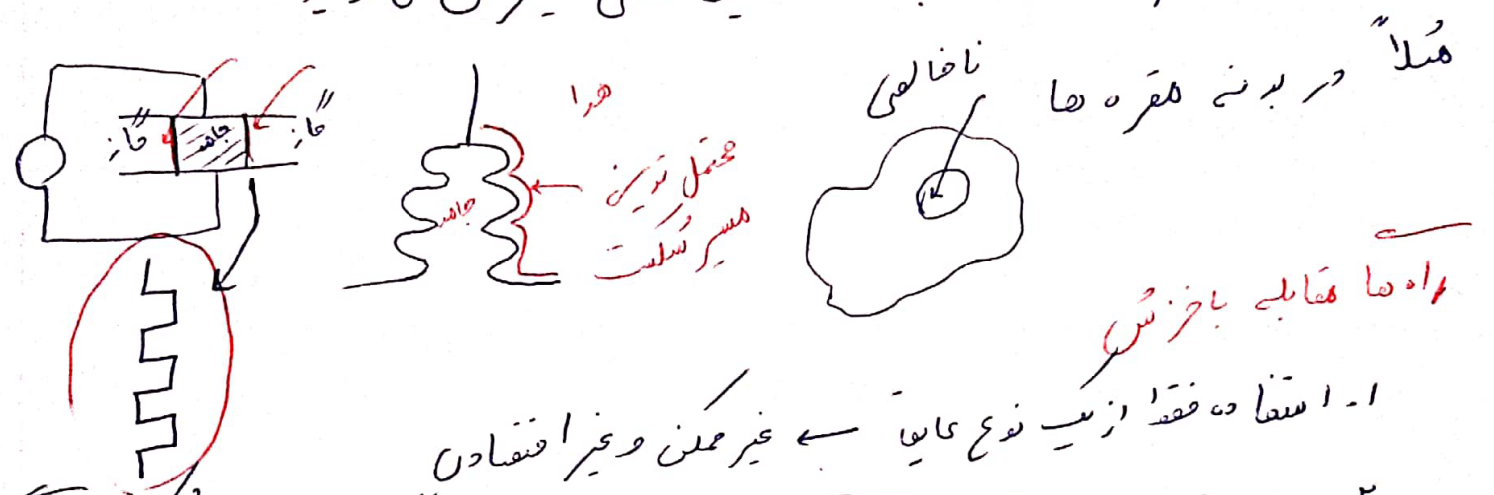
وضع سلسلہ الکترونی درجہ



⇒ وضع سلسلہ الکترونی درجہ  
E و P بقیہ داس

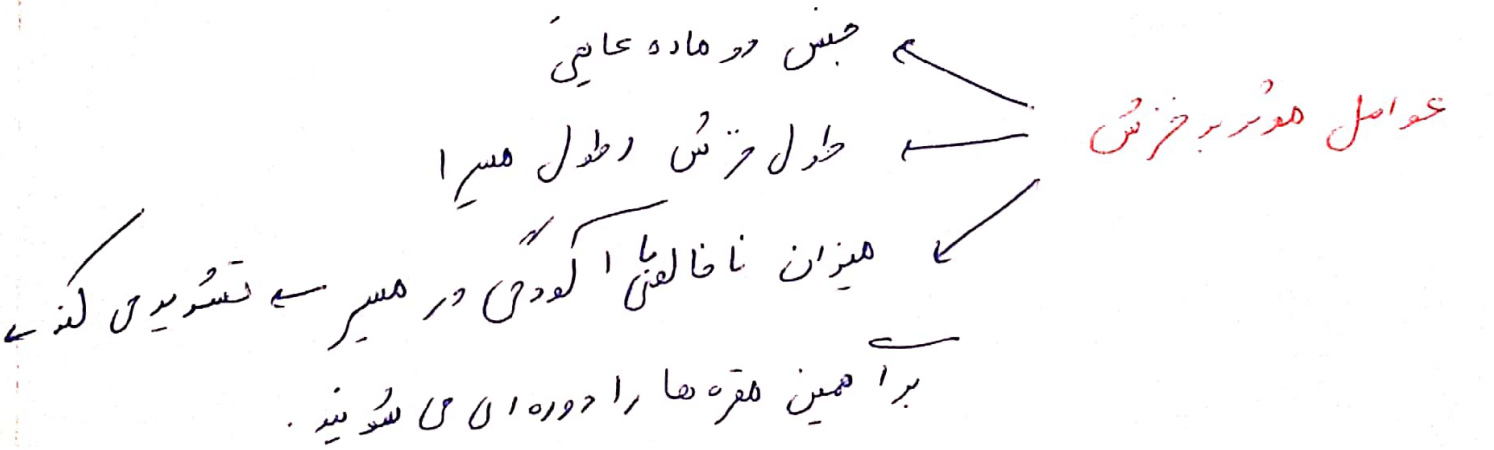
# سلسلے سطحی یا قرش

اگر در بجهنزا دوزخ حاد عایق استفاده شده باشد رما شد گاز و جامد ضعیف ترین  
 خاصیت به لحاظ عایق حرز بین حوائق است و اولین سلسلے عایق معمولاً در حرز  
 بین حوائق انجام می شود که بر آن تحلیل سطحی یا قرش می گویند.



مواد مقابل به قرش

- ۱- استفاده فقط از یک نوع عایق به غیر محلی و غیر اقتصاد
- ۲- از این طول قرش به برآهین بدنه هفره ها و پوشش ها را به سبیل دایره ها  
 روی هم درست می کنند.



سلسلے عایق  
 از درون ماده عایق  
 از حرز بین دو ماده عایق به قرش ، تحلیل سطحی

سلسلہ عاین ← کامل

Partical discharge PD ناقص یا تخلیہ جزئی

سلسلہ کامل: حداقل یک مسیر بین دو الکترود هست که میزان نفوذ دارد شدت بیشتر از میزان تحمل عاین است.

سلسلہ ناقص: هیچ مسیر کاملی بین دو الکترود نیست.

در سلسلہ ناقص، عمل سلسلہ با پرتاب الکترون ها و یونیزه شدن عاین انجام می شود و یک جریان جزئی جاری می شود.

گرونا نفوذ از تخلیه جزئی و فرافشار قوی است.

→ تداخل در امواج رادیویی  
→ صدا و بزرگ  
→ نذر نفوذ زرد

تداوم تخلیه جزئی به آسیب دیدن ماده عاین و کاهش استقامت عاین ←  
سلسلہ کامل ← تخلیه آسیب می بیند.

از روی عاین یعنی فرکانس PD می توان آن را تشخیص داد و از آسیب بیشتر جلوگیری کرد.

از پس بودن نا خالی  
→ راه حل  
→ بلند افت کردن میدان با کاهش پهنای الکترودها

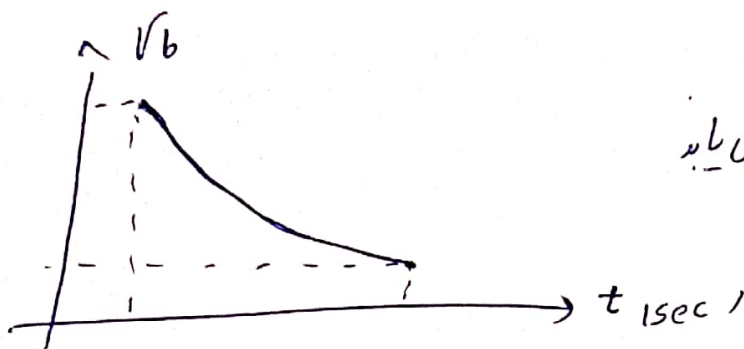
الکترود: هر ماده رسانا به هر سلسله مثلاً صغیر، کره ای یا مسطحی در نقاط پهن سلسله میدان بیشتر است.



مدت زمان اعمال ولتاژ هم به وقوع سلسله تأثیر می گذارد.  
 هر چه مدت زمان اعمال ولتاژ بیشتر شود به ولتاژ کمتری برآ سلسله

نیاز است.

یعنی استقامت عایق کاهش می یابد



استقامت عایق به ترکیب مشخص در مقابل ولتاژ با مدت زمان  $t(sec)$  ضریب  $DILt$   $\frac{1}{دقیقه}$

$DIL$  فقط به جنس ماده عایق بستگی دارد

در سلسله در گاز عایق به عوامل بستگی دارد:

- ۱- شار گاز
- ۲- فاصله الکترودها
- ۳- شکل الکترودها
- ۴- ولتاژ دوامده

۵- مدت زمان اعمال ولتاژ

فقدان الکتریسیته، عبور مداوم جریان از ساقطار عایق به جریان و حرارت بالا، اقبال کوتاه

✓ جرقه الکتریکی، عبور جریان لحظه‌ای از ساقطار عایق

پس از وقوع سلسله الکتریکی

سُکُتِ اللّٰهِي در مایع ما ← روغن آسکارل، روغن معدن تدانسی و... ۴۸۵

فواصل مدلولی در مایع ما ضعیفی کمتر از گازهاست ← انرژی بیشتری  
برای سُکُت نیاز است ← طبق قانون یانسن در مایعات یعنی ندانند  
سُکُت رخ دهد ← تئوری های جدید

قانون یانسن فقط در مورد گازها صادق است.  
تئوری سُکُت در مایعات ← تئوری جواب گاز  
تئوری ذرات ناخالصی  
تئوری جواب گاز

گازها به صورت جواب های ریز درون مایعات حبس می شوند ← در هر دم از  
جواب مطابق قانون یانسن احتمال بروز سُکُت عمیق هست ← از اصل سُکُت  
درون جواب ها گاز یک سُکُت درون مایع رخ می دهد.

راه حل ۱ ← عایق مایع باید تحت خلا نزدیک شود.  
۲ ← یعنی ناخالصی جهت آزاد کردن جواب ها  
تئوری ذرات ناخالصی

ناخالصی ها درون مایع تحت تأثیر میدان الکتریکی تغییر وضعیت داده و ممکن است  
یک پل ارتباطی بین دو الکترود در امتداد خطوط میدان ایجاد شود. احتمال وقوع  
سُکُت در مسیر ایجاد شده درون مایع است.

راه حل ۱ مجبور دادن مایع از صافی به مثلاً تقطیری فیزیکی و شیمیایی و روغن  
تدانش ← سرکولاسیون به از بین بردن جواب ها گاز، رطوبت و ناخالصی و اثرات



۴۸ روغن

۲. تدانسی حایل

سلسلہ الکتریکی درجہ ہما :

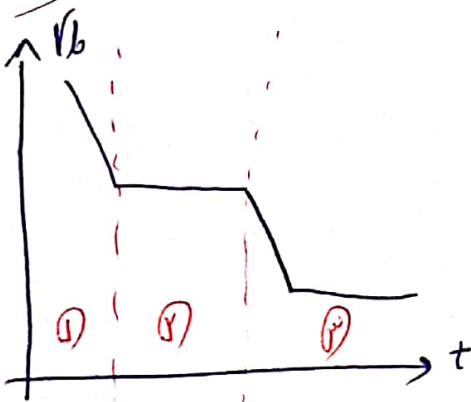
خاصہ ہو لکول ہا خلی کم — قانون پائش

جواب کار سٹار درون جامد ندریم — شعری جواب ہا کار

جانبائی ناخالصی در عایت جامد ندریم — شعری خرابت ناخالصی

✓ اللو سلسلہ در جامد ہما :

ہمہ ی جامد ہما تقریباً اللو سلسلہ ثابت ہوا بق شکل روبرو دارند :



نامہ اول : عامل الکتریکی

سلسلہ در مقابل و لکڑ ہا بادا ہند بزرگ در مدت زمان کوتاہ و یونینہ کردن ہو لکول ہما صورت مستقیم تحت شد میدان بیار زیاد

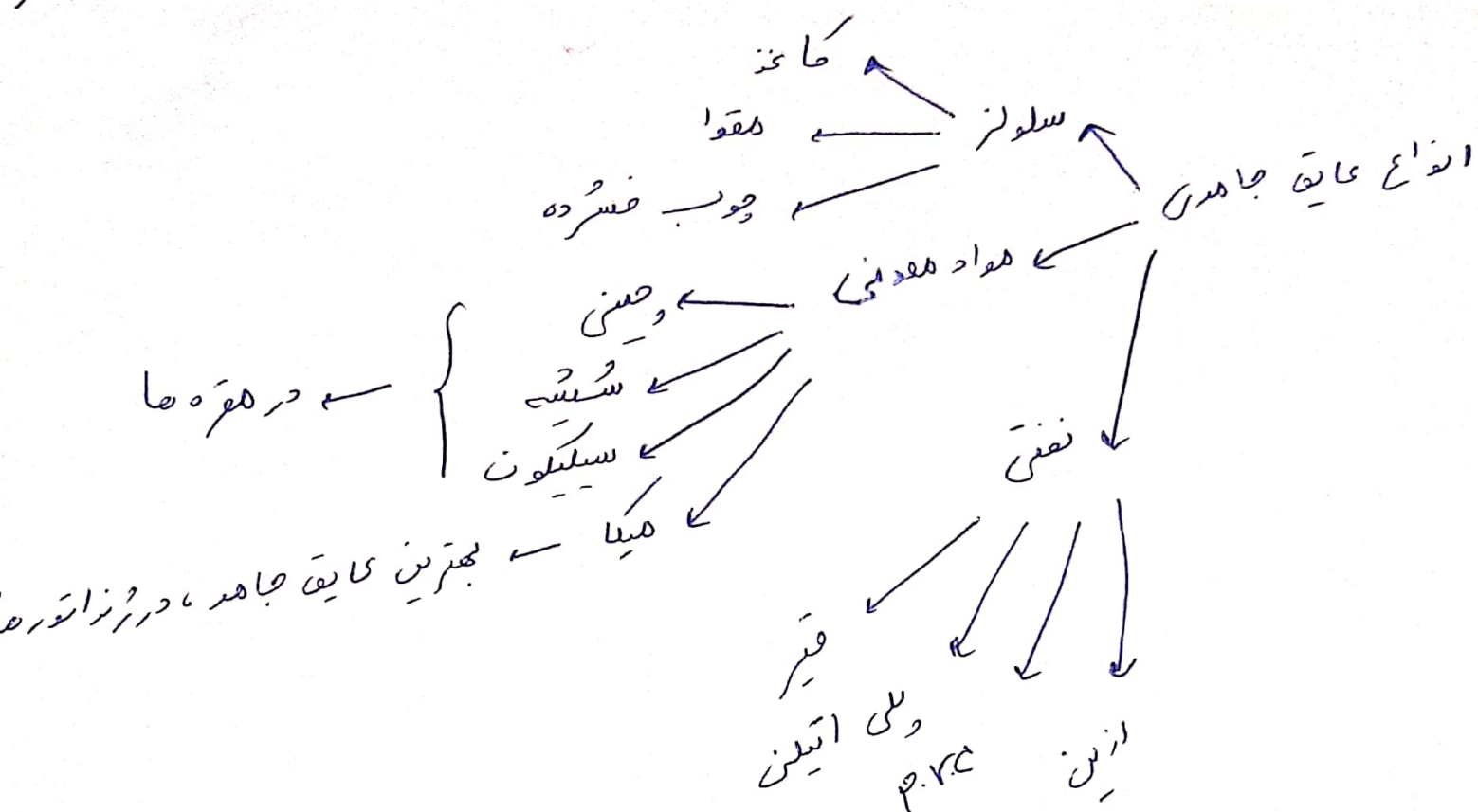
نامہ دوم : عامل حرارتی

سلسلہ در مقابل و لکڑ ہا ہندو در زمان ہندو باء رسانائی کم عایت سے جریان کم سے تلفات سے افزائے ہما سے از ہم گسیختگی ہو لکول ہما سے امکان یونیزاسیون ہا شد روزنامہ جلوں آفتاب

نامہ سوم : عامل تخریب

سلسلہ در مقابل و لکڑ کم طی زمان طولانی ، بہ علت ناخالصی و ذرہ یتر در رطوبت تجزیہ جزئی ایجاد می شود سے رشد کن در پودہ ی ترشک ، سے تقویت سے سلسلہ کامل

ترشک یا درختی شدن





مرد و برق، ملک اکثریت است که در میان هوا رخ می دهد.

دلیل ایجاد صانع ← شکل مختلف ارباب ← بادیا مختلف شکل ارباب را به وجود می آورند

اگر در انداد ارتقا کس می یابند

ابر بار کو دلوں سے ذرات آبِ رحمت ہمارے یمنیج بہ صورتِ نثار و درخت ہمارے بالائے صورتِ ذرات  
حاجہ رخ ہستند

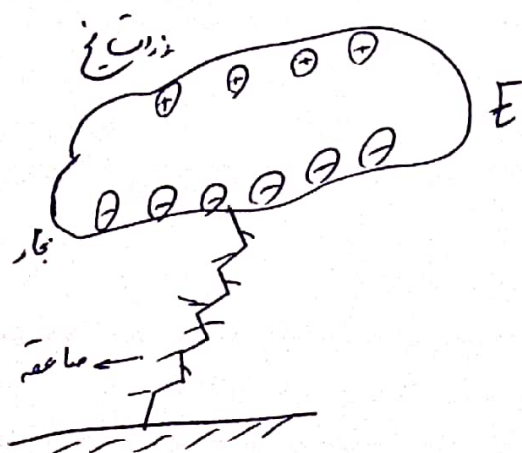
باصبر بار و زس باد مقداری از بخار را به تدریج می روند به دراز تاس بخار و بخ یونیزاسیون اتفاق می افتد  
بار بار - در یک هسته ابر و بار بار + در قسمت دیگر ابر جمع می شوند . بار و زس باد بار را بیشتر می شود =  
= شدت میدان الکتریکی بیشتر می شود

① اگرچہ ہمیت ← بہ علتِ حُجالی محض تودہ آ رہوا اسقامتِ عالمی شفیق است

(۲) بعضی سمت نام از این دو نیز به سمت میدان میر

①، ② ← نکتہ اتفاق فی ائمہ

یک سیرتکت هم بنیچ یا نامار موجود در زمین و ابر به وجود می آید . در مرحله ی اول بار ابر به زمین منتقل می شود و در مرحله ی دوم نیز سیرتکت از زمین سیر اتفاق می افتد



بنیخ ابر و ابر - فاصله می کمتر - رعد و برق قوی تر

۹۱۹



انواع صاعقه }  
 صاعقه منفی بنیخ ابر و زمین -  $e$  از ابر به زمین منتقل می شود  
 صاعقه مثبت بنیخ ابر و زمین -  $e$  از زمین به ابر منتقل می شود

مشخصات صاعقه که کاملاً احتمالی است.  
 سرعت و جهت باد  
 حجم ابر  
 مشخصات هوای اطراف ابر  
 $\frac{di}{dt}$  ،  $\int i dt$  ،  $\int i^2 dt$   
 شکل موج جریان صاعقه

-  $i$  صاعقه

در کمتر از یک در صد مواقع مقدار پیک صاعقه حدود  $200 kA$  است

در بیشتر از ۹۹ مواقع مقدار پیک صاعقه حدود  $10 kA$  است.

برخورد مستقیم صاعقه به یک تجهیز برقی باعث جاری شدن جریان شدید خواهد گشت و شکلات وارنر و کاشنر.

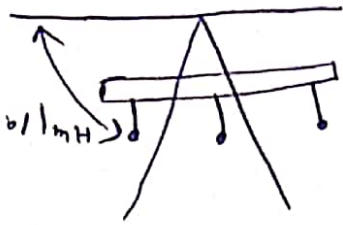
راه حل: استفاده از سیم گارد (سیم ارت)، سیم بار نشانه و سن که به دکل وصل است، در بالا آبریز

سطح نصب می شود و مانع از برخورد صاعقه به نمازگاه سوره و باران را پس از برخورد صاعقه به سیم ارت به جاده ارت منتقل می کند.

-  $\frac{di}{dt}$  صاعقه:

۱٪ مواقع  $200 kA/\mu s$

۹۹٪ مواقع  $10 kA/\mu s$



طبقاً رابطه‌ی  $m \frac{di}{dt}$  بین ارت و فاز و ولتاژ القا می‌شود.

$$V = m \frac{di}{dt} = 0.1 \times 10^{-3} \times \frac{4 \times 10^3}{10^{-4}} = 400 \text{ kV}$$

سیم ارت برابر جریانی از برخورد مستقیم به‌ماز بود اما با این ولتاژ القایی این بار آسیب عایقی را ایجاد می‌کند (علامه بر جاردن و کاسیل)

-  $\int i dt$  = ممانعت = بار  
مقدار باری که از ابر به زمین یا برعکس منتقل می‌شود { برای مواقع  $\leftarrow 400^\circ \text{C}$   
99٪ مواقع  $\leftarrow 12^\circ \text{C}$

-  $\int i^2 dt$  = ممانعت = انرژی که تلف می‌شود

99٪ مواقع  $\leftarrow 10^7 \text{ A}^2 \text{ s}$

99٪ مواقع  $\leftarrow 10^3 \text{ A}^2 \text{ s}$

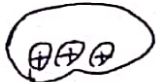
این انرژی را سیم ارت یا برقیه باید تحمل کند  
- شکل موج جریان ممانعت  $\leftarrow$  مدت زمان ممانعت مثبت = 1400 ms  
مدت زمان ممانعت منفی = 140 ms

مدت زمان ممانعتی مثبت و ۱ برابر ممانعتی منفی است. اگر ممانعت ۱، ممانعتی منفی هستند.

۱. برخورد مستقیم  $\leftarrow$  آسیب جاردن  
 $\leftarrow$  آسیب کاسیل

۲. برخورد با سیم ارت  $\leftarrow$  آسیب عایقی

۳. روی خط انتقال القا می‌شود بعد از زمین ابر  $\ominus$  می‌زنند و جفت کنند و ممانعت ولتاژ ایجاد کنند  $\leftarrow$  آسیب عایقی



AAA

## فصل دوم

### محاسبه میدان‌ها الکتریکی

- یکی از عوامل سلف الکتریکی، رُسکت، هم دیده بانه

$$E = kq/r^2$$

۱- با استفاده از روابط میدان

$$\int E \cdot dl = V$$

$$\oint E \cdot ds = Q/\epsilon$$

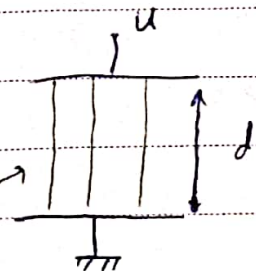
$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

محاسبه میدان‌ها الکتریکی

۲- با استفاده از مفهوم بارها مجازی

۳- با استفاده از روش‌ها عددی

روش‌های ازل روش‌ها:



مثال: در الکترود صاف ازل تا  $\infty$ :

سخت میدان الکتریکی جلوه است!

همه باید از اینکوانت و عمود بر الکترودها است.



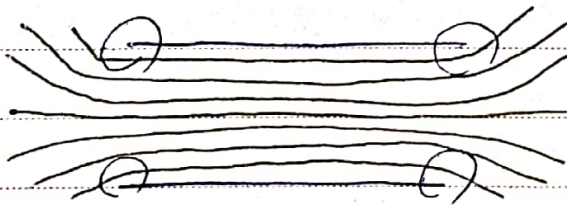
رشد میدان همجای است :

$$\int E \cdot dl = E d = u \Rightarrow E = \frac{u}{d} \leftarrow \begin{array}{l} \text{اختلاف پتانسیل} \\ \text{فاصله} \end{array}$$

عایق همجای با آن بر رشد میدان تأثیر نمی گذارد.  
عایق با تحلیف فقط ضریب دی الکتریکشان فرق می کند.

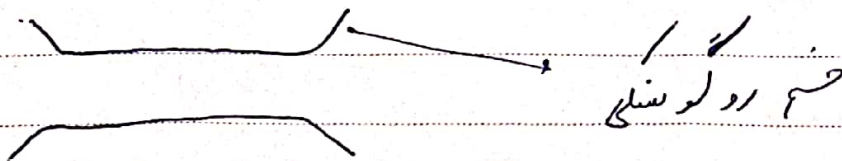
۱- تا زمانی که بین ۲ الکترود فقط یک نوع ماده عایقی وجود داشته باشد رشد میدان به ضریب دی الکتریک وابسته نیست.  
اما اگر ۲ ماده ی عایقی باشد وابسته خواهد بود.

۲- در عمل ابعاد صفحات محدود است و این صفحات محدود لبه دارند که نسبت به صفحات عایقی است و رشد میدان الکتریکی در آنجا شدیدتر است.  
خطوط هم پتانسیل وقتی به لبه های رساننده می رسند.

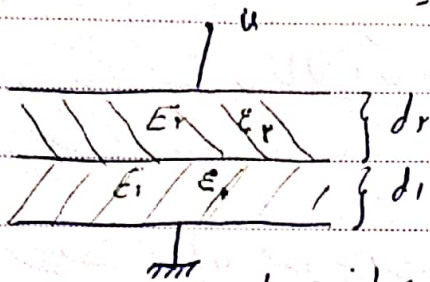


در این نقاط پتانسیل بیشتر به فضاها  
وادی می شود.

آخر میخواهیم تنی را هم جابجایی کنیم : این رشد میدان در جاهایی که تفاوت است از رشد میدان غالب گفته باشند ۱۰٪  
فاصله ی لبه ها را با هم دادن بیشتر می کنند. فاصله نزدیک هاستینز بیشتر می شود.  
مقدار هم دادن را طوری تنظیم می کنیم که رشد میدان در لبه ها از رشد میدان غالب کمتر باشد.



مسئله: اگر دو ماده با هم در یک ظرف قرار دهند و یک پتانسیل را اعمال کنند، پتانسیل هر یک از آنها را پیدا کنید.



$$\begin{aligned} \int E \cdot dL &= \int E_1 \cdot dL + \int E_2 \cdot dL \\ &= E_1 \int dL + E_2 \int dL = \\ &= E_1 d_1 + E_2 d_2 = U \end{aligned}$$

پتانسیل هر یک از آنها را پیدا کنید.

شرط همبستگی، اعمال می کنیم.

حالا میدان بر هر یک از صفحات و ولت ها را پیدا می کنیم و پتانسیل هر یک از آنها را پیدا می کنیم.

$$0 = E_1 d_1 = E_2 d_2$$

شرط همبستگی

$$D_{n1} = D_{n2} \Rightarrow \epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2$$

از ۲ معادله:

$$E_1 = \frac{\epsilon_2 U}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}$$

$$E_2 = \frac{\epsilon_1 U}{\epsilon_1 d_2 + \epsilon_2 d_1}$$

۱- مقدار پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

۲- پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

$$E_1 = E_2 A \quad E_2 = E_1 A$$

۳- اگر یکی از صفحات را با ولت ۱ (E1=1) و دیگری را با ولت ۲ (E2=2) قرار دهیم. پتانسیل هر یک از آنها را پیدا می کنیم.

پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

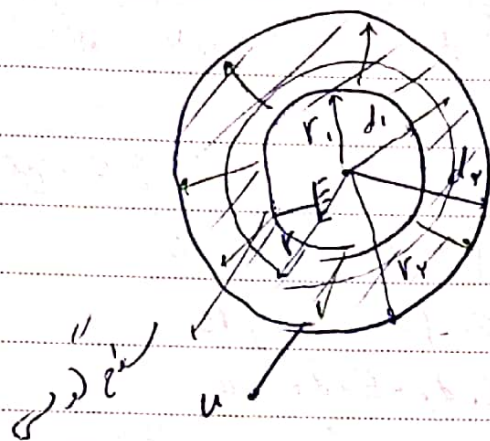
پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.

پتانسیل هر یک از صفحات را پیدا می کنیم و رابطه آن را پیدا می کنیم.



$$u = \int E \cdot dl$$

صفحه :



مثال: شدت میدان : ۱

قانون گوس : فقط در حالتی که تقارن داریم  
می توان استفاده کرد.

همه جا شدت میدان عمود بر گوسی است.

در قائمه ها شدت میدان و است.

در قائمه ها استوانه

L : طول استوانه

$$\int E \cdot ds = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\oint E \cdot ds = E(r) \cdot 2\pi r \cdot L = \frac{Q}{\epsilon r \epsilon} = \frac{\rho \cdot L}{\epsilon r \epsilon} \Rightarrow E(r) = \frac{\rho}{2\pi \epsilon \cdot \epsilon \cdot r} \quad (1)$$

شدت میدان : خیلی بار داشته است و هر انجا داریم.

$$u = \int_{r_1}^{r_2} E \cdot dr = \frac{\rho}{2\pi \epsilon r \epsilon} \int \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi \epsilon r \epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} \Rightarrow$$

$$\rho = \frac{u \cdot 2\pi \epsilon r \epsilon}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2)$$

$$E(r) = \frac{u}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

(۱) و (۲)

بای که یک نوع ماده ای ثابتی داریم شدت میدان هیچ وابسته به فرکانس

دی انتریک ندارند.

در مقایسه با آنتروپها صفت دی شدت میدان در همه جا یکنواخت است.

توزیع میدان به غیر یکنواخت

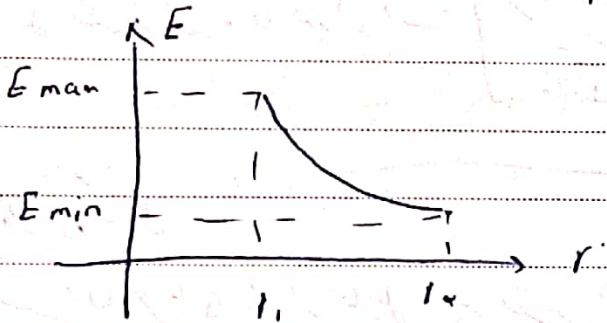
توزیع غیر یکنواخت به تمام وابسته است.

بزرگترین شدت میدان در سامان استوانه‌ای داخلی  $E_{max}$

کمترین شدت میدان در سامان استوانه‌ای خارجی  $E_{min}$

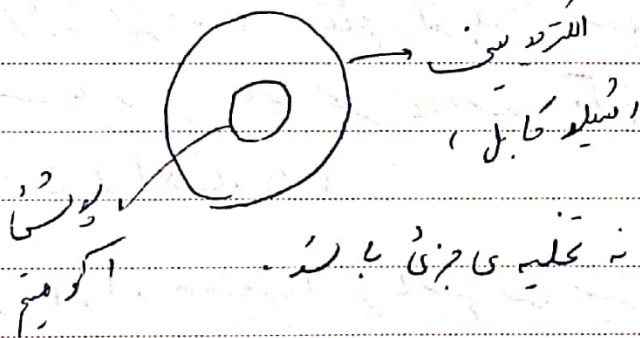
$$E_{max} = E(r_1) = \frac{u}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$E_{min} = E(r_2) = \frac{u}{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$



معنی با داشتن بیشترین و کمترین شدت میدان

این ساختار به ساختار کابل



در فضا هم این کابل را طراحی کنیم

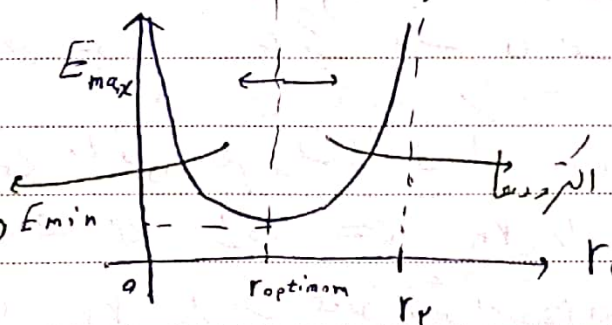
باید باید طوری باشد که نه شدت بیش از حدی باشد

\* باید مایع را انتخاب کنیم که تحملش از  $E_{max}$  بیشتر باشد

فرق کنیم حد  $r_2$  ثابت باشد. بسته به تغییرات  $r_1$  (۰-۲۲) که حد  $E_{max}$  چگونه تغییر خواهد کرد!

$$r_2 = \text{fix}$$

$$0 < r_1 < r_2$$



الترود سف  
در فضا هم این کابل را طراحی کنیم

کابل فاصله الترودها

با استفاده از روش‌های دیگر یا نرم افزار می‌توانیم این را پیدا کنیم



در اطراف  $Y_{optimum}$  رتبه میدان انرژی می تواند افزایش یابد.

با کم و زیاد کردن  $Y$  از  $Y_{optimum}$ ،  $E_{max}$  بیشتر می شود.

$Y$  مایل به تعیین کننده ی میدان است  $\left\{ \begin{array}{l} \text{بیشتر انرژی در دسترس} \\ \text{فاصله} \end{array} \right.$  کمتر از  $Y_{optimum}$  بیشتر از  $Y_{optimum}$

\* در طایه قابل :

میزان جریان  $Y$  از قابل حد قدرت بار  $\rightarrow$  سطح معقول می باشد  $\rightarrow$  سطح مورد نیاز حد قدرت بار  $\rightarrow$

برای آن کمتر  $\rightarrow$  سطح کوچکتر  $\rightarrow$  به از آن سطح که  $E_{max}$  بیشتر است  $(Y_n)$   $\rightarrow$  باید از عایق بجزی استفاده کنیم  $\rightarrow$  گران قیمت تر راه حل را اعتقاد می

از  $Y$ ،  $Y_{optimum}$  بر مبنای حد قدرت مورد نیاز است. در مابقی است  $\rightarrow$

① سطح داخل را در همان سطح کمی که مورد نیاز است قرار می دهیم. در آن سطح تا سطح  $Y_{optimum}$  از یک عایق مناسب برای ایزان صوت به عنوان پرکننده استفاده می کنیم. بعد از  $Y_{optimum}$  یک نوار صی با تراشیدنی پیوسته. باید لایه ها و عایق های را به

این لایه را با صی داخل هم وصل می کنند که در مابقی عایق پرکننده  $\rightarrow$   $Y_n$  را به  $Y_{optimum}$  رساندیم. بعد از  $Y_{optimum}$   $Y_2$  از یک عایق و پیر استفاده می کنیم. در این عایق حفره ها می زنیم.



شمار کم به ردت میدان سیر

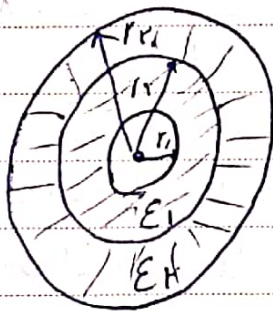
درستی و سیر در رست ها

ساح مقطع متغالی و سازیر به جای قابل نفوذ از یک لوله استقامت و کیم  
در سیردن چون ردت میدان نموده از سیر بهایقا ارزان قیمت استقامت  
و کیم

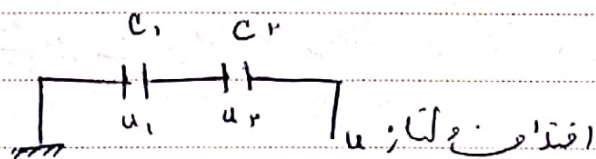


در طراح قابل ۲۲ همواره ثابت است .

۲ الکترون استوانه اشک . پس ۲ استوانه از ۲ اندک مایه مختلف



علاقه با



حل : قانون کولم  
۲ خازن

این افتاد ولتاژ (u) بین ۲ خازن تقسیم می شود و u1, u2 به دست آوردن توزیع میدان  
راست تر است .

$$E_1 = \frac{u_1}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$E_2 = \frac{u_2}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

باید معادله u1 و u2 را به دست آوریم :

$$u_1 = \frac{u \times C_2}{C_1 + C_2}, \quad u_2 = \frac{u \times C_1}{C_1 + C_2}$$



$$q = C \cdot \rho = \rho \cdot \frac{dV}{dt}$$

Subject,

Year. Month. Date. ( )

دانشجویان محترم! لطفاً در زمان مشخص شده، باید ظرفیت فاران (در) را بدست آوریم. رابطه‌ای ظرفیت فارانی وقتی الکترودها استوار باشند:

$$p = \frac{u \cdot r_2 \cdot \epsilon \cdot r}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \Rightarrow \text{ظرفیت رابطه (در) / ظرفیت فارانی} \quad q = p \cdot l = \frac{u \cdot r_2 \cdot \epsilon \cdot r \cdot l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$C = \frac{r_2 \cdot \epsilon \cdot r \cdot l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_1 = \frac{r_2 \cdot \epsilon_1 \cdot l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \\ C_2 = \frac{r_2 \cdot \epsilon_2 \cdot l}{\ln \frac{r_2}{r_2}} \end{array} \right. \Rightarrow \text{در رابطه } C_1, C_2 \text{ به دست می آید}$$

$$u_1 = u_2 \Rightarrow \frac{\epsilon_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{\epsilon_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = u_2 \cdot \frac{\epsilon_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{\epsilon_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$u_2 = u_1 \cdot \frac{\epsilon_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{\epsilon_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$E_1 = \frac{\epsilon_2 \cdot u}{r \cdot (\epsilon_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + \epsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1})} \quad E_2 = \frac{\epsilon_1}{r} \cdot A$$

نکته: در مثال قبل وقتی یک ماده عایقی داریم، در آن صورت میدان به ضریب دی الکتریک وابسته است و می توان گفت وابسته است.

نکته: رابطه  $E$  در میان دو رسانای همگن که شعاع به  $r_1$  و  $r_2$  است. از طریق شعاع به  $r_1$  و  $r_2$  با  $E_2$  به دست می آید. در این صورت رابطه می توان نوشت که  $E_1$  و  $E_2$  در رابطه قرار می گیرند. وقتی  $E$  ماده عایقی تلفظ ترکیب می شود در ضریب دی الکتریک که کمتر در آن میدان می آید.

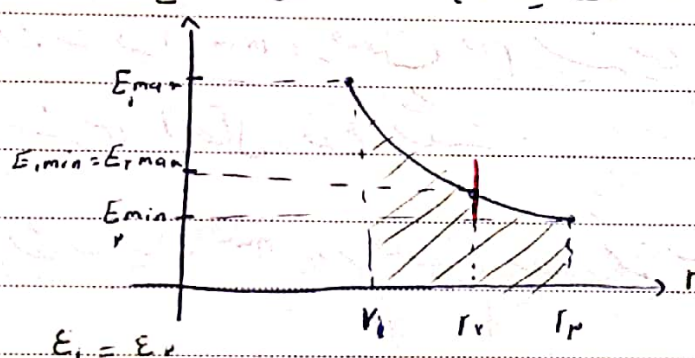
فندی دی الکتریک ↑ ولتاژ الکتریکی

۲ هالیان نیستند.

سطح بزرگتر است شد میدان کمتر  
شدت میدان در ناحیه ۱ به فندی دی الکتریک ناحیه ۲ وابسته است و برعکس.  
فندی دی الکتریک کوچکتر شدت میدان بزرگتر  
استقامت عایقی کمتر است سلبت محتمل تر

بر توزیع میدان بر حسب ۲ بین سطح ۲ تا ۱ و ۲ تا ۲ را رسم می کنیم:

فرض می کنیم فندی دی الکتریک بیان است - فندی یک نوع ماده عایقی ۱



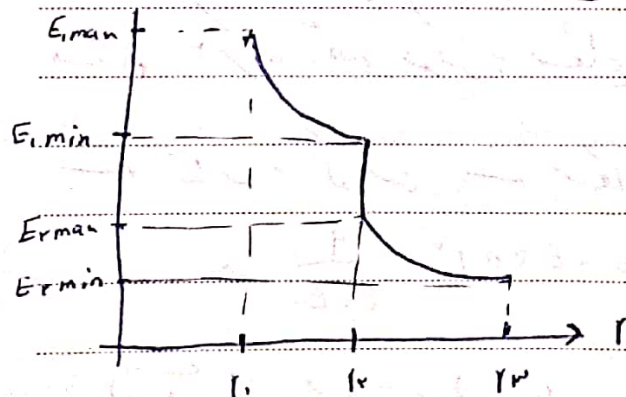
$$\int E \cdot dr = \text{حاصل زیر صحت}$$

$$u = \int E \cdot dr \quad \text{اختلاف ولتاژ در الکتریک}$$

رسم صحت زمانی که  $E_1 < E_2$  است فندی دی الکتریک ماده ی نزدیک به سطح عایقی  
جایی

این دو صحت در شرایط توزیع ولتاژ بیان اند =، اشترال زیر سطوح با هم برابر است.

حالتی است که صحت اول را در نقطه ۲ می بینیم. و صحت اول را می بینیم =،  
صحت دوم باید پایین تر بود تا سطح زیر صحت ثابت بماند.



صحت از طریق روابط مرتبه قابل تعمیم است.

شدت میدان در ناحیه اول بیشتر است

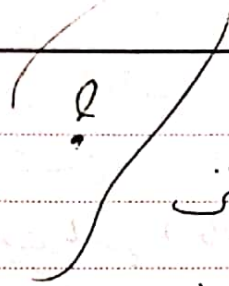
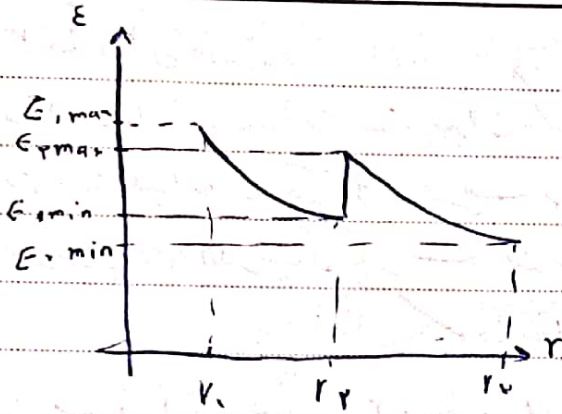
که میگویند

$$E_1 < E_2$$



Subject,

Year. Month. Date. ( )



$$E_1 > E_2$$

حیران ۱۱ و ۱۲ در این روش صحت

بیشتر به مقدار E و r دارد.

سطح زیر صحن همواره ثابت است.

مقدار  $E_1, E_2, r_1, r_2, r_3$  مؤثر است.

شدت میدان  $E_{max}$  در صحن دوم بیشترین است - بیشترین شدت

بیشترین احتمال وقوع شدت.

شدت میدان  $E_{max}$  در صحن دوم کمترین است - کمترین احتمال وقوع شدت

$E_1 > E_2$  - بیشترین اسفالت عایقی دور حاد عایقی، ایا یک صحنه عایقی جامد

یوئانه ۱۰

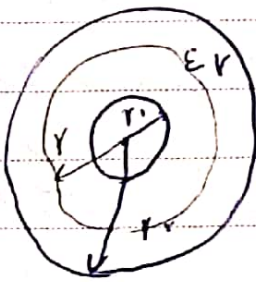
دلیل ریاضی: حاد، باد ضدیب دی الکتریک بزرگتر شدت به معنی دارد -

شدت کمتری شود - اسفالت عایقی بیشترین شدت

$E_1 < E_2$  - کمترین اسفالت عایقی - مؤثر است حاد کن

مثال: ۲ مرکز هم مرکز به شعاع  $r_1$  و  $r_2$  - از یک حاد عایقی پر شده.

به قانون کولم - شعاع  $r$



$$\oint E \cdot ds = E \oint ds = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0} \Rightarrow$$

$$E = \frac{q}{4\pi \epsilon_r \epsilon_0 r^2} \rightarrow \text{ابتدا بیشترین شدت میدان را در } r_1$$

البتة بيني ردت میدان و ولتا :

$$u = \int_{r_1}^{r_2} E \cdot dr = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \Rightarrow q = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon u}{\left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}$$

$$E = \frac{u}{r^2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}$$

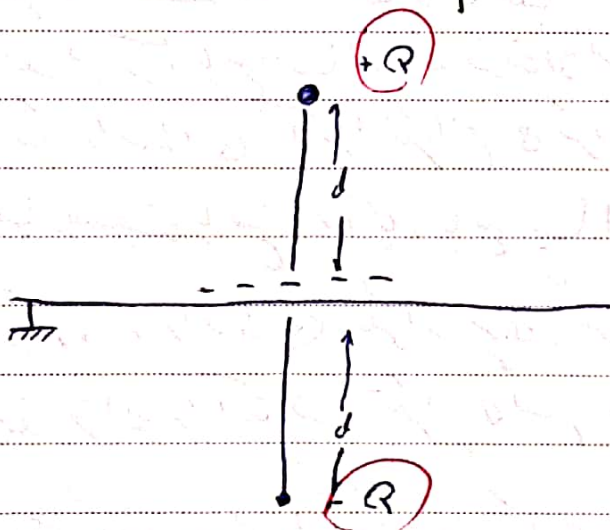
فدرب و القرب تارید ندارد.

ردت میدان در الکترودها کرده از  $\left( \frac{1}{r_2} \right)$  تبعیت می کند.

سبب نهم سبب ردت میدان الکتریکی نسبت به استوانه بایب سبب ماکفا سبب می کند.

ردت میدان استوانه  $\frac{1}{r}$

دسته دوم روش ها: استفاده از مفهوم بارها مجاز به روشی مقدر



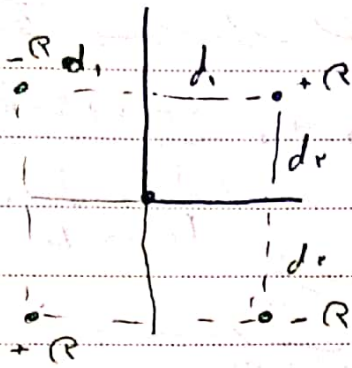
بار  $Q$  - ها در صفحه قرار می گیرد. بارها صحنی و مرتب ترین نامیده از  $Q$  به سبب جایی را دارد و با عدد تر شدن جایی  $Q$  کم می شود.

ردت میدان نامی از بار  $+Q$  و  $-Q$  در صفحه است.

از بارها صحنی را با بار  $-Q$  مدل

می کنیم. درست در همان نامیده از صحنه به حال دیگر نیاز نیست جایی  $Q$  را بایستیم. حال ۲ بار فقط ای داریم با اختلاف صحنی.





۱۹. در فاصله  $d_1$  و  $d_2$  از صفات مغزی

دو بار  $R_1$  - مجاز در فشار را بگیریم با همان

فاصله.

بر اساس مقادیر بارها به هم نخورد یک بار

۲۰. هم در فشار را بگیریم به  $d_1$  بار فضا ای

با اختلاف معلوم به مدت میدان به دست می آید.

**دسته سوم، دومی ها:** استفاده از روش ها محدود محاسبه میدان الکتریکی

با دادن این روش ها، روش دوم حل می شود.

- این روش ها با روش های هفتده مختلف به تکرار  
پایین ها مختلف را اطمینان می کنند.

- همیشه بر اساس مثال یک فرم اولیه داریم. اگر این فرم با یک مثال بنویسد  
باید رابطه ای که از اصلاح می کردیم به رابطه تکرار

معیار سنجش با سنج را که با یک مثال داریم یا نه! به اگر با سنج بنویسد  
دوباره به رابطه تکرار بر می گردیم.

این فرایند را آنقدر تکرار کنیم تا معیار سنجش با سنجان ارفا شود.

گزینه این روش ها به گزینش ما میوه تر ما دایره است.

معیار سنجش با سنج → رابطه تکرار → فرم اولیه

دسته اول دوم منتهی شده اند اما جایی که دست به نرم افزار ما محاسبه  
میدان نداریم سریع تر به جواب می رسند.

۱۰۸۔ مقام احمدیہ سے سابقہ رکھنا دوسرے

تَوْنِجِ سِدَرَانِ الْكَلْبِيَّيْ  
 تَوْنِجِ بِيَمِ بَتَانِيَه  
 رِبَا فَنِي  
 رِبَا اسْتَفَادَه اَز رَدِ مَلَكُوتِ

=، محصلان، در این روش، بتأثیر تفاوت مختلف است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۰۰۱ نفاذی محمد

تحت محاسن عبدان التريخ و الحفا و بعدى .

خرفه اولیہ - راجہ کی تفریح - عوام، صنعتی یا مسیح

لہذا نفاذ کے گرا دیں ہے صدان

امامی تکرار دسی سافلی محمد

فتح نقه، اور ستره لیریم

مسار نظام:  $v_0, v_1, v_r, v_r, v_r$



Subject.

Year. Month. Date. ( )

$$V_0 = V(x_0, y_0)$$

 $V =$ 

تابع پتانسیل نقاط مختلف

$$V_1 = V(x_1, y_1) = V(x_0 + h, y_0)$$

$$V_2 = V(x_2, y_2) = V(x_0 - h, y_0)$$

$$V_3 = V(x_3, y_3) = V(x_0, y_0 + h)$$

$$V_4 = V(x_4, y_4) = V(x_0, y_0 - h)$$

نقاط ۱، ۲، ۳، ۴ همسایه ۰ به این ترتیب

$$V(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) = V(x_0, y_0) + \frac{\partial V}{\partial x} \bigg|_{(x_0, y_0)} \Delta x + \frac{\partial V}{\partial y} \bigg|_{(x_0, y_0)} \Delta y$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \bigg|_{(x_0, y_0)} \Delta x^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \bigg|_{(x_0, y_0)} \Delta y^2 + \dots$$

هر چه مقدار  $h$  کوچکتر باشد خطا به این ترتیب کمترمی شود و لذا نقاط ۱، ۲، ۳، ۴ را بر روی  $V_0$  باز نویسی کنیم

$$V_1 = V_0 + h \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$$

همه مشتقات در نقطه  $(x_0, y_0)$  هستند

$$V_2 = V_0 - h \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$$

$$V_3 = V_0 + h \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$$

$$V_4 = V_0 - h \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{1}{2} h^2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$$

بر اساس این روابط:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 4V_0 + h^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + h^2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$$

$$= 4V_0 + h^2 \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) = 4V_0$$

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = V_0$$

میانگین تفاوت برابر دلتا از نقطه ها میان است.

این رابطه همان رابطه تکرار است.

مثال:

۳۱ الکتروده

رسانا به هم رسانا  
فاصله بین الکترودها از یک  
نوع ماده ها به یکدیگر بسته

تفاوت در سطح درخت کوه

این فشار انقباضی کنیم به درجه ها که یک

هر چه ابعاد درجه ها که کمتر — جواب دقیق تر در زمان طولانی تر

① محاسبه دلتا تفاوت ها

دلتا فرضی محاسبه می کنیم.

همه درجه ها که در الکترودها هستند دلتا هم اندازه آن الکترودها را می گیرند.  
محدودیتی در انتخاب فرضی از این داریم. اما هر چه این فرضی به نقطه جواب نزدیک  
تر باشد از درجه جواب می ریم.

در تفاوت درجه ها میان فرضی — ضمیمه هم بتایلی می کنیم

دلتا هر نقطه را برابر با میانگین ۴ نقطه ای اطرافش اعلام می کنیم:

این نقطه ها را با یک  
نقطه به هم وصل می کنیم  
و درجه می گیریم.

$$\frac{40 + 30 + 39 + 50}{4} = 39.75$$

به نقطه ها کنار یک یک به افتخار الکترودها می ریم. هر چه دلتا ها را اعلام می کنیم

در این جهت



همه ساقها را بای که می زنیم حیثشان را محاسبه کنیم باید داخل یک عرض و آیرین اولی را در  
 محاسبه کرد. - ۳۳ فقط از عرض را ضرایب داشته باشیم.  
 - در عرض یا باید و لازم باشد یا یک و لازم شود ثابت.  
 - مابقی ۳ تا می زنیم.  
 - فقط در ساقها ۲ بقای این در اسبوار داریم.

اساتذہ کرام! محاسبہ حیدرآباد کا امروز، اردو الہان محمد داس۔

www.QuickField.com

فدیم انوارها کا پردہ :

سادہ و بدرد بخور

→ in a trans f

...★★★

ادرسى الممان محمد بن الحجاب في ان، وما، فيمد ويا... ازيب اعل السماء في لند.

تذریع میدان در مصارف به شکلی انجام می شود که مقدار ارزشی که در آن ساخته  
و استفاده آن به آن خنثی می شود کمترین بار به باید ترس.

مقدار انرژی به  $E$  وابسته است.

ابتداءً من هنا، عوداً من الله، إلى هنا، قناعاً لقلب، به نام علی تقی بن عبد الله

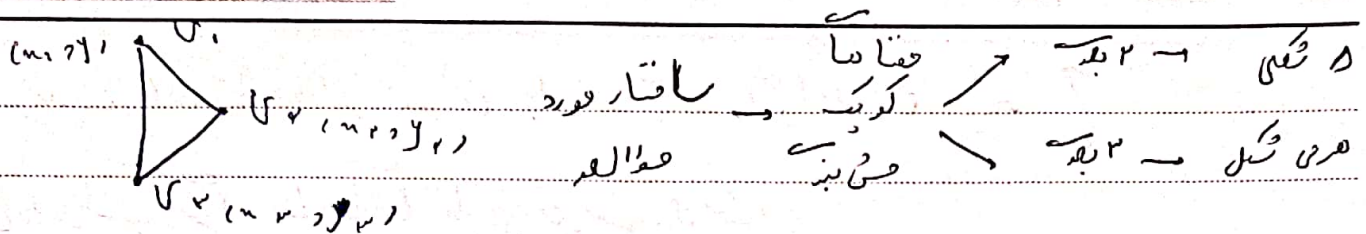
سائنس ۲ بجہ ی ————— عیٰ ہا علیٰ سکل

۳ - - - - - ۴ - - - - -

ہم سے ملے گا، ریزندہ سے وقت پاس ہو جائے۔

- در این روش نسبت ابتدا و لذا مقادیر دقیق می گنیم.

بہ اخص بندہ سے بہت دامن دلکاری اور ایسے دلخواہ بہ اخص سے



فرق توزیع ولتاژ تقاضا در داخل هر ضلع خطی است. سه رابطه بین  $x$  و  $y$  ضلعی هر چه ابعاد ضلع که قطر  $\rightarrow$  خطی فرق گرفته شود گفته

$$V(x, y) = ax + by + c$$

$$V_1 = V(x_1, y_1) = ax_1 + by_1 + c$$

$$V_2 = V(x_2, y_2) = ax_2 + by_2 + c$$

$$V_3 = V(x_3, y_3) = ax_3 + by_3 + c$$

ضرایب  $a$  و  $b$  و  $c$  از این ۳ رابطه  
به دست می آید.

$\Rightarrow$  رابطه ولتاژ بر اساس ضلعی است می آید  $\Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{1}{2} \epsilon E^2 \Rightarrow$  رابطه میدان الکتریکی هر ضلعی با تقیضی شود  $\Rightarrow$

میزان کل انرژی ذخیره شده  $\Rightarrow$  میزان انرژی در هر ضلعی تقیضی شود  $\Rightarrow$   
در ساختار محاسبه می شود.

این رابطه را تا جایی ادامه می دهیم که میزان انرژی به کمترین مقدار برسد.  
- فرق انرژی  $\rightarrow$  ولتاژ انرژی ضلعی

در کد روش را یک  $\epsilon$  گفته یا بیشتر می کنیم تا میزان انرژی  $\min$  شود.  
حاصلیت -  $\rightarrow$  یک  $\epsilon$  کمتر  $\rightarrow$  انرژی کمتر  
حاصلیت +  $\rightarrow$  یک  $\epsilon$  کمتر  $\rightarrow$  انرژی کمتر



ضریب استفاده از میدان مغزیب (کوابلر)  $\eta =$   
این ضریب برای سائفاً ما عایقی تقریبی شود.

$$\eta = \frac{E_{man}}{E_{ave}}$$

۱- برای ۲ الیترود صفحه‌ای شکل  $\eta$  : توزیع میدان یکدست است

$$\eta = \frac{1}{1} = 1$$

۲- برای ۲ الیترود صفحه‌ای با ابعاد محدود:

چون در لبه‌ها میدان قوی‌تر است  $\eta > 1$

۳- برای الیترودها صفحه‌ای با ضخامت کوچک:

$$\eta = 1$$

۴- دو الیترود استوانه‌ای شکل:



$$\eta \geq 1$$

$$\eta = \frac{E_{max}}{E_{ave}} = \frac{\frac{u}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}}{\frac{u}{r_2 - r_1}} = \frac{r_2 - r_1}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

درجه افتاد  $r_1, r_2$  به نسبت  $\eta$  بزرگتر

$\eta$  بزرگتر به نسبت در بعضی جاها قوی‌تر

$$\vec{E} = \frac{1}{r_2 - r_1} \int_{r_1}^{r_2} E dr = \frac{1}{r_2 - r_1} \int_{r_1}^{r_2} \frac{u}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} dr = \frac{u}{r_2 - r_1}$$

$$\frac{1}{r_2 - r_1} \times \frac{u}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \times \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Subject :

Year . Month . Date . ( )

حُسنِ سائرا کا اقتضاد کا سبب .

الح ————— بھینہ تدبیر  
ہر جہ ؟ نزاکت ————— مادہ عایقہ بھینہ کی کتہہ داسہ ————— سبب اقتضاد  
فہرست ————— سبب اقتضاد کا استفادہ کی کتہہ

قانون کولن:  $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$  دو ذره باردار  $q_1, q_2$  که به فاصله  $r$  از یکدیگر قرار گرفته اند به هم نیرو وارد می کنند، اگر بارها هم نام باشند نیرو دافعه بوده و اگر غیر هم نام باشند نیرو جاذبه خواهد بود.

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \epsilon_0 \text{ ضریب نفوذ پذیری الکتریکی (محیط چقدر اجازه عبور میدان الکتریکی را می دهد)}$$

قانون کولن: عملکرد متقابل ذرات الکترونی را نسبت به هم نشان می دهد.

$$E = K \frac{q_1}{r^2}$$

کار الکتریکی - پتانسیل: قابلیت انجام کار می باشد. کار الکتریکی یا مکانیکی  $W = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l}$  حاصل ضرب نیرو در مساحت

پتانسیل: آوردن یک ذره باردار از بی نهایت فیزیکی به نقطه ای که می خواهیم پتانسیل اش را بدست آوریم.

سطوح پتانسیلی: هر کدام از خطوط میدان، سطح پتانسیل دارند - پتانسیل ها به صورت کروی - سطح - خطی هستند.

چگالی شار الکتریکی: پارامتر حیاتی است و یک خط قرمز برای سطح پتانسیل

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

محیط استاندارد برای مسائل الکترونیک خلا است.  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

میدان های الکترو استاتیک:

شدت میدان الکتریکی: میزان نیروی وارده بر بار آزمون در اطراف هادی.

پتانسیل: قابلیت انجام کار در فوتون.

کار الکتریکی:

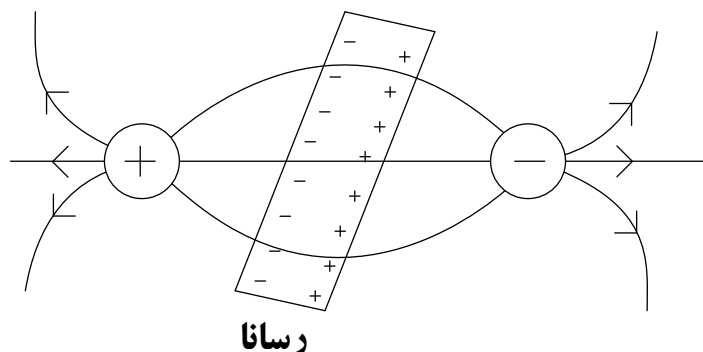
اختلاف پتانسیل الکتریکی: سطوح هم پتانسیل در اطراف بار نقطه ای.



## چگالی شار الکتریکی:

گرادیان: بردار عمود بر سطح را گویند.

پدیده اینفولانس: قرار گرفتن هادی در میدان الکترواستاتیک، اینفولانس نامیده می شود.



عایق: ماده ای است که ذرات الکتریکی مثبت و منفی تشکیل دهنده آن قابلیت حرکت ندارند و یا حرکتشان کند است. به عبارتی ذرات مثبت و منفی نمی خواهد از مدار الکتریکی اتم هایشان جدا شوند و از سطح الکترونی یک اتم به اتم دیگر برمی گردند.

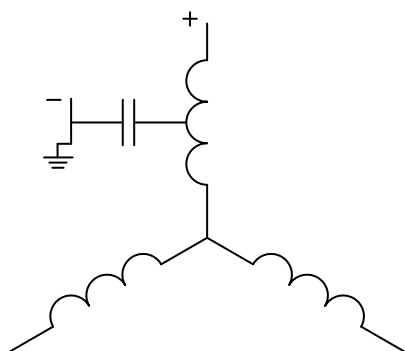
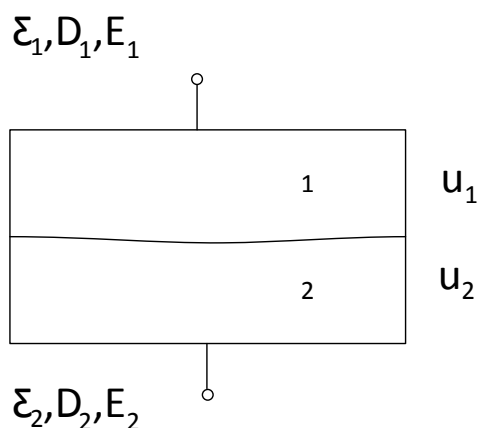
پلاریزاسیون عایق: وقتی عایق در میدان الکتریکی قرار بگیرد اگر شدت میدان اعمالی از سطح تحمل الکتریکی و مغناطیسی عایق بالا رود ذرات را تکان می دهد و باعث می شود جسم عایق ، عایق بودن خود را از دست می دهد.

ابتدا میدانی به اندازه ۱۰۰ به عایق اعمال می شود که باعث می شود جسم عایق حرکت الاستیکی داشته باشد رفته رفته شدت میدان اعمالی را افزایش می دهیم مثلاً ۱۲۰ که باعث می شود ذرات نوسان کامل داشته باشند و در نهایت شدت میدان را به ۱۸۰ می رسانیم که باعث می شود ذرات تکان بخورند در  $E=200$  ذرات الکتریکی داخل عایق حرکت می کنند که برای عایق عیب محسوب می شود در این حالت گفته می شود عایق پلاریزاسیون می شود .

حالت بریکتال عایق : پلاریزاسیون عایق عیب بزرگی برای عایق است. چون خاصیت عایقی ازدست رفته و شروع به هدایت الکتریکی می کند که وقتی ذرات حرکت می کنند به حدی می رسد که اتصال کوتاه ایجاد می کند که در این حالت گفته می شود عایق به حالت بریکتال رسیده است.

مثال مقره بشقابی : وقتی به دکل وصل است، در شرایط عادی کار می کند و پدیده ای ندارد به جز کرونا اما وقتی مثلا باران می بارد کم کم یک خطی روی مقره می افتد و اتصال کوتاه دارد و در اصطلاح می گویند عایق break down کرد.

فصل مشترک دو عایق سطح مشترک آنهاست .



وقتی دو عایق کنار هم قرار می گیرند فضای بین آنها سطح هم پتانسیل می شود چون پتانسیل ذرات الکتریکی مثبت و منفی در فصل مشترک اثر همدیگر را خنثی می کنند و چگالی شار الکتریکی در سطح یا صفحه برای هر دو عایق برابر است .

$$\begin{aligned} D_1 &= \epsilon_0 \epsilon_r \epsilon_1 \\ D_2 &= \epsilon_0 \epsilon_r \epsilon_1 \end{aligned} \quad \{ D_1 = D_2 \quad E = \frac{V}{d}$$

$$\begin{cases} u_1 = E_1 d_1 = \frac{D_1}{\varepsilon_1} d_1 \\ u_2 = E_2 d_2 = \frac{D_2}{\varepsilon_2} d_2 \end{cases} \quad \begin{matrix} D = D_1 = D_2 \\ u = u_1 + u_2 \end{matrix}$$

$$V = D \left( \frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} \right) = D \left( \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} \right)$$

$$u = D \left( \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2 \frac{D_1 d_1}{u_1}} \right) = D v_1 \left( \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2 D_1 d_1} \right)$$

$$D_1 v_1 \left( \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2 D_1 d_1} \right) \quad V = V_1 \left( \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2 d_1} \right)$$

$$V_1 = V \frac{\varepsilon_2 d_1}{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1} \quad \text{ولتاژ عایق اول}$$

$$u = D \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_1 \varepsilon_2} \quad \text{محاسبه ولتاژ عایق دوم}$$

$$D = D_2 \quad \varepsilon_2 = \frac{D_2 d_2}{V_2} \quad \text{برای عایق دوم}$$

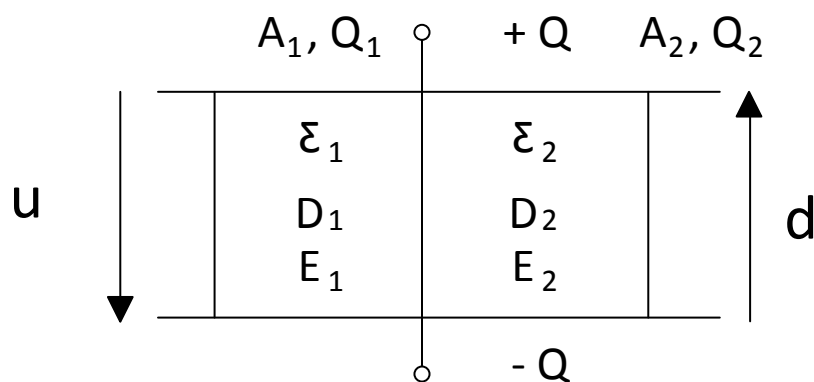
$$V = D \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_1 \frac{D_2 d_2}{V_2}} \quad V = V_2 \frac{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_1 d_2}$$

$$V_2 = V \frac{\varepsilon_1 d_2}{d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1} \quad \text{ولتاژ عایق دوم}$$

خاصیت عایق: مقاومت می کند در مقابل میدان .

در علم فشار قوی بهتر است از کدام ترکیب عایقی استفاده شود. طولی یا عرضی . چرا؟





$$E_1 = E_2 \frac{V}{d}$$

$$\begin{cases} D_1 = \varepsilon_1 E_1 \\ D_2 = \varepsilon_2 E_2 \end{cases} \quad \frac{D_1}{D_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\varepsilon r_1}{\varepsilon r_2}$$

$$D = \frac{Q}{A} \quad \begin{cases} Q_1 = D_1 A_1 \\ Q_2 = D_2 A_2 \end{cases}$$

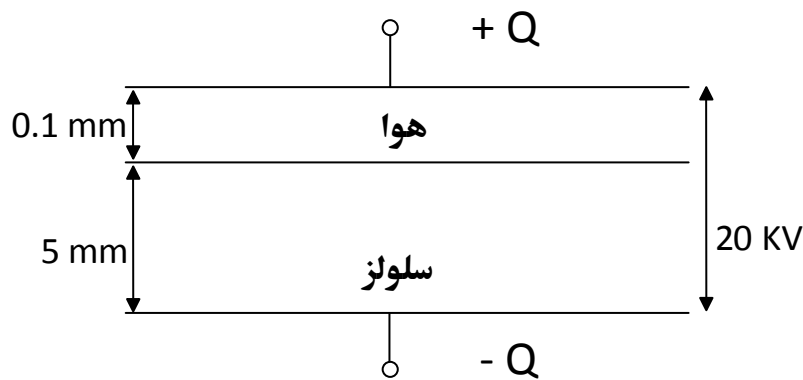
$$\begin{cases} Q_1 = \varepsilon_1 \frac{V}{d} A_1 \\ Q_2 = \varepsilon_2 \frac{V}{d} A_2 \end{cases}$$

نتیجه : روش مناسبی برای ترکیب عایق ها نیست چون محدودیت ساختاری عایقی وجود دارد و قدرت تحمل پتانسیل الکتریکی بستگی به  $\varepsilon_1$  و  $\varepsilon_2$  دارد در واقع عایق ها از یک حد بیشتر نمی توانند پتانسیل الکتریکی تحمل کنند چون ممکن است شکست عایقی پیش آید بنابراین از این نوع ترکیب استفاده نمی شود .

چون خطوط نیرو از  $Q_+$  به سمت  $Q_-$  در جریان است بنابراین شدت میدان در هر عایق با هم برابر است .

مثال: دو عایق بصورت هم پتانسیل ترکیبی با مشخصات ذیل مفروض است :

در صورتی ولتاژ دو سر جوشن خازن شامل ۲۰ کیلو ولت باشد ، شدت میدان الکتریکی موثر هر یک از عایق ها را محاسبه نمایید؟



$$E_2 = 20 \frac{1}{(0.1 \times 4) + (5 \times 1)} = 3.7 \text{ KV/mm} \quad \text{سلولز}$$

$$E_1 = 20 \frac{4}{(0.1 \times 4) + (5 \times 1)} = 14.8 \text{ KV/mm} \quad \text{هوا}$$

مثال : فرض کنید عایقی از جنس رزین اپوکسید همراه با پودر کواترژ که کاربرد صنعتی دارد با فرض  $\epsilon_r = 4$  و  $E=3 \text{ KV/mm}$  برای ترکیب عایقی میزان شدت میدان الکتریکی داخل حفره داخل ترکیب را محاسبه و نتیجه را بیان نمایید؟

$$E_0 = 3 \text{ KV/mm} \quad \text{عایق} \quad E_i = \frac{3 \times 4}{9} \times 3 = 4 \text{ KV/mm} \quad \text{حفره}$$

نتیجه: دی الکترونیک تحت تاثیر میدان بدون واکنش نمی ماند بلکه دو قطبی هایی در همان جهت مرتب می شوند و واکنش می دهند. این واکنش دو قطبی است و اثر هر دو قطبی به صورت بار های الکتریکی هم بار سطحی و هم بار حجمی مشاهده می گردد. این دو توزیع بار در حقیقت در جسم عایق به وجود می آید. زیرا میدان قطبی کننده که در حالت کلی غیر یکنواخت است دو قطبی هایی با گشتاور هایی متفاوت در نقاط مختلف جسم پدید می آورد.

## خواص مواد عایق و اندازه گیری آنها

میزان یا مقدار از این ویژگی‌ها نسبت مواد عایق را بررسی و باهم مقایسه کرد.

## نمونه‌ها

۱- استقامت عایق  $(\nu_b, \nu_c) \rightarrow E_c$

۲- ضریب دی الکتریک  $\epsilon_r$

۳- ضریب تلفات عایق  $\tan \delta$

۴- مقاومت ویژه عایق

۵- اندیس پلازیما

۶- هتروژنی حرارتی مواد عایق

## ۱- استقامت عایق

ج ۱ یا  $\nu_b$  : ولتاژ و اثر دوسریب ماده‌ی عایق اعمال شود، خاصیت عایق از بین می‌رود.

$E_c$  : میدان

هر وقت  $\nu_b$  یا  $E_c$  به عایق بیشتر باشد یعنی دیرتر دچار شکست می‌شود و عایق بهتر است.

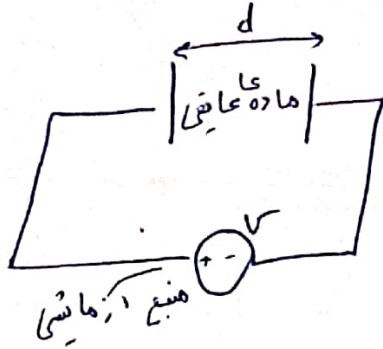
برای اندازه‌گیری ولتاژ  $\nu_b$  ماده‌ی عایق را به یک منبع ولتاژ الکتریکی متصل می‌کنند و دانه‌ی ولتاژ را کم به‌تدریج برند تا ولتاژ شکست را ثبت کنند. چون شکست پدیده‌ی احتمالی است چندین بار این کار را می‌کنند و به صورت میانگین آن را می‌گیرند.



۲۲ / در مورد  $\epsilon_r$  هم چندین بار بحث کردیم و تقسیم بر فاصله می کنیم. و لذا:

در آخر از نتایج میابیم:

میدان  $E = \frac{V}{d}$   
فاصله



در الکترودها صفحه برای اینکه شدت میدان همه جا صاف باشد از الکترودها صفحه ای با هم در یک فضا استفاده می کنیم.



## ۲- ضریب دی الکتریک $\epsilon_r$

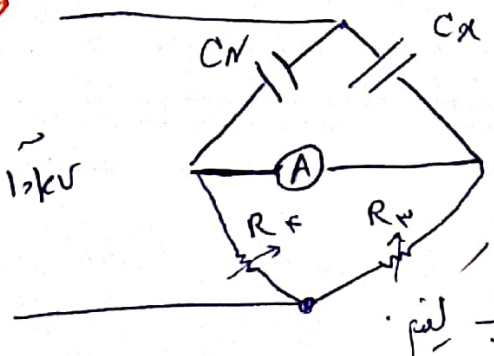
نسبت  $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$   
عایق هوا  $\epsilon_0$   $\epsilon$  ضریب دی الکتریک نسبی

هر چه ضریب دی الکتریک عایق بیشتر باشد یعنی به ازای ولتاژ بزرگتری نیاز دارد تا به یک شدت میدان خاص برسد.

مساحت  $C = \epsilon \frac{A}{d} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$   
ظرفیت خازنی  $d$  فاصله

روش اندازه گیری  $\epsilon_r$  عایق:

استفاده از عایق در یک خازن و اندازه گیری ظرفیت خازن با استفاده از:



دل شریف: منبع ولتاژ تا ۱ کیلوولت

$C_N$ : خازن زمال ظرفیتش با دقت زیادی معلوم است.

$C_x$ : خازنی که می خواهیم ظرفیتش را حساب کنیم.

$R_p$  و  $R_f$  دو مقاومت متغیر

A : ۱ اهمتر

با تغییر دادن  $R_p$  و  $R_f$  ولتاژ تقادلی می‌سازیم. در این صورت جریان عبوری از اهمتر برابر است و حاصل ضرب ضربی اینها از لحاظ هابرا می‌شود:

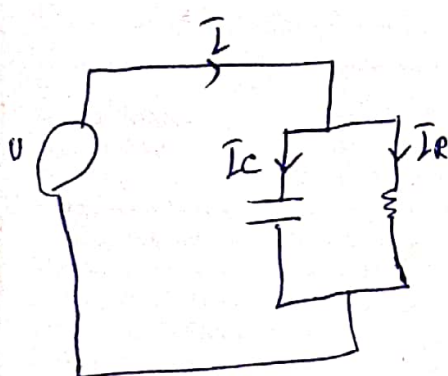
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad R_p \times \frac{1}{\omega C_N} = R_f \times \frac{1}{\omega C_A}$$

$$\Rightarrow C_A = C_N \frac{R_f}{R_p}$$

امادر عمل هیچگاه کاملاً به تقادلی نمی‌رسد ← دلیل:  $\tan \delta$

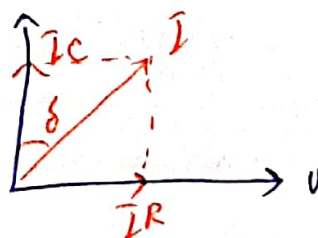
### ۳- ضریب تلفات عایقی $\tan \delta$

هر خازنی از جمله  $C_A$  رسانایی است برابر  $\infty$  و مقاومتش برابر بی‌نهایت است. به عبارات دیگر، مقاومتی است که مدل کننده رسانایی جزئی آن است. اگر عایق ایده‌آل بود این مقاومت برابر  $R = \infty$  و  $\tan \delta = 0$  بود.



$$\bar{I}_R = 0 \quad \bar{I}_C = \bar{I}$$

برای مدل کردن این اثر:



$$\tan \delta = \frac{|\bar{I}_R|}{|\bar{I}_C|}$$

عایق بدتر  $\rightarrow \tan \delta \uparrow \rightarrow \bar{I}_R \uparrow$

$\tan \delta$  نشان دهنده میزان تلفات ماده‌ای عایق است. هرچه ناخالصی در عایق بیشتر باشد  $\bar{I}_R$  بزرگتر می‌شود و کیفیت ماده‌ای عایق کاهش می‌یابد.

$$\tan \delta = \frac{|I_R|}{|I_C|} = \frac{\frac{V}{R}}{VCW} = \frac{1}{RCW}$$

فریب  
طیقات  
عائنی

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

طول  
مساحت  
مقاومت ویژه

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$\Rightarrow \tan \delta = \frac{1}{\rho \frac{L}{A} \times \epsilon \frac{A}{d} W} = \frac{1}{\rho \epsilon_r \epsilon_0 W}$$

دما  
فرکانس

$\tan \delta$  با ابعاد ماده‌ی عایقی وابسته نیست. به دما و فرکانس وابسته است.

برای عایق خوب:  $\tan \delta = 0.0001$

$W$  ← فرکانس

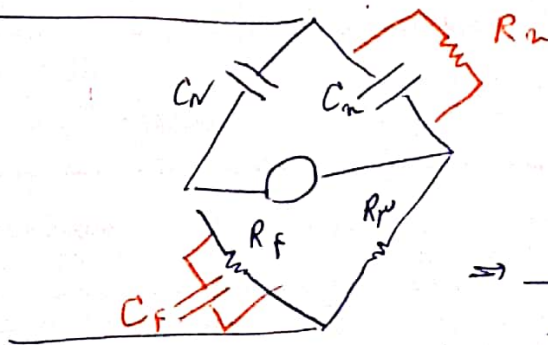
$\epsilon_r \epsilon_0$  ← دما

$\rho$  ← ناخالصی

اندازه‌گیری  $\tan \delta$  با دستگاه غیر مغزبی توان انجام شود. یعنی بستنی هم در آن سکت  
ایخ نه شد.

سخت است استقامت عایقی  $V$  محرز بود ← همبر: سکت

مجهت حل مشکل دل سرفیس:



$$\Rightarrow \frac{R_W}{j\omega C_N} = \frac{1}{\frac{1}{R_F} + j\omega C_F} \times \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}$$

$R_m \uparrow \uparrow$

$$C_m = C_N \frac{R_F}{R_W}$$

$$\tan \delta_m = R_F C_F \omega = \frac{1}{R_m C_m \omega}$$

دل سرفیس هم  $C_m$  هم  $\tan \delta_m$  اندازه‌گیری می‌کند.

با تعویض قسمت  
حقیقی و مدحی



## ۴- مقاومت ویژه ی عایقی

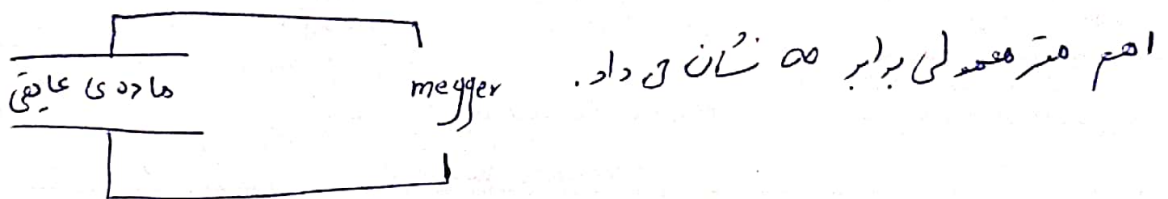
م : مقاومت قطعه ای از ماده با سطح مقطع و طول واحد

م بر عایق ها : مقاومت یک ابعاد استاندارد از عایق

برای جامد :  $2.0m \times 2.0m \times 2mm$

اهم متر مخصوص برای این کاره گالوانومتر به ما اهم متر meger

با مگرس توانیم مقاومت در حد  $1M$  اهم چاب کنیم



## ۵- انریسی پلاریزاسیون

قطبی شدن

مواد قطبی : مرکز ثقل بارها + و - بهم منطبق نیست .  
 غیر قطبی : ————— است .

پلاریزاسیون : هنگامی که موکول ها در امتداد میدان همراه با جذب انرژی از منبع  
 پلاریزاسیون حذف میدان و برگشت موکول ها به حالت نامنظم همراه با آزاد کردن انرژی



مرکز ثقل بارها + : هسته  
 الکترون ها : -  
 اطراف هسته

اعمال میدان باعث حرکت الکترون ها و

پلاریزاسیون می شود . مرکز ثقل بارها + و - از هم

جدا می شود . در مواد غیر قطبی انرژی بزرگ به مواد قطبی برای این منظور نیاز

اندازه گیری با ولتاژ DC بزرگ و meger

دستگاه تست میگر یا مگا اهم متر دستگاهی است که همان کار یک اهم متر را برای ما انجام می دهد . در یک اهم متر با تزریق ولتاژ و جریان کوچکی و با استفاده از قانون اهم ، اندازه مقاومت یک المان را محاسبه خواهیم کرد . برای تجهیزات بزرگ و حساس که جریان بالایی از آنها خواهد گذشت وجود یک مقاومت در حد میلی اهم هم ، بسیار بزرگ خواهد بود لذا نیاز به دستگاهی دقیق تر است تا یک میلیونوم اهم را هم بسنجد . به همین خاطر از دستگاه میکرو اهم متر ( Micro Ohm Meter ) استفاده می شود که دقت بسیار بالایی دارد و چون نقاطی با مقاومت بالا و یا اتصالات سست ( Loose Connection ) باید شناسایی شود لذا با تزریق جریانی بالا ( ۲۰۰ تا ۶۰۰ آمپر ) عمل سنجش انجام می شود . در مقابل دستگاه میگر با اعمال ولتاژ بالا به دنبال روزنه های عبور جریان در مواد عایق است تا نقاط معیوب شناسایی و جلوی آن گرفته شود چرا که یک عایق ایده آل هیچ جریانی را از خود عبور نمیدهد، یعنی جریان عبوری از آن صفر است . یکی از دلایل بالا بردن ولتاژ افزایش سطح اختلاف پتانسیل بین نقاط است تا در صورت معیوب بودن عایق، آنرا بتوان شناسایی کرد .

همه دستگاه های تست مقاومت عایقی با اعمال ولتاژ DC این کار را انجام می دهند . دلیل اعمال ولتاژ DC و عدم بکار گیری ولتاژ AC به ماهیت ولتاژ مستقیم برمی گردد که تناوب در آن بینهایت و فرکانس آن صفر است ، لذا میتوان بصورت مستقیم مقاومت را اندازه گیری نمود چرا که در حضور فرکانس ما با مقاومت های اِمپدانس نیز مواجه می شویم .

در تست مقاومت عایقی ما به دنبال سنجش استقامت الکتریکی هستیم لذا انتظار ما اینست که هیچ مسیر جریانی وجود ندارد و ما با اعمال ولتاژ خواهان آنیم که یک مسیر جریانی (بسیار بسیار کوچک ) در سطح ولتاژ شکست و یا جریان ناشی پدید آید و اندازه آن تعیین کننده سلامت عایق خواهد بود . دلیل دیگر استفاده از ولتاژ DC در دستگاههای سنجش مقاومت عایقی، جهت هم قطب نمودن دو قطبی های موجود در درون عایق هاست . هنگام اعمال ولتاژ به یک عایق ما دو جریان خواهیم داشت جریان حقیقی که از سطح و خود عایق عبور می کند و جریان دیگر همان جریان قطبیت مولکولها و تشکیل دو قطبی ها خواهد بود و از آنجا که یک عایق در لحظه اول اعمال ولتاژ همانند یک خازن عمل می کند لذا در لحظه اول اعمال ولتاژ به این تجهیزات ، موادی که ظرفیت خازنی کمتری دارند آسیب پذیر خواهند بود و جریان از آنها عبور می کند تا زمانیکه این مواد عایق همانند خازن شارژ شده و بصورت مدار باز در آیند ( به دلیل اعمال ولتاژ DC ) و دیگر در آنها جریانی بوجود نیاید . جهت اطمینان از زمان شارژ این مواد و بررسی بیشتر ، زمان اعمال ولتاژ بیشتر شده و با بررسی نسبت آنها به روند خوب یا بد بودن عایق پی می بریم .

تست مقاومت عایقی برحسب زمان یکی از رایج ترین و اساسی ترین تست تشخیص عایق های بزرگ است . در طول مدت انجام تست یعنی وقتی که دستگاه میگر را به تجهیز وصل نموده و استارت تست را می زنیم در واقع ولتاژ و جریان کوچک برقرار شده و در طول مدت تست، آن تجهیز در حال شارژ قرار می گیرد و جریان کوچکی در آن بوجود می آید . در ابتدا جریان زیاد و در ادامه سرایی که ساختار عایق به حالت تعادل خود می رسد این جریان میرا می شود . و جریان دیگری که ما آنرا بعنوان جریان ناشی می شناسیم نیز برقرار است که توسط مواد ناخالص و یا رطوبت و یا فرسودگی عایق ایجاد می شود و یک جریان مدت دار خواهد بود . این تست که برای مواد عایق جامد انجام می شود به تست PI (اندیس یا اندیکس پلاریزاسیون - Polarization Index) معروف است که در آن ما دو مقدار مقاومت در زمانهای ۱۵ ثانیه و ۶۰ ثانیه و یا در موارد مشکوک تر در زمانهای ۱ دقیقه و ۱۰ دقیقه مقادیر را ثبت می نماییم . از تقسیم مقدار مقاومت در زمان دوم به زمان اول یک نتیجه عددی بدست می آید که مستقل از هر آیتم دیگری حتی دمای عایق خواهد بود .

یکی از مزایای این تست آنست که تکنسین می تواند یک منحنی و نمودار از کیفیت عایق را ترسیم نماید تا زمانیکه دستگاه سنجش ما به مقدار ثابتی برسد . برای ترانسفورماتورهای قدرت حاوی روغن شاید این تست خیلی مورد استناد نباشد چرا که این تست بیشتر در مواد جامد خود را نشان می دهد اما برای ترانسهای قدرت روغنی زمان را در ۱۵ ثانیه و یک دقیقه سنجش می کنند . در مواد عایقی جامد بدلیل غیر سیال بودن آنها ما دیگر شاهد عبور جریان جابجایی یا Convection نخواهیم بود که دائماً روغن را هم می زند و از میان نمونه های حاوی روغن مسیر را برای عبور جریان می سازد و موجب جلوگیری از ساختاری پایسته می شود که درست در نقطه مقابل با روش اجرایی تست PI خواهد بود .

نشان دہندہ کا طبقہ یا کلاس حرارتی عایق ہے۔ دما کا عایق بنایہ از گلاس حرارتی ان

حرارتی درود، و اگر نہ فصل دیکھ خواہد آمد۔

۹۵°C

7

۱۰۵°C

A

→ روغن ترانس

→ کا مرس عمر دہند

۱۲۰°C

E

۱۲۰°C

B

۵۵°C

F

→ مواد عایق ترانس فوس

۱۸۰°C

H

→ ادرس اندازہ گیری ندارد۔

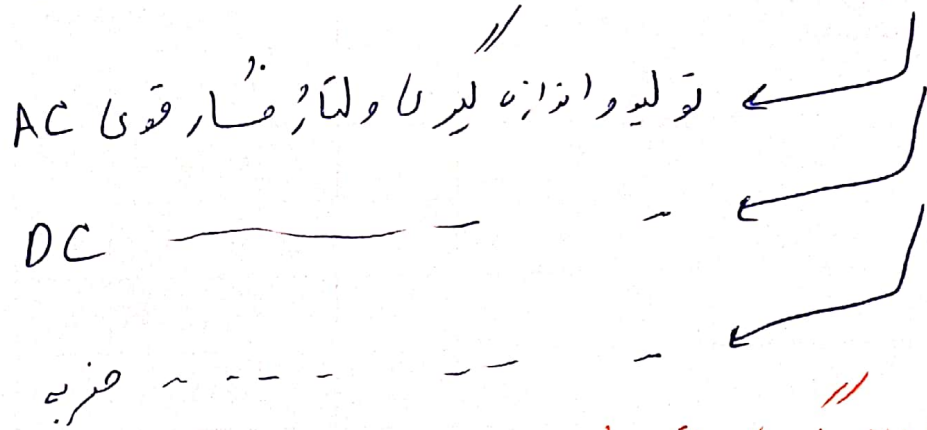
۱۸۰°C &lt;

C



## تولید و اندازه گیری ولتاژ شار قوی

سولام ولتاژ در ایستگاه شار قوی بیشتر از سولام ولتاژ شبکه است - تجهیزات را طوری طراحی می کنند که بتوانند ولتاژ بالاتر از ولتاژ نامی را تحمل کنند.



## تولید و اندازه گیری ولتاژ شار قوی AC

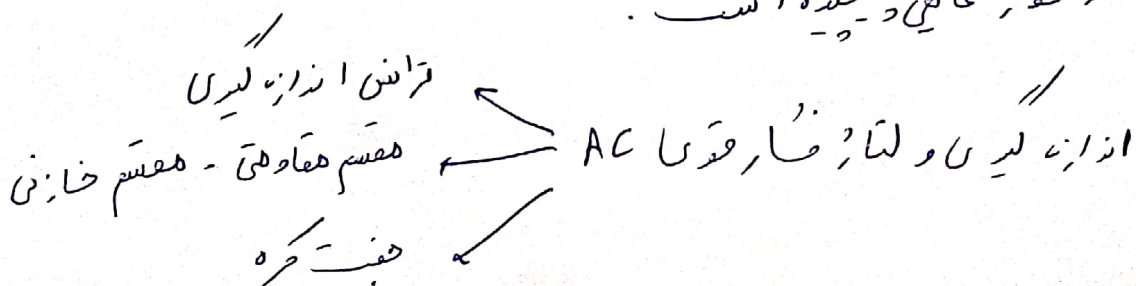
توسعه ماشین ششرون -  $3.6 \text{ kv}$  بالاترین سولام ولتاژ تولیدی در ترمینال زنانه

توسعه ترانس آیزینگ سولام این ولتاژ افزایش داده می شود ترانس آیزینگ سولام به عنوان یک منبع AC بزرگ ساخته می شود. در این ترانس نیاز به توان و ظرفیت بالا داریم.

ولتاژ بیشتر از ولتاژ نامی شبکه را تولید می کنند. به مثلاً  $900 \text{ kv}$  ایجاد کوچلی دارد.

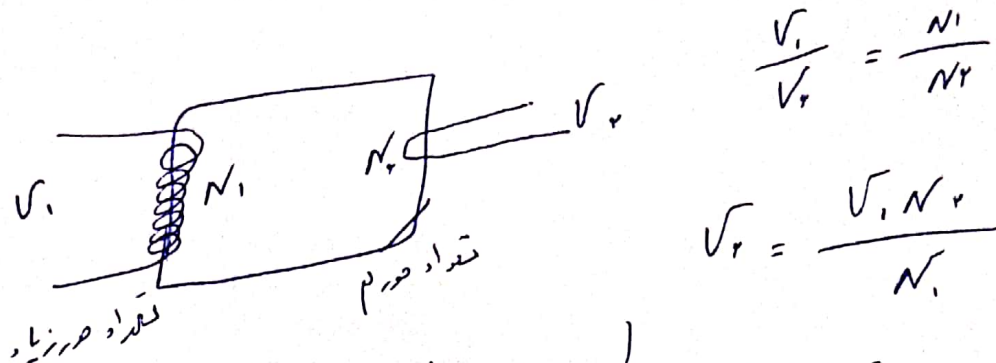
تک فاز است.

از نظر عایق بندی است.

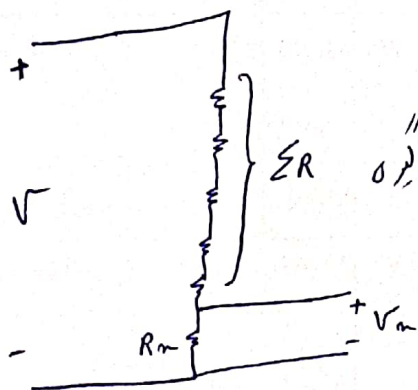


\* ترانس از این جهت که در آن ولتاژ و ولتاژ AC  $P_t$  به هم می‌رسد و ولتاژ را به قدری کم می‌کند که قابل اندازه گیری باشد.

$P_t$  تا رنج ۴۲۵۷ به خوبی می‌تواند است. به جز آن باید از روش‌های دیگری استفاده کرد.



$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{100} \text{ یا } \frac{1}{1000} \dots$$

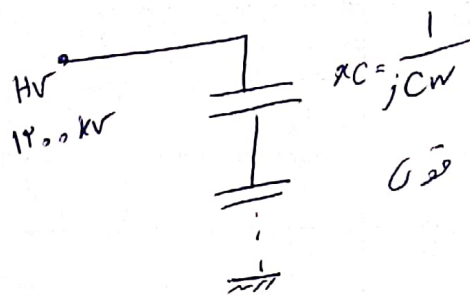


\* مقسم مقاومتی - با قانون تقسیم ولتاژ

$$V_x = V \times \frac{R_m}{\Sigma R + R_m} \Rightarrow$$

$$V = V_m \times \frac{\Sigma R + R_m}{R_m}$$

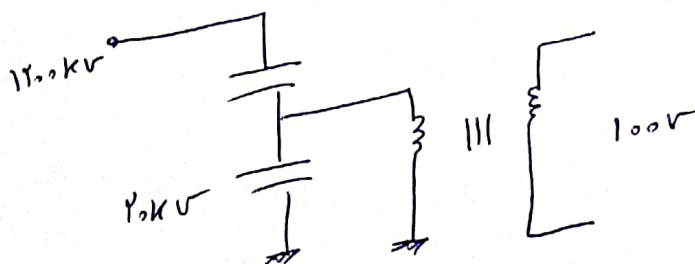
DC



به صورت سلفی، عایق بین خازن و قوس می‌خورد.

\* مقسم خازنی

\* ترکیب  $P_t$  و مقسم خازنی: CVT



۲ کمره در امتداد عمود یا افقی کنار هم قرار می گیرند.

یکی از کمره ها ثابت و عمل به ولتاژ

متحرک --- زمین

با استفاده از یک هوتر فاصله دین ۲ کمره با دقت خوبی اندازه گیری می شود.

کمره ها را کم کم به هم نزدیک می کنیم، در یک فاصله یا مسافتی نسبت اتفاق می افتد.

انرژی جدی است ندارد ولتاژ متناظر با این فاصله را می خوانیم.

عیب این روش --- صفاً باید نسبت اتفاق بیافتد.

• دقت خوبی دارد. --- برای کالیبراسیون استفاده می شود.

HVDC

تولید و اندازه گیری ولتاژ فشار قوی DC

چون نزدیکی دارد ولتاژ DC تولید کنیم.

- برای حذف تلفات الکتریکی

- اتصال دو شبکه AC نامحافظ در فاصله مساوت

- کاهش سطح مقطع سیم و افزایش بارپذیری

- هزینه کمتر اتصال نسبت به AC در فواصل زیاد

- نبودن اثر پوستی  $R_{AC} > R_{DC}$

AC/DC

۳ با استفاده از یکسو کننده ها، یکسو کردن ولتاژ AC

تولید HVDC

با ریزاقت روان دوگراف



## تولید ولتاژ DC از ولتاژ AC کوچک با یکسو کننده

ضرب کننده ولتاژ (Voltage Multiplier) یک نوع از مدارات دیودی یکسوساز محسوب می‌شود. این مدار قادر است ولتاژی را در خروجی تولید کند که چند برابر بزرگ‌تر از ولتاژ دریافتی در ورودی است. در این مطلب قصد داریم به بررسی ساختار، انواع و اصول کار مدار ضرب کننده ولتاژ بپردازیم.

فهرست مطالب این نوشته [پنهان کردن](#)

1. مدار ضرب کننده ولتاژ

2. مدار دو برابر کننده ولتاژ

2.1. اصول کار مدار دو برابر کننده ولتاژ

3. مدار سه برابر کننده ولتاژ

4. مدار چهار برابر کننده ولتاژ

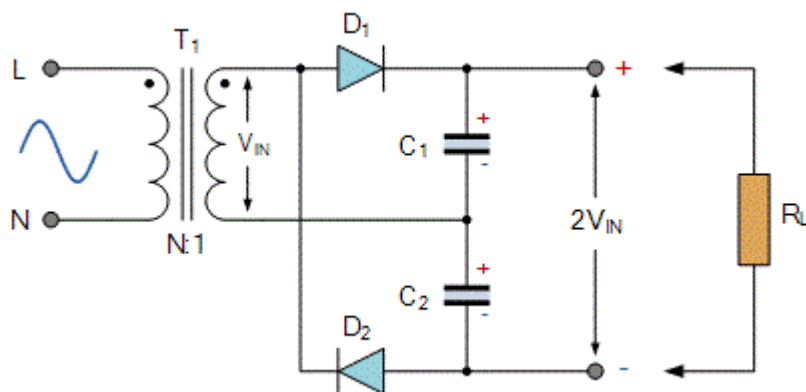
5. خلاصه مدار ضرب کننده ولتاژ

در مدارات یکسوساز (Rectifier) دیدیم که ولتاژ خروجی DC که توسط یکسوساز کنترل می‌شود، دارای مقداری پایین‌تر از مقدار ولتاژ ورودی اصلی به یکسوساز است. اما مدارات ضرب کننده ولتاژ نوعی از مدارات یکسوساز دیودی هستند که می‌توانند ولتاژی را در خروجی تولید کنند که چندین برابر بزرگ‌تر از مقدار ولتاژ اعمال شده به ورودی است. اگرچه در مدارات الکترونیکی امری متداول است که از یک ترانسفورمر (Transformer) ولتاژ برای افزایش سطح ولتاژ استفاده شود، اما گاهی ممکن است دسترسی به یک ترانسفورمر افزایشدهنده (Step-up Transformer) و یا یک ترانسفورمر ایزوله مخصوص برای کاربردهای ولتاژ بالا امکان‌پذیر نباشد.

بنابراین باید از روش دیگری به این منظور استفاده کرد. یک راه دیگر برای انجام این کار این است که از مدار ضرب کننده ولتاژ دیودی بهره ببریم. این مدار سطح ولتاژ را بدون نیاز به ترانسفورمر بالا می‌برد. ضرب کننده ولتاژ از بسیاری جهات شبیه به مدار یکسوساز است؛ زیرا هر دو مدار قادر هستند ولتاژ AC ورودی را به ولتاژ DC خروجی تبدیل کنند. تبدیل ولتاژ C به DC در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی متنوعی کاربرد دارد. به عنوان مثالی از کاربردهای مدارات یکسوساز می‌توان به اجاق‌های مایکروویو، سیم‌پیچ‌های میدان الکتریکی قوی در لوله‌های کاتدی و تجهیزات تست الکترواستاتیک و ولتاژ بالا اشاره کرد. در تمام این مدارات لازم است که یک ولتاژ DC بسیار بزرگ را از یک منبع تغذیه AC نسبتاً کوچک تولید کرد.

مدار ضرب کننده ولتاژ

معمولاً ولتاژ خروجی DC یک مدار یکسوساز توسط مقدار پیک یا بیشینه ولتاژ سینوسی ورودی محدود می‌شود. اما از طریق استفاده از یک مدار یکسوساز دیودی به همراه خازن می‌توان به صورت موثری ولتاژ پیک ورودی را افزایش داد، به نحوی که یک ولتاژ DC برابر با مضربی فرد یا زوج از پیک ولتاژ ورودی در خروجی به دست آید. تصویری از یک مدار ضرب کننده ولتاژ تمام موج ساده در زیر نشان داده شده است.



مدار ضرب کننده ولتاژ تمام موج ساده

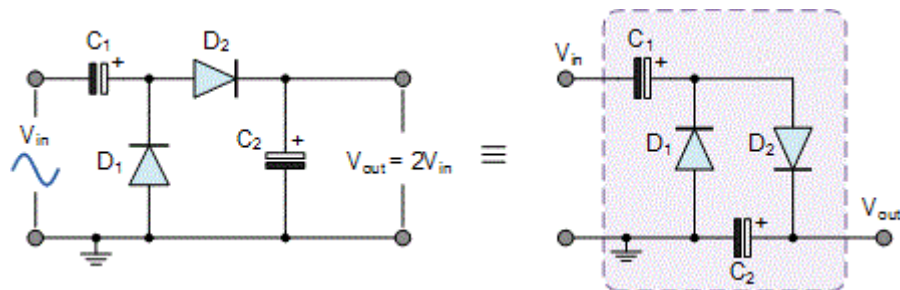
مدار فوق یک ضرب کننده ولتاژ کاملاً متقارن ساده را نشان می‌دهد که از دو مدار یکسوکننده نیم موج ساخته شده است. از طریق اضافه کردن یک دیود و یک خازن به خروجی مدار یکسوساز نیم موج استاندارد، می‌توانیم مقدار ولتاژ خروجی را به یک اندازه مشخص افزایش دهیم. این آرایش از ضرب کننده‌های ولتاژ را تحت عنوان ضرب کننده ولتاژ سری تمام موج (Full Wave Series Multiplier) نیز می‌شناسند؛ زیرا در هر نیم سیکل از شکل موج ولتاژ ورودی، یکی از دیودها در مود هدایت قرار می‌گیرد که این ویژگی مشابه با مدارات یکسوساز تمام موج است.

در مدار ضرب کننده ولتاژ تمام موج بالا، زمانی که سیگنال ولتاژ سینوسی ورودی مثبت باشد، خازن  $C_1$  از طریق دیود  $D_1$  شارژ می‌شود و زمانی که ولتاژ سینوسی منفی باشد، خازن  $C_2$  از طریق دیود  $D_2$  شارژ خواهد شد. در نهایت ولتاژی که از سر دو خازن سری با یکدیگر گرفته می‌شود، برابر با  $2V_{in}$  است.

ولتاژی که توسط مدار ضرب کننده ولتاژ تولید می‌شود، از لحاظ تئوری می‌تواند بی‌نهایت باشد. اما به دلیل ریگولاتور ولتاژ نسبتاً ضعیف و نیز ظرفیت جریان پایین در این مدار، معمولاً فاکتور افزایش ولتاژ کمتر از مقدار ده خواهد بود. اما اگر طراحی با استفاده از یک ترانسفورمر مناسب انجام شود، آنگاه مدار ضرب کننده ولتاژ، بسته به مقدار ولتاژ ورودی اصلی، قادر خواهد بود که ولتاژ خروجی در بازه چند صد تا چند هزار ولت را در خروجی ایجاد کند. البته تمام این مقادیر ولتاژ خروجی، دارای مقادیر جریان کوچک در بازه میلی آمپر خواهند بود.

### مدار دو برابر کننده ولتاژ

همان طور که از نام این مدار مشخص است، یک مدار دو برابر کننده ولتاژ (Voltage Doubler) مداری است که دارای فاکتور ضرب ولتاژ برابر با دو باشد. مدار فقط از دو دیود، دو خازن و یک ولتاژ ورودی سینوسی (AC یا یک شکل موج PWM) تشکیل شده است. این مدار ساده دیودی خازنی، در خروجی مقدار ولتاژ DC را ایجاد می‌کند که برابر با مقدار قله به قله (Peak-to-Peak) ورودی سینوسی است. به عبارت دیگر، این مدار مقدار پیک یا قله ولتاژ ورودی را دو برابر می‌کند؛ زیرا دیود و خازن همراه با یکدیگر عمل می‌کنند و ولتاژ را دو برابر می‌کنند. در تصویر زیر نمایی از یک مدار دو برابر کننده ولتاژ نشان داده شده است.



مدار دو برابر کننده ولتاژ

### اصول کار مدار دو برابر کننده ولتاژ

در این قسمت قصد داریم به بررسی اصول کار مدار دو برابر کننده ولتاژ بپردازیم. مدار نشان داده شده در تصویر فوق، یک دو برابر کننده ولتاژ نیم موج است. در طول نیم سیکل منفی از سیگنال سینوسی ورودی، دیود  $D_1$  در مود بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و خازن  $C_1$  را تا مقدار پیک ولتاژ ورودی  $V_{PVP}$  شارژ می‌کند. به دلیل اینکه هیچ مسیر بازگشتی برای دشارژ خازن  $C_1$  وجود ندارد، این خازن کاملاً پر باقی می‌ماند و مانند یک ذخیره‌کننده شارژ، سری با منبع تغذیه ولتاژ عمل می‌کند.

در طول نیم سیکل مثبت شکل موج ولتاژ ورودی، دیود  $D_1$  در مود بایاس معکوس قرار می‌گیرد و مسیر دشارژ خازن  $C_1$  را مسدود می‌کند و دیود  $D_2$  در مود بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و خازن  $C_2$  را شارژ می‌کند. اما به دلیل اینکه ولتاژ موجود در دو سر خازن  $C_1$  هم اکنون برابر با پیک ولتاژ ورودی است، خازن  $C_2$  به اندازه دو برابر مقدار پیک سیگنال ولتاژ سینوسی ورودی شارژ می‌شود.

به عبارت دیگر، ولتاژ در خازن  $C_2$  برابر با ولتاژ پیک در نیم سیکل مثبت به علاوه ولتاژ پیک در نیم سیکل منفی خواهد بود. بنابراین در نیم سیکل منفی، دیود  $D_1$ ، خازن  $C_1$  را به اندازه  $V_{PVP}$  شارژ می‌کند و در نیم سیکل مثبت، دیود  $D_2$ ، ولتاژ پیک AC را به مقدار  $V_{PVP}$  موجود در خازن  $C_1$  اضافه می‌کند و تمام این مقدار را به خازن  $C_2$  منتقل می‌کند. ولتاژ موجود در دو سر خازن  $C_2$  از طریق بار متصل به مدار در نیم سیکل بعدی دشارژ یا تخلیه خواهد شد.

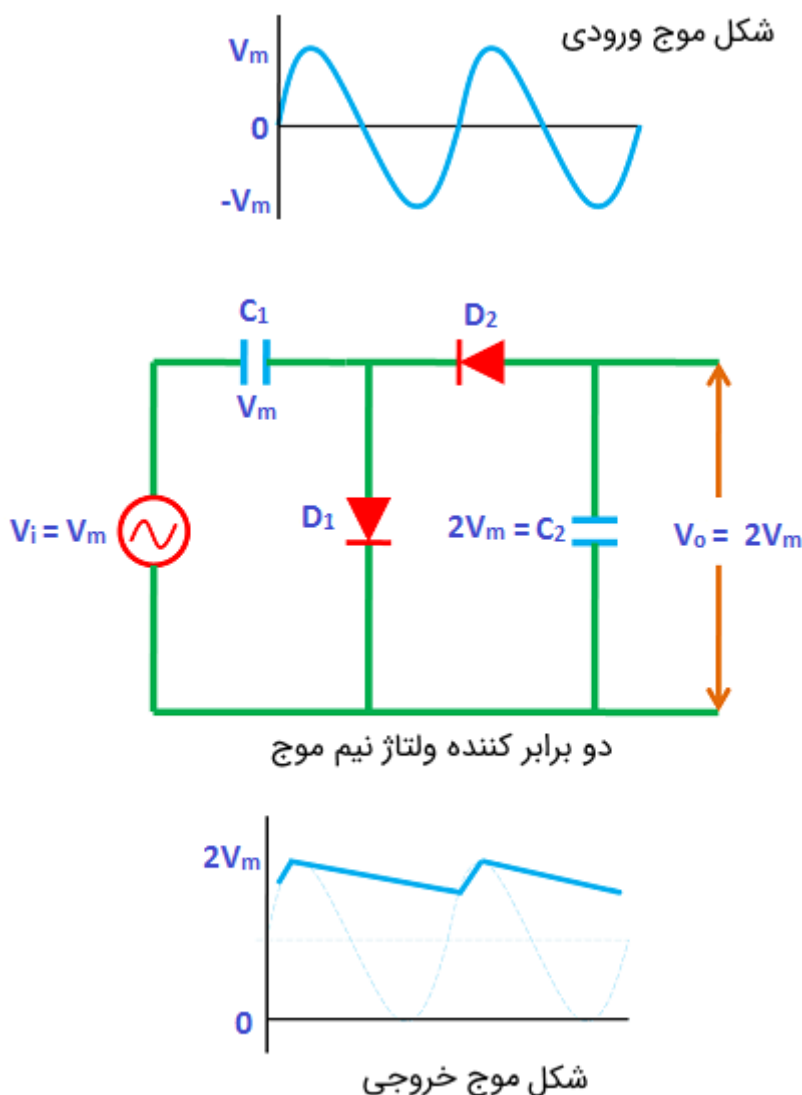
بنابراین، ولتاژ موجود در دو سر خازن  $C_2$  می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$V_{out} = 2V_{PVP} \quad V_{out} = 2VP$$

البته از مقدار بالا باید مقدار افت ولتاژ دیود مورد استفاده در مدار را نیز کسر کرد. در فرمول فوق،  $V_{PVP}$  مقدار پیک ولتاژ ورودی است. به یاد داشته باشید که ولتاژ خروجی دو برابر شده، به صورت آنی نیست، بلکه در هر سیکل ورودی به آهستگی افزایش می‌یابد تا در نهایت به مقدار  $2V_{PVP}$  برسد.

به دلیل اینکه خازن  $C_2$  فقط در یک نیم سیکل از شکل موج ورودی شارژ می‌شود، مقدار ولتاژ خروجی منتج که در بار دشارژ می‌شود، دارای فرکانس رپل (Ripple) برابر با فرکانس منبع تغذیه است. عیب اصلی این مدار در این است که صاف کردن رپل‌های

بزرگ موجود در شکل موج ولتاژ خروجی این مدار کاری بسیار دشوار است و نمی‌توان از روش‌هایی استفاده کرد که در مدارات یکسوساز نیم موج مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین خازن  $2C_2$  باید دارای نرخ ولتاژ DC حداقل دو برابر مقدار پیک ولتاژ ورودی باشد. در تصویر زیر نمایی از شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی مدار دو برابر کننده ولتاژ نشان داده شده است.



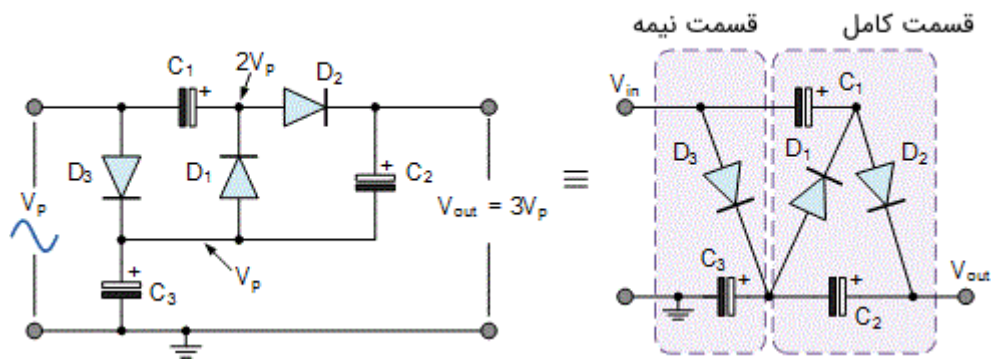
شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی مدار دو برابر کننده ولتاژ

اما مزیت عمده مدار ضرب کننده ولتاژ فوق در این است که امکان ایجاد ولتاژهای بزرگ‌تر از یک منبع ولتاژ کوچک را بدون نیاز به یک ترانسفورمر ولتاژ بالا و گران فراهم می‌کند. در واقع مدار دو برابر کننده این امکان را ایجاد می‌کند که در صورت استفاده از منبع تغذیه تمام موج معمولی، بتوان از یک ترانسفورمر با پله‌های کوچک و نرخ بالا استفاده کرد. البته به این نکته باید توجه کرد که مدار ضرب کننده ولتاژ قادر است ولتاژ را ارتقا دهد، اما فقط مقدار جریان پایینی را برای بارهای با مقاومت بزرگ (۱۰۰ کیلو اهم) تامین می‌کند؛ زیرا با افزایش جریان بار، ولتاژ تولید شده در خروجی به سرعت افت خواهد کرد.

### مدار سه برابر کننده ولتاژ

با برعکس کردن جهت دیودها و خازن‌ها در مدار ضرب کننده ولتاژ، می‌توانیم جهت ولتاژ خروجی را نیز برعکس کنیم و یک ولتاژ منفی را در خروجی تولید کنیم. همچنین اگر خروجی یک ضرب کننده ولتاژ را به صورت آبشاری به ورودی یک ضرب کننده ولتاژ دیگر متصل کنیم، آن گاه قادر خواهیم بود که به افزایش سطح ولتاژ DC تولید شده در خروجی در گام‌های صحیح ادامه دهیم و مدارات سه برابر کننده ولتاژ (Voltage Tripler)، چهار برابر کننده ولتاژ (Voltage Quadruplers) و ... را پیاده‌سازی کنیم. در تصویر زیر نمایی از یک مدار سه برابر کننده ولتاژ را مشاهده می‌کنید.





مدار سه برابر کننده ولتاژ

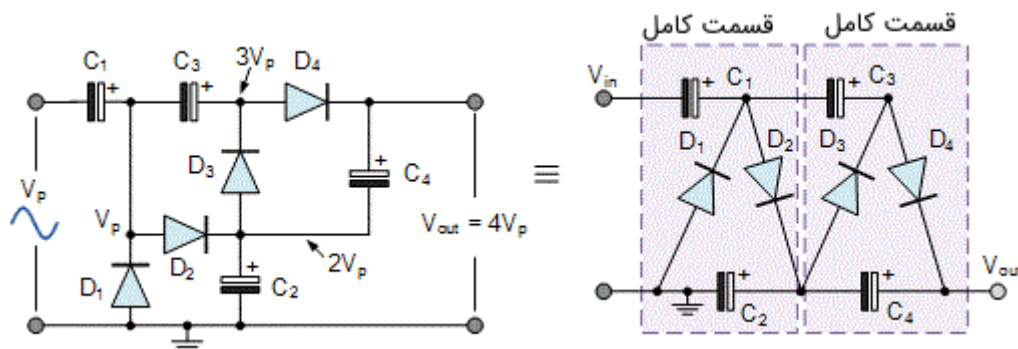
از طریق اضافه کردن یک طبقه متشکل از دیود و خازن به مدار دو برابر کننده ولتاژ نیم موج قبلی، می‌توان یک مدار ضرب کننده ولتاژ جدید را ایجاد کرد. این مدار قادر است ولتاژ ورودی را با ضریب سه افزایش دهد و به همین دلیل به این مدار سه برابر کننده ولتاژ گفته می‌شود.

یک مدار سه برابر کننده ولتاژ، از نصفی از مدار دو برابر کننده ولتاژ به اضافه یک مدار کامل دو برابر کننده ولتاژ ساخته شده است. در خروجی یک مدار سه برابر کننده ولتاژ، یک مقدار ولتاژ DC تولید می‌شود که مقدار آن برابر با سه برابر پیک ولتاژ سیگنال سینوسی ورودی به مدار (3VP3VP) است. همانند مدار دو برابر کننده ولتاژ قبلی، دیودهای موجود در مدار سه برابر کننده ولتاژ نیز می‌توانند مسیر دشارژ خازن را مسدود کنند که این عمل به اینکه جهت نیم سیکل ورودی به کدام طرف باشد، بستگی دارد.

بنابراین در دو سر خازن C3C3 ولتاژ 1VP1VP و در دو سر خازن C2C2 نیز ولتاژ 2VP2VP ایجاد می‌شود. همچنین به دلیل اینکه دو خازن C2C2 و C3C3 به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند، بار متصل به خروجی، مقدار ولتاژی معادل با 3VP3VP را در دو سر خود دریافت خواهد کرد. توجه کنید که ولتاژ خروجی واقعی به صورت سه برابر پیک ولتاژ ورودی منهای افت ولتاژ در طول دیودهای مورد استفاده، محاسبه خواهد شد.

### مدار چهار برابر کننده ولتاژ

اگر یک مدار سه برابر کننده ولتاژ را بتوان از طریق اتصال آبشاری یک و نیم مدار ضرب کننده ولتاژ ایجاد کرد، آنگاه مدار چهار برابر کننده ولتاژ را نیز می‌توان از طریق اتصال آبشاری دو مدار دو برابر کننده ولتاژ کامل پیاده‌سازی کرد. در تصویر زیر نمایی از یک مدار چهار برابر کننده ولتاژ نشان داده شده است.



مدار چهار برابر کننده ولتاژ

اولین طبقه از این مدار ضرب کننده ولتاژ، قادر است پیک ولتاژ ورودی را دو برابر کند. طبقه دوم از مدار ضرب کننده نیز مجدداً پیک ولتاژ دریافتی خود را دو برابر می‌کند. به همین دلیل، مقدار ولتاژ DC تولید شده در خروجی این مدار به اندازه چهار برابر مقدار پیک سیگنال سینوسی دریافتی در ورودی مدار است. همچنین استفاده از خازن‌های با مقادیر بزرگ، به کاهش رپل ولتاژ خروجی کمک خواهند کرد.

### خلاصه مدار ضرب کننده ولتاژ

در این مطلب به بررسی مدارات ضرب کننده ولتاژ پرداختیم و دیدیم که یک مدار ضرب کننده ولتاژ را چگونه می‌توان به سادگی با استفاده از المان‌هایی نظیر دیود و خازن ایجاد کرد. این مدارات قادر هستند سطح ولتاژ خروجی را با ضرایب صحیح ۲، ۳، ۴ و ... افزایش دهند. برای پیاده‌سازی یک مدار ضرب کننده ولتاژ از مرتبه بالاتر، می‌توان چند مدار ضرب کننده ولتاژ مرتبه پایین کامل یا نصف

را به صورت آبشاری به یکدیگر متصل کرد. با انجام این کار، بدون نیاز به یک ترانسفورمر افزایشی می‌توان به ولتاژ DC مورد نیاز برای اعمال به بار دست یافت.

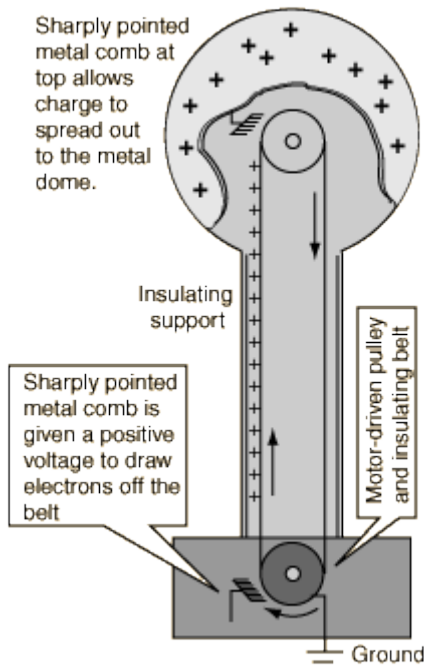
بر حسب نسبت بین ولتاژ دریافت شده در خروجی به ولتاژ اعمال شده به ورودی، می‌توان مدارات ضرب کننده ولتاژ را به دو برابر کننده، سه برابر کننده، چهار برابر کننده و ... طبقه‌بندی کرد. از نظر تئوری، هر مقدار ولتاژ دلخواه را می‌توان با استفاده از مدار ضرب کننده ولتاژ در خروجی به دست آورد و اتصال آبشاری N مدار دو برابر کننده ولتاژ، منجر به تولید ولتاژ خروجی به اندازه  $2N.VP$  ولت خواهد شد.

به عنوان مثال، یک مدار ضرب کننده ولتاژ ۱۰ طبقه با مقدار پیک ولتاژ ورودی ۱۰۰ ولت، بدون استفاده از ترانسفورمر و با فرض عدم اتلاف در مدار قادر است ولتاژ خروجی به اندازه ۲۰۰۰ ولت یا ۲ کیلو ولت را در خروجی تولید کند. البته دیودها و خازن‌های مورد استفاده در تمام مدارات ضرب کننده ولتاژ باید دارای کمینه نرخ ولتاژ شکست معکوس حداقل دو برابر پیک ولتاژ دریافتی در دو سر خود باشند. زیرا مدارات ضرب کننده ولتاژ چند طبقه می‌توانند در خروجی ولتاژ بسیار بزرگی ایجاد کنند و به همین دلیل باید هنگام کار با این مدارات احتیاط کرد.

همچنین مدارات ضرب کننده ولتاژ معمولاً برای بارهای بزرگ، مقدار جریان کوچکی را فراهم می‌کنند؛ زیرا ولتاژ دریافتی در خروجی با افزایش جریان بار، به سرعت افت خواهد کرد. تمام مدارات ضرب کننده ولتاژ بالا، به صورتی طراحی شده‌اند که در خروجی یک ولتاژ DC مثبت را ایجاد کنند. اما می‌توان طراحی را به نحوی انجام داد که ولتاژ خروجی منفی را هم تولید کنند. برای این کار می‌توان به سادگی پلاریته تمام خازن‌ها و دیودهای ضرب کننده را برعکس کرد تا در خروجی ولتاژ DC منفی به دست آید.

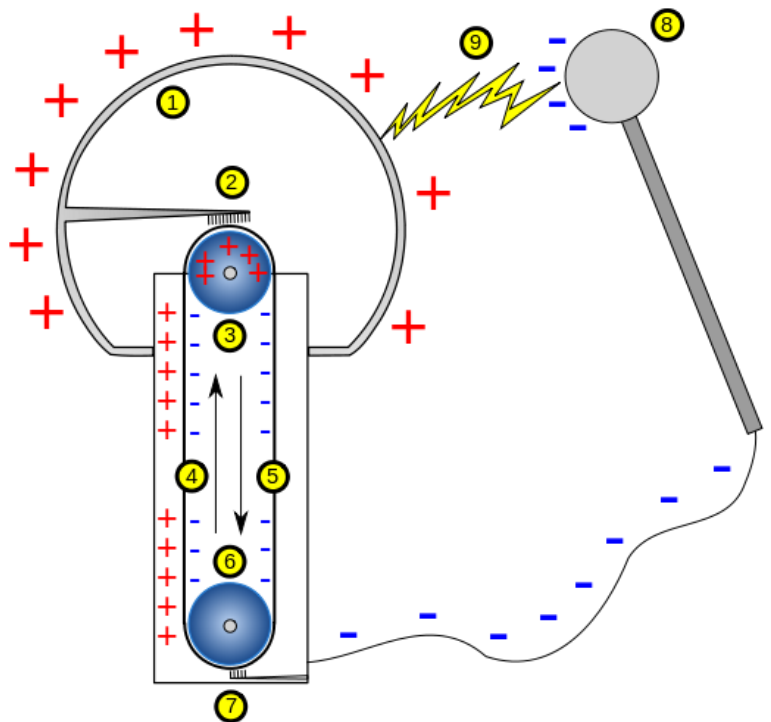
## تولید ولتاژ DC با واندوگراف

مولد واندوگراف یکی از ساده‌ترین ساختارهای الکتریکی برای تولید الکتریسیته ساکن است. در این مولد در اثر مالش یک نوار لاستیکی بر روی یک غلتک فلزی، الکتریسیته ساکن تولید می‌گردد. بارهای ایجاد شده در نوار لاستیکی و غلتک متفاوت می‌باشند. بدین صورت که بارهای ایجاد شده در نوار لاستیکی منفی و بار ایجاد شده بر روی غلتک مثبت می‌باشد. به وسیله الکتریسیته ساکن تولید شده توسط این مولد می‌توان روشن و خاموش شدن لامپ مهتابی، باز شدن نوارهای افشان و تعلیق گلوله‌های رسانای سبک در استوانه شفاف را مشاهده نمود. وان دوگراف دستگاهی است که می‌تواند مقدار زیادی الکتریسیته ساکن تولید کند، درست مثل ابرها؛



به‌طوری که وقتی دست‌تان را به آن می‌زنید، می‌توانید جرقه‌هایی مثل رعد و برق را در اتاق خودتان ببینید. مولد واندوگراف، دستگاهی است که می‌تواند بارها و ولتاژهای خیلی بالایی را تولید کند. در این مولد، یک تسمه لاستیکی که به سرعت حرکت می‌کند، بارهای منفی را به داخل یک پوسته فلزی می‌برد. این پوسته بر روی یک پایه عایق نصب شده است تا بار روی آن نتواند منتقل شود. اگر این پوسته را باردار کرده و و یک کره متصل به زمین در نزدیک آن قرار دهید، جرقه‌های بزرگی مانند جرقه‌های کوچک آذرخش (برق آسمان)، در میان دو کره تولید می‌شود. بار الکتریکی منفی بر روی پوسته کروی به اندازه‌ای زیاد است که هوا (که در حالت عادی عایق است) را برای لحظه‌ای به رسانا تبدیل می‌کند. جرقه و بار الکتریکی، به طرف کره متصل به زمین (یا اگر شما خیلی نزدیک آن باشید به طرف شما) حرکت می‌کند

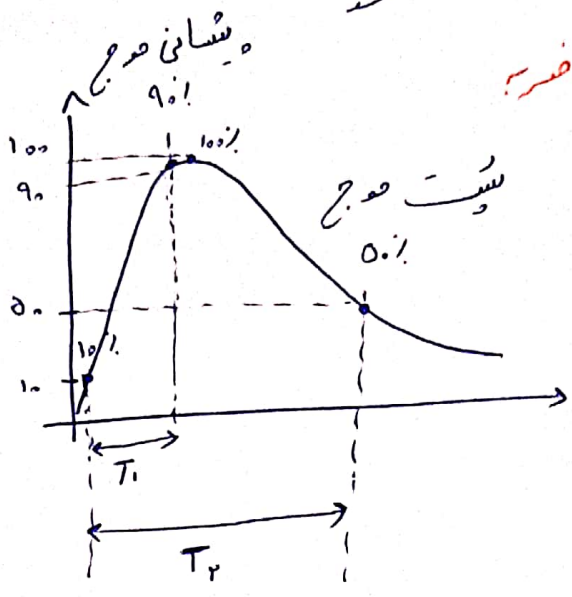
یکی از آزمایش‌های دوست داشتنی آزمایش واندوگراف است. مولد واندوگراف در سال ۱۹۳۷ توسط فیزیکدان آمریکایی رابرت جمیسون واندوگراف اختراع شد. این دستگاه قادر است که ولتاژهای تا ۲۰ میلیون ولت ایجاد نماید و از آن برای انرژی دادن و شتاب دادن به ذرات اتمی که احتیاج به سرعت بالا برای نفوذ در هسته اتمها دارند استفاده میشود. این برخوردها در اتمها، پایه شناخت و اساس فیزیک هسته‌های و ذرات بنیادی میباشد. دو نوع مولد واندوگراف وجود دارد که به شرح نوع معمول آن که از تسمه و غلتک در آن استفاده میشود میپردازیم. این نوع واندوگراف از یک موتور- دو غلتک، یک تسمه و دو شانه و یک گوی فلزی آلومینیمی یا نظیر آن ساخته شده است. هنگامیکه موتور روشن میشود غلتک پایینی شروع به چرخاندن تسمه میکند. نظر به اینکه تسمه از لاستیک و کائوچو و غلتک پایینی پوشیده از سلسیوم است، غلتک پایینی شروع به تولید بار منفی کرده و غلتک بالایی بار مثبت تولید میکند.





اندازه گیر HVDC ← معتم مقاومتی  
جفت کرده ← میل روشی در AC تا فیدر داد

تداو اندازه گیر ولتاژ مبار قوا ضرب



معرفی شکل عوج ضرب:

۳ : یک ولتاژ  
|  
T<sub>1</sub> : زمان بیشترین عوج  
|  
Tr : زمان بین نسبت عوج

T<sub>1</sub> : زمانی که از ولتاژ تا ۹۰٪ مقدار یک می رسد.  
Tr : ----- ۵۰٪ مقدار یک افت می کند.

ولتاژ ضرب ← ضرب ضایعه Lightning impulse  
کلید زنی ← Switching impulse

تلا ضعیف سریع  
۱۷۱۱۲ دافه ها بیشتر

T<sub>1</sub> = ۱.۲ μs  
Tr = ۵۰ μs } ضایعه

T<sub>1</sub> = ۲۵۰ μs  
Tr = ۲۵۰۰ μs } کلید زنی

کلید زنی: ورود و خروج یک فاز، یک فازنا، یک الکترود ... به مدار

تجهیزات تحت تنش ولتاژ ضرب ضایعه و کلید زنی قرار می دهند تا بستگی نداشته باشد  
کند باشد. پس به سبک وصل می کنند.

اندازه گیر ولتاژ ضرب ← معتم مقاومتی  
جفت کرده



**JDEVS**

**Marx Impulse Generator 1.2/50 ( $\mu$ s)  
800kV/80kJ**



مجری: جهاد دانشگاهی علم و صنعت

## ۱- اصول کار ژنراتور ضربه

اصول کار تمام مولدهای ضربه براساس مدار معروف ژنراتور مارکس است. با ترکیب مختلف مقاومت‌های پیشانی و پشت می‌توان شکل موج ضربه صاعقه با مشخصه  $1.2\mu s/50\mu s$  را با دامنه مورد نظر تولید نموده و بر روی عنصر مورد آزمایش اعمال نمود. جهت تولید شکل موج‌های فوق‌الذکر، خازنهای هر طبقه مولد با استفاده از منبع تغذیه DC تا ولتاژ مورد نظر شارژ می‌شوند که این منبع تغذیه دارای ولتاژ نامی 140 kVDC است.

مدار معادل مولد ضربه در حالت شارژ دارای خازن‌های موازی طبقات است که از طریق مقاومت‌های شارژ با خازن‌های طبقه بعدی موازی شده و بدین ترتیب خازنهای طبقات با هم شارژ می‌شوند که مدار معادل مولد ضربه در این حالت در شکل (۱) آمده است. بعد از رسیدن ولتاژ خازنها به ولتاژ مورد نظر، با صدور فرمان تریگ توسط اپراتور، فاصله هوایی گوی‌های کروی هر طبقه توسط ولتاژ شارژ شده خازنها شکسته شده و بدین ترتیب امکان دشارژ خازنها از طریق فواصل گوی‌ها و مقاومت‌های پیشانی و پشت فراهم می‌شود. مدار معادل مولد ضربه در حالت دشارژ شامل خازن‌های سری طبقات است که از طریق مقاومت‌های سری و موازی روی عنصر مورد نظر دشارژ می‌شوند که مدار معادل مولد در این حالت نیز در شکل (۲) آمده است. مشخصه زمان پیشانی و زمان پشت برای شکل موج صاعقه را مقادیر ظرفیت خازنها و مقادیر پیشانی و پشت و ظرفیت عنصر مورد آزمایش تعیین می‌کنند که با ترکیب موازی مقاومت‌های فوق می‌توان محدوده وسیعی از تجهیزات فشارقوی را تست کرد. با صدور فرمان تریگ از میکترنل فاصله هوایی گوی‌های تریگ شونده شکسته شده و بدین ترتیب شکل موج مورد نظر ایجاد شده و بر روی عنصر مورد آزمایش اعمال می‌شود. اندازه‌گیری ولتاژ با استفاده از یک مقسم خازنی انجام می‌شود. که به طور موازی با عنصر مورد آزمایش قرار می‌گیرد. مشخصات کامل عناصر مولد ضربه در بخش‌های بعدی به تفصیل تشریح شده است.

## ۲- مشخصات و اجزاء مجموعه

مجموعه مولد ضربه پیشنهادی 800kV/80kJ دارای پنج قسمت اصلی زیر است:

### ۱-۲ ژنراتور ضربه

این قسمت بعنوان اکتیوپارت مجموعه بوده و اصلی‌ترین قسمت ژنراتور ضربه را تشکیل می‌دهد. این مولد ضربه دارای ۸ طبقه بوده که بصورت مدولار بر روی هم سوار می‌شوند. هر طبقه شامل یک عدد خازن  $100kV/10kJ/2\mu f$  و مقاومت‌های پیشانی و پشت و شارژ و گوی فاصله متغیر است که عناصر هر طبقه بر روی شاسی سوار می‌شوند. پارامترهای اصلی مولد ضربه به صورت زیر است:

- خازنها
- مقاومت‌ها
- سیستم گوی‌های تریگ شونده
- شاسی متحرک
- سیستم ارت اتوماتیک



## ۲-۲- خازن‌ها

هر طبقه شامل یک عدد خازن با مشخصات نامی  $100\text{kV}/10\text{kJ}/2\mu\text{f}$  است. این خازن بصورت افقی در طبقات نصب می‌شوند و فاصله خازن هر طبقه با طبقه بالایی برای ولتاژ  $115\text{kV DC}$  طراحی و محاسبه شده است. ساختار داخلی خازن‌ها از نوع فویل آلومینیوم و فیلم پلی پروپیلن خاص می‌باشد که بعد از تزریق روغن خازن، عملیات اشباع در خلاء بر روی آن انجام می‌شود. طراحی این نوع خازن‌ها به نوعی صورت می‌گیرد که دارای اندوکتانس کمی باشند و بدین ترتیب می‌توان شکل موج‌های ضربه صاعقه با زمان پیشانی مد نظر را تولید نمود.

## ۲-۳- مقاومت‌ها

هر طبقه شامل مقاومت‌های پیشانی و پشت و شارژ می‌باشد و این مقاومت‌ها دارای اندوکتانس خیلی پایینی بوده (بی‌فیلار) و بصورت سیم پیچی‌هایی روی لوله‌های سرامیکی مخصوص ساخته می‌شوند. جهت ایجاد استحکام عایقی مناسب و جلوگیری از وقوع اتصال کوتاه بین دورها، تمام سیم پیچی‌ها با اپوکسی مخصوص پوشش داده می‌شوند. سیم پیچی‌های مزبور به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که در شرایط کارکرد ژنراتور با انرژی نامی، دمای مقاومت‌ها از  $100^\circ\text{C}$  تجاوز نکند. مقاومت‌های طراحی شده بصورت فوق دارای وزن کم و ابعاد مناسبی بوده و بصورت عمودی و قطری بین طبقات مختلف مولد نصب شده و ارتباطات الکتریکی بین طبقات را فراهم می‌کنند.

- مقاومت‌های پیشانی موج به تعداد یک عدد در هر طبقه تعبیه شده‌اند که با توجه به میزان ظرفیت عنصر مورد آزمایش، می‌توان آنها را به صورت تکی یا چند تایی بصورت موازی استفاده کرده و بدین ترتیب مولد را جهت آزمایش محدوده وسیعی از تجهیزات فشارقوی بکار برد.
  - مقاومت‌های پشت موج به تعداد یک عدد در هر طبقه تعبیه شده‌اند که می‌توان آنها را به صورت تکی یا چند تایی بصورت موازی استفاده کرد.
  - مقاومت‌های شارژ به تعداد یک عدد در هر طبقه تعبیه شده‌اند که بین طبقات مختلف مولد نصب می‌شوند. این مقاومت‌ها دارای مقدار اهمی بالایی بوده و در حالت شارژ مولد، تمامی خازن‌های طبقات را با ولتاژ  $DC$  شارژ می‌کنند.
  - مقاومت تخلیه مولد به تعداد یک عدد برای کل مجموعه مولد تعبیه شده است که بطور افقی بین خروجی منبع تغذیه  $DC$  و اولین طبقه مولد قرار می‌گیرد. موقع خاموش کردن ژنراتور، کلید الکتریکی **Earth Switch** به طور اتوماتیک مولد را از طریق این مقاومت زمین می‌کند و بدین ترتیب مولد در این حالت بدون انرژی بوده و زمین شده است.
- تذکر: مقاومت‌های پیشانی و پشت موج جهت تولید شکل موج‌های استاندارد ضربه صاعقه استفاده می‌شوند و در صورت درخواست کارفرما، مقادیر دیگری از مقاومت‌های سفارشی نیز جهت تولید شکل موج‌های دلخواه طراحی و ساخته خواهد شد.

## ۲-۴- سیستم گوی‌های تریگ شونده

به ازای هر طبقه از مولد یک جفت گوی وجود دارد و بدین ترتیب مولد دارای ۶ جفت گوی است. این گوی‌ها بر روی شاسی مولد به صورت ستونی نصب شده و کل مجموعه گوی‌ها داخل محفظه لوله محافظ گوی‌ها قرار می‌گیرد. به دلیل اینکه ولتاژ شکست فضای بین گوی‌ها به نسبت میزان رطوبت و فشار و دمای محیط متغیر است مکانیزم گوی‌ها طوری طراحی می‌شود تا اثرات محیطی و گرد و غبار بر روی ولتاژ شکست گوی‌ها کمترین تأثیر را داشته باشد.

همچنین لوله محافظ گوی‌ها طوری طراحی شده که ولتاژ شکست گوی‌ها متأثر از عوامل محیطی مثل گرد و غبار نخواهد بود. هر طبقه دارای دو گوی معمولی می‌باشد، بجز طبقه اول که دارای یک گوی معمولی و یک گوی تریگ شونده است و قطر هر دو گوی برابر 10 cm است. این گوی‌ها بعد از آبکاری با کرم سخت دارای استحکام مکانیکی بالایی بوده و در مقابل ضربه‌های ناشی از جرقه‌های الکتریکی بسیار مقاوم هستند.

فاصله گوی‌ها با استفاده از مکانیزم سروموتوری که در قسمت پایینی لوله محافظ گوی‌ها قرار می‌گیرد قابل تغییر است. گوی‌ها بر روی ستون ثابتی قرار گرفته و فاصله گوی‌ها توسط حرکت ستون گیربکس ۹۰ درجه و شفت عایق تغییر می‌کند. قبل از شروع آزمایش و برقرار کردن مولد، بایستی با توجه به ولتاژ مورد نظر در آزمایش، فاصله گوی‌ها در محدوده مناسبی تنظیم شده و سپس ولتاژ تا مقدار مورد نظر بالا برده شود. در این حالت به کمک گوی تریگ شونده و سیستم تریگر، مولد ضربه آتش شده و فاصله گوی‌ها شکسته می‌شود. جهت تریگ کردن گوی‌ها از روش الکترونیکی استفاده می‌شود که به شرح ذیل می‌باشد:

فرمان تریگ گوی‌ها به روش الکترونیکی و از طریق کابل نوری انجام می‌شود. با صدور فرمان آتش از میکترنل، فرستنده سیگنال که در داخل میکترنل تعبیه شده است از طریق کابل نوری سیگنال مناسب را به گوی تریگ شونده ارسال می‌نماید و از داخل گوی تریگ شونده بواسطه مدار الکترونیکی و باتری موجود در آن یک ایمپالس با ولتاژ حدود ۵۰۰۰ ولت روی الکتروود تریگ اعمال می‌شود و در نتیجه ایجاد قوس الکتریکی بین دو گوی آغاز می‌شود و تمام گوی‌های موجود در یک مولد ضربه بصورت همزمان آتش شده و همزمان قوس الکتریکی بین آنها برقرار می‌شود.

بدین ترتیب مولد ضربه با شرایط فوق الذکر که مجهز به مکانیزم سیستم گوی‌های تریگ شونده و سیستم تغییر فاصله هوایی است قادر است بدون تأثیر پذیری از شرایط محیطی، عمل تریگ مطمئن را در سطوح ولتاژهای متفاوت انجام داده و بتواند محدوده وسیعی از ولتاژهای مورد نیاز با انرژی مختلف را جهت آزمایش تجهیزات الکتریکی فشارقوی تولید نماید.

## ۲-۵- شاسی

مولد ضربه و مجموعه گوی‌ها بر روی این شاسی نصب می‌شوند. جنس این شاسی از فولاد مرغوب است. این شاسی طوری طراحی می‌شود که بتواند وزن مولد ضربه و سیستم گوی‌های تریگ شونده را تحمل نموده و سطح آن به گونه‌ای ماشین کاری می‌شود تا هنگام نصب مولد و گوی‌ها در روی آن از تنظیم عمودی دقیق ساختار ژنراتور اطمینان حاصل شود که نباید مرکز ثقل مجموعه جابجا شده و تعادل مجموعه مولد ضربه به هم بخورد.

سازه‌ی مولد ضربه متشکل از یک شاسی چرخدار و چهار ستون از جنس عایق می‌باشد که اجزای تشکیل دهنده طبقات مولد ضربه به این ستونها نصب می‌شوند. خازنها جزء اصلی هر طبقه هستند که بصورت افقی در طبقه قرار می‌گیرد و عامل استحکام سازه نیز می‌باشند و بقیه اجزاء نیز بصورت افقی و عمودی و مورب، مدار مولد ضربه را تشکیل می‌دهند. این سازه بگونه‌ای طراحی شده است که دارای استحکام مکانیکی بالایی بوده و اطمینان کافی از تعادل مکانیکی در شرایط مختلف پایدار و دینامیک را حاصل نماید. در بالاترین قسمت این سازه یک صفحه عایق قرار گرفته است که موجب استقرار مکانیکی بهتر می‌شود.

## ۲-۶- سیستم ارت اتوماتیک

جهت حفاظت کامل از مولد و اپراتورها سیستم ارت مطمئن به شرح زیر پیش بینی می شود:

الکتروود ارت میله ای (Earth Switch):

این الکتروود چنانچه قبلاً تشریح شد به کمک مقاومت تخلیه مولد، پس از خاموش شدن مولد به طور اتوماتیک قسمت فشارقوی مولد را زمین کرده و از طریق مقاومت تخلیه، تمامی خازن ها را تخلیه می کند.

## ۲-۷- اندازه گیر مقسم ولتاژ خازنی دمپ شده

جهت اندازه گیری ولتاژ واقعی اعمال شده به عنصر مورد آزمایش، از اندازه گیر مقسم ولتاژ خازنی دمپ شده استفاده می شود. امپدانس در سمت فشارقوی این خازن به گونه ای محاسبه و طراحی می شود که باعث برگشت موج سیار مولد ضربه نشود. مقسم ولتاژ خازنی دمپ شده می تواند جهت اندازه گیری ولتاژهای AC و ضربه (صاعقه و سوئیچینگ) بکار رود. همچنین برای اندازه گیری ولتاژهای بریده شده (Choopped Wave) ضربه صاعقه نیز مناسب است. اندازه گیر فوق الذکر از ۲ خازن 600 کیلوولت ایمپالس تشکیل می شود.

یک واحد با دو وظیفه تضعیف کننده ولتاژ (atteniuator) و تطبیق دهنده امپدانس (Matching) در سمت زمین خازن ورودی شاسی مقسم ولتاژ نصب می شود.

تضعیف ولتاژ متناسب با نسبت تبدیل مورد نیاز است و برای این مولد ضربه  $\frac{1}{857}$  می باشد که ولتاژ 800kV را به ایمپالس 1400V تبدیل می کند.

تطبیق امپدانس نیز متناسب با نوع کابل خروجی است و برای این مولد، امپدانس کابل 50Ω پیش بینی شده است.

این واحد را به اختصار (Matching) یا جعبه تطبیق امپدانس می نامیم.

بدین ترتیب مشخصات نامی مقسم ولتاژ خازنی به صورت زیر است:

ولتاژ نامی ضربه 800kV

ظرفیت نامی 700 pF

مقاومت دمپینگ 80 Ω

ارتفاع تقریبی کل اندازه گیر 440 Cm

مجموعه فوق روی شاسی اندازه گیر مقسم نصب می شود. شاسی از نوع متحرک بوده و با توجه به وزن کل مجموعه طراحی و محاسبه می شود. با توجه به ارتفاع مجموعه، تمهیدات لازم جهت تعادل مکانیکی در نظر گرفته می شود تا از نظر مکانیکی پایدار شده و استحکام لازم را داشته باشد.

جهت توزیع مناسب شدت میدان الکتریکی یک الکتروود نصب می شود.

## ۲-۸- سیستم شارژینگ

این سیستم، انرژی لازم جهت شارژ خازن های مولد ضربه را تأمین می کند و دارای اجزای زیر است:



## ۹-۲- سیستم کنترل، مانیتورینگ و ثبت شکل موج

جهت شروع آزمایش بعد از انجام تنظیمات کلی مجموعه مولد ضربه، فاصله گوی‌ها با توجه به سطح ولتاژ مورد نظر در آزمایش توسط اپراتور در محدوده تعیین شده تنظیم می‌شود. بدلیل اینکه گوی طبقه اول به صورت تریگ شونده می‌باشند، نیازی به تنظیم دقیق فاصله گوی‌ها روی یک عدد ثابت نبوده و کافی است که فاصله گوی‌ها در محدوده مورد نظر قرار گیرد در صورت درخواست مشتری می‌توان مقدار فاصله گوی‌ها توسط روش **Zero Span** اندازه‌گیری نموده و در میکتر قابل رویت باشد.

بعد از انجام تنظیمات مربوطه به فاصله گوی‌ها با روشن شدن منبع تغذیه، ژنراتور شارژ شده و انرژی‌دار می‌شود که مقدار ولتاژ شارژ شده ژنراتور از میکتر قابل رویت است. در این وضعیت با صدور فرمان تریگ از میکتر، گوی تریگ شونده اولین طبقه آتش شده و بدین ترتیب مجموعه گوی‌ها مولد به طور همزمان آتش شده و انرژی ذخیره شده در مولد بر روی عنصر مورد آزمایش تخلیه می‌شود. طبق استاندارد **IEC60060-1** در موج ایمپالس سه پارامتر ولتاژ پیک، زمان پیشانی موج و زمان پشت موج حائز اهمیت می‌باشند. ولتاژ پیک توسط دستگاه **DIV** اندازه‌گیری می‌شود و جهت دو پارامتر دیگر سیستم مانیتورینگ موج ایمپالس پیشنهاد می‌گردد. توسط این سیستم می‌توان شکل موج ایمپالس را ثبت، ذخیره و پرینت نمود و پارامترهای مورد نظر را بر روی شکل موج مشاهده کرد.

## ۳- لیست اجزاء مجموعه

بطوریکه در بخش‌های قبلی تشریح شد مجموعه مولد ضربه از اجزای مختلفی تشکیل یافته است که لیست اجزاء هر قسمت بطور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد:

### لیست قطعات اصلی ژنراتور ضربه

تعداد	عنصر
۸ عدد	خازن <b>100kV/10kJ/2μf</b>
۸ عدد	مقاومت‌های پیشانی و پشت برای موج ضربه صاعقه
۸ عدد	سلفهای ۲۰ میکرو هانری
۸ عدد	مقاومت شارژ
۱ عدد	شاسی متحرک
۱ دستگاه	گوی تریگ شونده
۸ جفت	گوی معمولی
۸ تکه	میله متحرک گوی‌ها به همراه فلنچ‌ها و یاتاقان‌های مربوطه
۱ سری	لوله محافظ گوی‌ها
۱ عدد	مکانیزم حرکت و تنظیم فاصله گوی‌ها
۱ مجموعه	سیستم ارت اتوماتیک

لیست قطعات اصلی اندازه گیر مقسم ولتاژ خازنی

تعداد	عنصر
۱ عدد	شاسی متحرک
۱ عدد	خازن اندازه گیر <b>700 pF / 800 kV</b>
۱ عدد	گریدینگ فوقانی
۱ عدد	تطبیق دهنده امپدانس (مچینگ)

لیست قطعات اصلی منبع تغذیه DC

تعداد	عنصر
۱ دستگاه	منبع تغذیه <b>0-220/100kVAC/15kVA</b>
۱ دستگاه	دیود یکسوساز
۱ دستگاه	مقاومت محافظ
۱ دستگاه	مقسم اندازه گیری <b>100kV/280MΩ</b>

لیست قطعات اصلی سیستم کنترل، مانیتورینگ و ثبت شکل موج

تعداد کل	عنصر
۱ دستگاه	تابلوی کنترل به همراه کنترل و میترها
۱ دستگاه	رک صنعتی
۱ دستگاه	سیستم کنترل تریگر
۲ دستگاه	دستگاه پیک ولت متر دیجیتالی <b>DIV</b>
۱ دستگاه	اسیلوسکوپ حافظه دار دیجیتالی
۱ دستگاه	پرینتر لیزری

#### ۴- تجهیزات Optional

در صورت درخواست مشتری و به صورت جداگانه تجهیزات بندهای ۴-۱ و ۴-۲ قابل ارائه به مشتری می باشد:

##### ۴-۱- سیستم مانیتورینگ، ثبت و آنالیز شکل موج (Impulse Analyzer)

سیستم کنترل تریگ شامل یک کارت الکترونیکی تریگ با دو خروجی به شرح زیر است:

- خروجی اول: تأمین کننده پالس تحریک ترانسفورماتور پالس مربوط به اولین طبقه بوده و مولد را آتش می کند.
- خروجی دوم: تأمین کننده پالس تریگر برای سیستم ثبت و آنالیز شکل موج است. سیستم ثبت و آنالیز شکل موج شامل یک کامپیوتر مخصوص جهت آزمایشگاه فشارقوی است که با دریافت فرمان تریگر از کارت الکترونیکی تریگ، شروع به ثبت شکل موج از طریق یک برد دیجیتایزر می نماید که سرعت نمونه برداری دیجیتال آن **80MS/Sec** بوده و تعداد ورودی های آنالوگ آن دو کانال می باشد. این سیستم قادر است شکل موج گرفته شده را بر روی هارد دیسک خود ذخیره نماید. همچنین در بخش آنالایزر که شامل یک نرم افزار گرافیکی می باشد، پارامترهای مختلف شکل موج ضربه توسط این سیستم تعیین شده و این شکل موج ها با شکل موج های استاندارد مقایسه می شوند و به کمک پریتر لیزری، نتایج آزمایش های انجام شده قابل گزارش دهی می باشد.
- تذکر: این سیستم قابلیت تطبیق با سایر ژنراتورهای ایمپالس (اعم از ژنراتورهای ایمپالس ساخت جهاد دانشگاهی و یا ساخت کشورهای خارجی) را بنابر درخواست مشتری دارا می باشد.

#### ۵- سیستم کنترل اتوماتیک

جهت کنترل ژنراتور ایمپالس از یک مدار الکترونیکی اتوماتیک استفاده شده است. این سیستم با توجه به ولتاژ اعمال شده توسط کاربر، فاصله ی بین گوی ها را تنظیم نموده و از طریق سیستم شارژینگ، شروع به افزایش ولتاژ نموده و با رسیدن به ولتاژ تعیین شده عمل تریگ و تخلیه ی ژنراتور را انجام می دهد. همچنین با اعمال پالس تریگ به دستگاه آنالایزر، فرمان شروع ثبت شکل موج را صادر می نماید.

لیست قطعات اصلی سیستم مانیتورینگ، ثبت و آنالیز شکل موج

تعداد	عنصر
۱ دستگاه	دیجیتایزر ۸۰ Ms/sec , 2 channel
۱ نسخه	نرم افزار ایمپالس آنالایزر
۱ دستگاه	کامپیوتر صنعتی فشارقوی
۱ دستگاه	مانیتور
۱ دستگاه	پریتر لیزری
۱ دستگاه	رک صنعتی



## ۶- مواد اولیه

کلیه اکتیو پارتها از مرغوبترین مواد اولیه در دنیا استفاده میشود که در ذیل آورده شده است:

- روغن ترانس: NYNAS سوئد یا APAR هند
- کاغذ عایق ترانس: Ahlstrom آلمان
- روغن خازن: ELF فرانسه
- فویل: Lawson سوئیس
- فیلم بعنوان دی الکتریک خازن: Bollore فرانسه
- هسته ترانس از شرکت ENPAY ترکیه

## ۷- شرایط کاری

ولتاژ خروجی مولدهای ایمپالس، تابعی از عوامل مختلفی نظیر ماهیت بار، ضریب بهره و شرایط محیطی می باشد.

❖ ماهیت بار

ولتاژ خروجی قابل دسترس، به ماهیت وسیله تست شونده بستگی دارد. بر این اساس میزان ظرفیت خازنی وسیله تست شونده و یا ماهیت سلفی آن در ولتاژ خروجی تاثیر گذار بوده و موجب کاهش ولتاژ خروجی خواهد شد. بنابراین بیشترین ولتاژ در حالت بی بار بدست خواهد آمد.

❖ ضریب بهره

پارامتر ضریب بهره بستگی به ساختمان ژنراتور ضربه و بار تست شونده داشته و بین  $0.85 \sim 0.95$  می باشد.

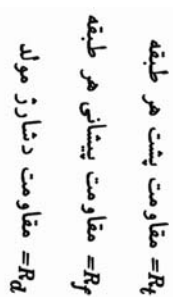
❖ شرایط محیطی

تجهیزات فشار قوی برای شرایط محیطی استاندارد طراحی می شوند و با قرار گرفتن در محیط های مختلف، میزان ولتاژ خروجی آنها با توجه به ضریب شرایط محیطی تعیین می گردد. شرایط محیطی استاندارد طبق IEC60060-1 به قرار ذیل می باشد:

$$760[\text{mmHg}], 20 [^{\circ}\text{C}], 11 [\text{g}/\text{m}^3] = \text{شرایط متعارفی مطابق استاندارد IEC 60060-1}$$

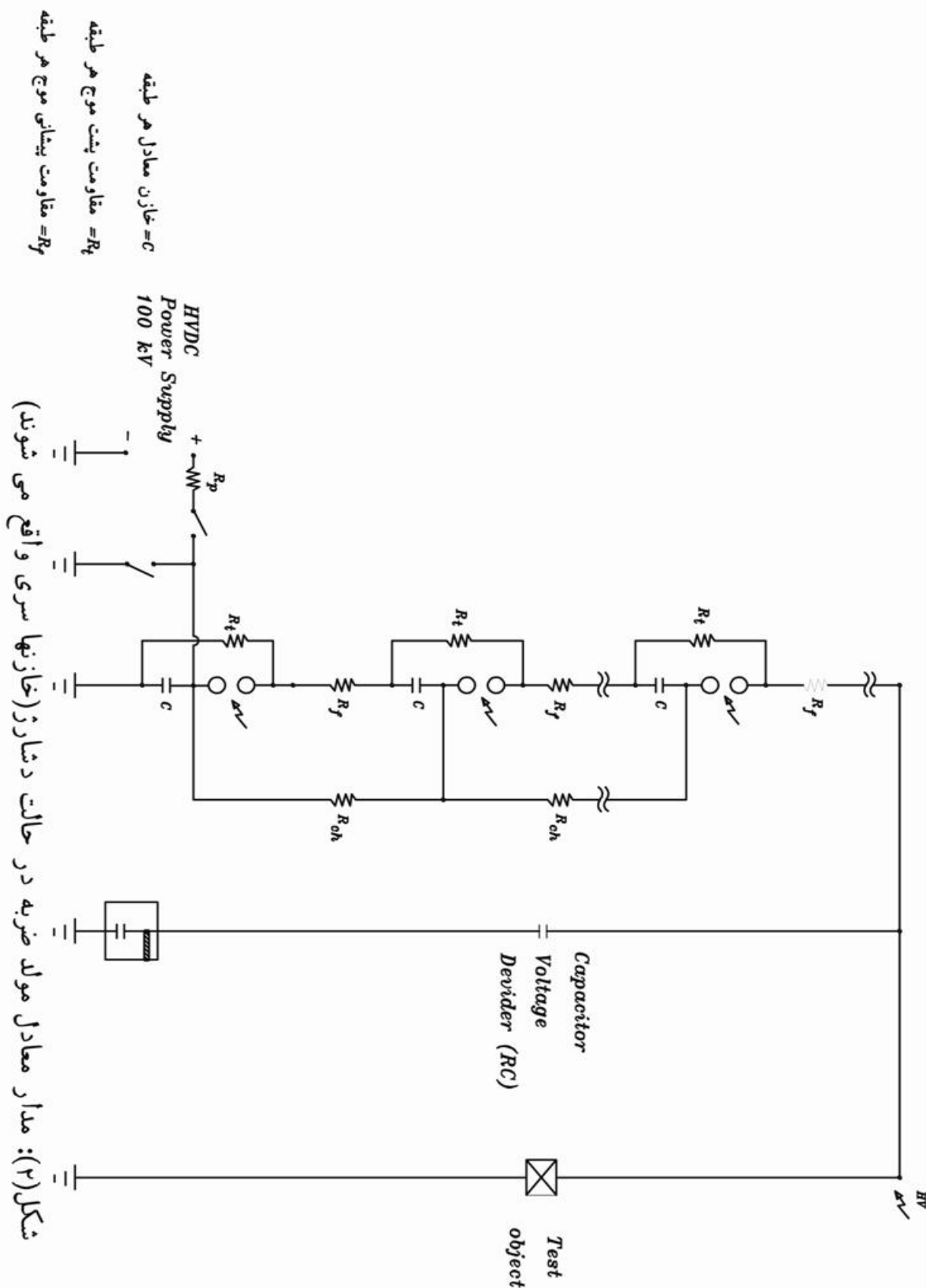
## ۸- نتیجه گیری

جهاد دانشگاهی علم و صنعت همواره تصمیم و علاقمندی خود را به رشد و توسعه در زمینه تجهیزات تست فشارقوی اعلام داشته و امیدوار است که بتواند گامی هر چند کوچک در این مسیر برداشته باشد و در این راه دست یاری و همکاری همه بزرگان این صنعت را می فشارد و در همین راستا آمادگی کامل خود را جهت ساخت مجموعه مولد ضربه  $800 \text{ kV} / 80 \text{ kJ}$  و سطوح ولتاژ بالاتر اعلام می دارد.



$C$  = خازن معادل هر طبقه  
 $R_{\gamma}$  = حفاظت منبع تغذیه HVDC  
 $R_{oh}$  = مقاومت شارژ هر طبقه

شکل (۱): مدار معادل مولد ضربه در حالت شارژ (خازنها موازی شارژ می شوند)



# حداوت از تجزیهات مارکووی در مقابل قطر اضافه ولتاژ

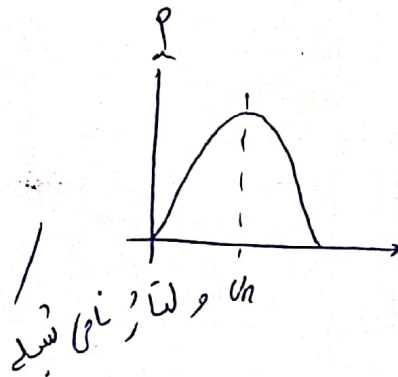
دو عامل:

① وقوع اضافه ولتاژ در شبکه

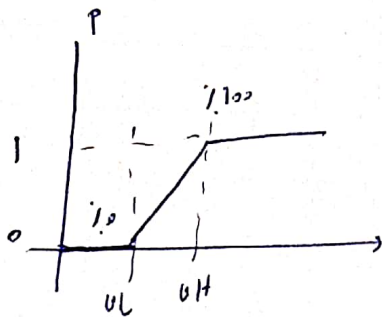
② عدم تحمل سازهایی تجزیه در مقابل اضافه ولتاژ بدیده

آسیب دیدن  
تجزیه با وقوع  
در شبکه

① وقوع اضافه ولتاژ در شبکه به توزیع نرمال



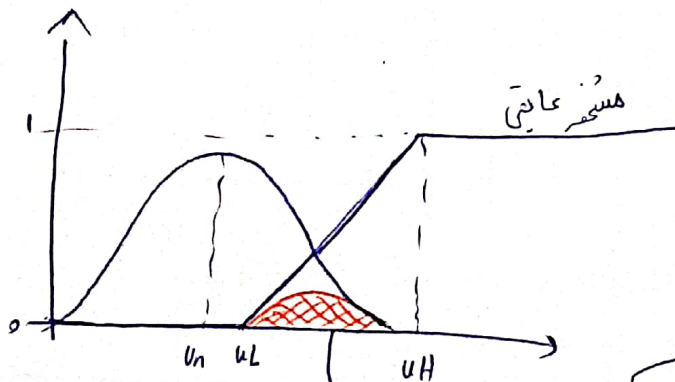
② سطح وقوع در شبکه



بین  $u_L$  و  $u_H$  احتمال بین ۰ و ۱ است.

احتمال آسیب دیدن تجزیه: دو عامل از هم مستقل اند. تجزیه وقتی آسیب می بیند که دو عامل با هم And شوند.

← X شوند.



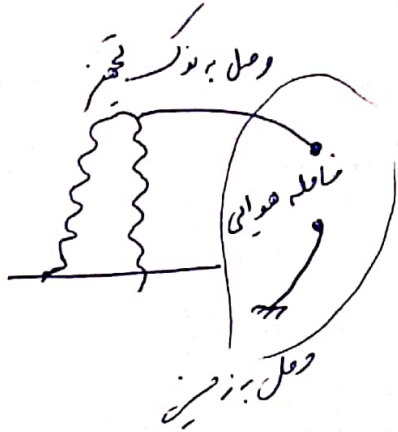
ناحیه احتمال آسیب دیدن تجزیه



کامر ناصیه را قرمز - کم کردن ریسک آسیب دیدن بجهت

④ مسخر عائی را به سمت ولتاژها بزرگتر بلیسم - افزایش استقامت عائی - عایق بهتر

⑤ استفاده از جرقه گیر - از بین بردن اضافه ولتاژ - اضافه ولتاژ به زمین منتقل می شود.



به مدار هوا را عقب می شود.

خامنه هوایی، اطوری تقاطع می کنیم.

استقامت عائی داخلی بجهت  
" استقامت عائی خارجی بجهت  
ضعیف تر است استقامت عائی  
ساخته داخلی

باعمل کردن جرقه گیر قوس ایجاد می شود ولتاژ می شود.

مسئله  
صل  
V=0  
قوس

⑥ استفاده از مقاومت در مسیر جرقه گیر:

مقاومت غیر خازن کاربرد سیلیسیم که با خامنه هوایی سر می شود.  
کاربرد مناسب با مقدار جریان از خود مقاومت شان را دارد - ولتاژ می شود.

ولی مثل قوس شدید تر می شود. - با یو خازن کنیم که قوس را  
زودتر بتوانیم خاموش کنیم - روش فوت هفتاد و سی

افزایش طول مسیر قوس با عمل مانند فوت کردن  
با افزایش طول قوس، افت مقاومت می شود.

۴) می توان از اکسیدوس  $ZnO$  هم استفاده کرد. ماده اکسید مسطح الکتریکی شبیه

مقاومت غیر خطی دارد. مثل دیود زنر درجه ۱۱

$ZnO$  : دیود زنر قوس به استوانه های با ابعاد مسطح به عرض  $ZnO$   
و گیر فاصله هوایی حرجه گیرند.

اگر ولتاژ از حد زیاد شود به مقاومت کاهش می یابد به عبور جریان شود  
به مقدار ولتاژ در یک مقدار مسطح ثابت می شود.  
 $V=RI$

مختارین روش ← قوس نیست  
✓ ظاهرش نیست

عیب برق گیر  $ZnO$  :

جریان نسبی در  $mA$  دارد و بعد از چند بار عملکرد حرارت  $mA$  می شود. به حرارت

راه حل : عوض کردن قوس ها

۱) زیر برق گیر یک کنتور مقدار عملکردی گذارند. به اساس کانال  $ZnO$   
به ازای هر چند بار عملکرد، قوس ها  $ZnO$  را عوض می کنند.

۲) با آکسید هر جریانی نسبی را اندازه گیر می کنند. از یک حد بیشتر قوس  
 $ZnO$  را عوض می کنند.