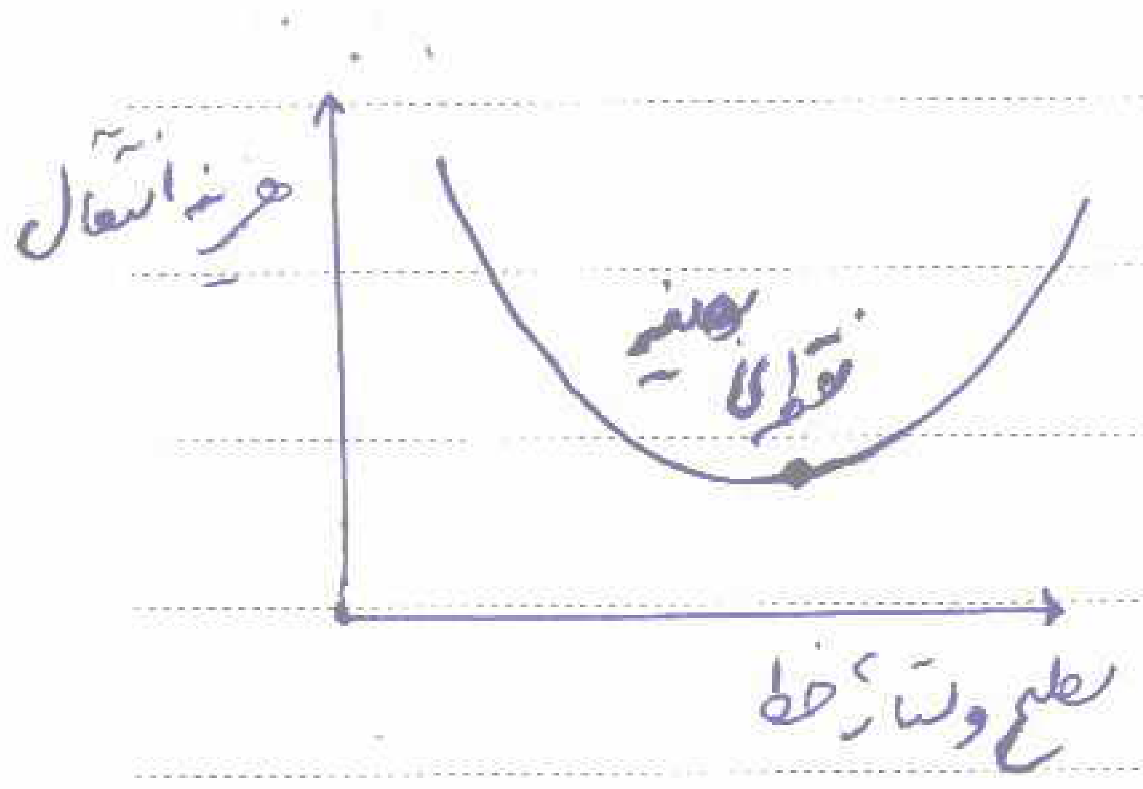
1. High Voltage Engineering. Fundamentals $\xrightarrow{by}$ Kuffel, Zaengl

۲. دانشگاه تهران - دکتر محسنی - مهندسی فشار قوی



باید تجهیزات را از نظر اینکه تحمل ولتاژهای بالا را دارند یا ندارند، بررسی کرد.

۱. استقامت الکتریکی را با شدت میدانی که می‌تواند تحمل کند بررسی می‌کنند.

الکترود اینجا عایق باعث کمتر شدن تحمل خواهد شد چون روی میدان ها تأثیرات نامطلوبی می‌گذارد.

۱. باید بتوان ولتاژهای بالا تولید کرد.

۲. تست و اندازه‌گیری تجهیزات از نظر عایقی

۳. محاسبه میدان‌های الکتریکی

۴. انواع عایق‌ها
- گازی
- مایع
- جامد

تلفات برق ایران حدود ۲۰ درصد است، در بوشهر حدود ۵۰ درصد است که البته شامل برق دزدی هم می‌شود.

قدرت نصب شده در ایران ۵۰ هزار مگاوات است ولی قابل استفاده‌ی آن ۴۰ هزار مگاوات است.

هر ۴۰۰ متر یک دکل می‌زنند که هر کیلومتر حدود ۱۶۰ میلیون در می‌آید.

ولتاژهای تست

۱. ولتاژ معمولی با فرکانس قدرت (در ایران ۵۰^{Hz})

۲. ولتاژ ضربه: ولتاژی است با دامنه‌ی بسیار بالا که در زمان کوتاه اعمال می‌شود

۱. ولتاژ ناشی از رعدوبرق ۲. ولتاژ ناشی از باز و بسته کردن کلید (که ممکن است تا ۲ برابر ایجاد شود)

برای شبکه‌های که ولتاژ نامی‌شان خیلی بالا است، ولتاژ ضربه ناشی از سوئیچینگ خطرناک است ولی در شبکه‌های که ولتاژ نامی‌شان پایین‌تر است ولتاژ رعدوبرق خطرناک‌تر است.

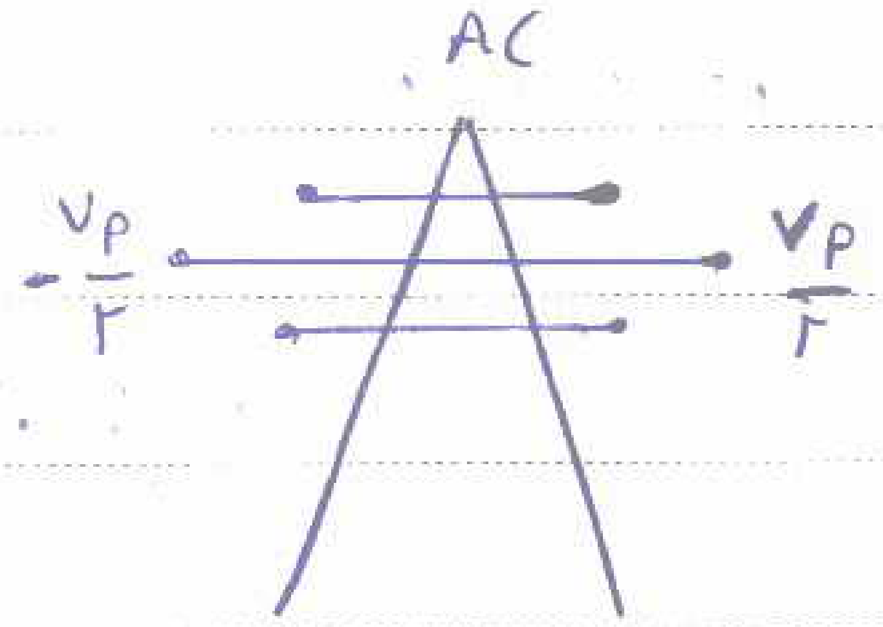
ولتاژهای سوئیچینگ چندین برابر ولتاژهای رعدوبرق اند.

۲۰^{kv} خط → ۴۰^{kv} ولتاژ سوئیچینگ این خط

۲۰۰ هزار ولت ولتاژ رعدوبرق

پس ولتاژ رعدوبرق در شبکه‌های که سطح ولتاژ نامی‌شان پایین‌تر است خطرناک‌تر است

۳. ولتاژهای DC:

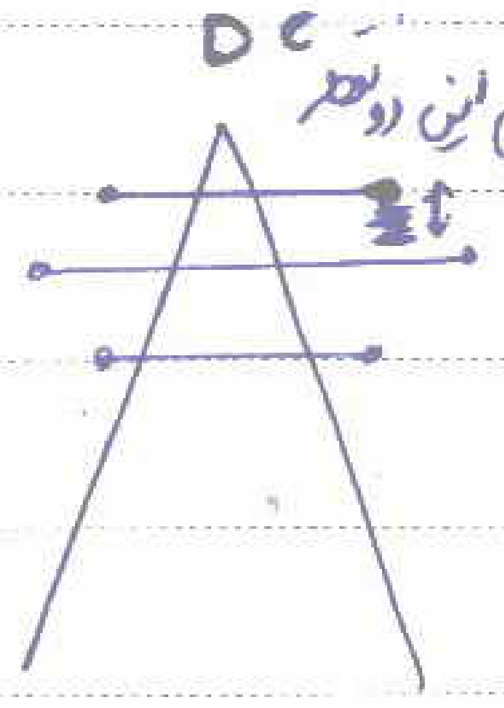


مدار $2\times\sqrt{3}\, V_L\, I_L \overset{1}{\cos\varphi}$

$2\sqrt{3}\times\sqrt{3}\, V_{pn}\, I_p$

مقدار موثر است

ماکزیمم قدرتی که می‌توان با این خط AC انتقال داد



حاوی اختلاف ولتاژ بین این دو فاز

$\sqrt{2}\, \overset{rms}{V_{pn}} = \frac{V_{DC}}{2} = V_{max}$

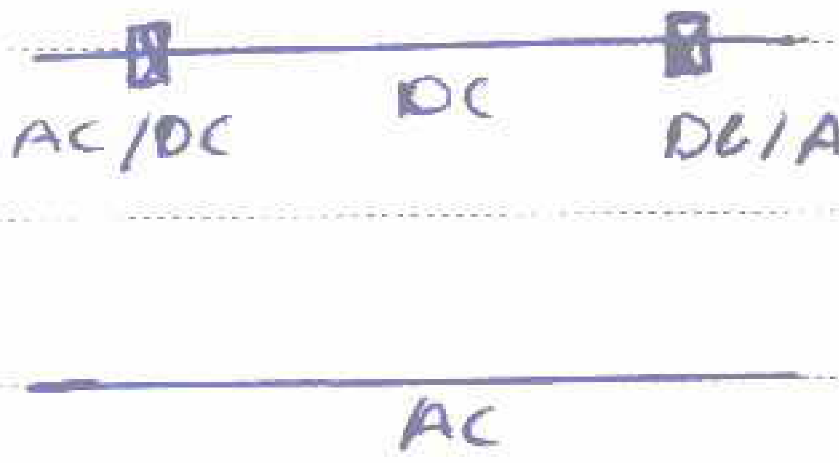
اگر خط‌ها را یکی باشد با ترتیب می‌توان $I_{DC} = I_{AC}$ گرفت

$3\, V_{DC}\, I_{DC}$

۳ تا فاز

$$\frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{\overset{۲\sqrt{۳}\,V_{pn}}{۳\,\cancel{V_{DC}}}\ \cancel{I_{DC}}}{۶\,V_{pn}\ \cancel{I_{AC}}} = \sqrt{۲} = ۱,۴۴$$

$$P_{DC} = \sqrt{۲}\ P_{AC}$$



این AC/DC ها گران اند و وقتی خط انتقال DC به صرفه تر است که خط طولانی باشد.

جاهایی که خط‌های DC استفاده می‌شوند:

۱- جاهایی که خط خیلی طولانی باشد.

۲- اینکه فرکانسش ۶۰^{Hz} و فرکانسش ۵۰^{Hz} است.

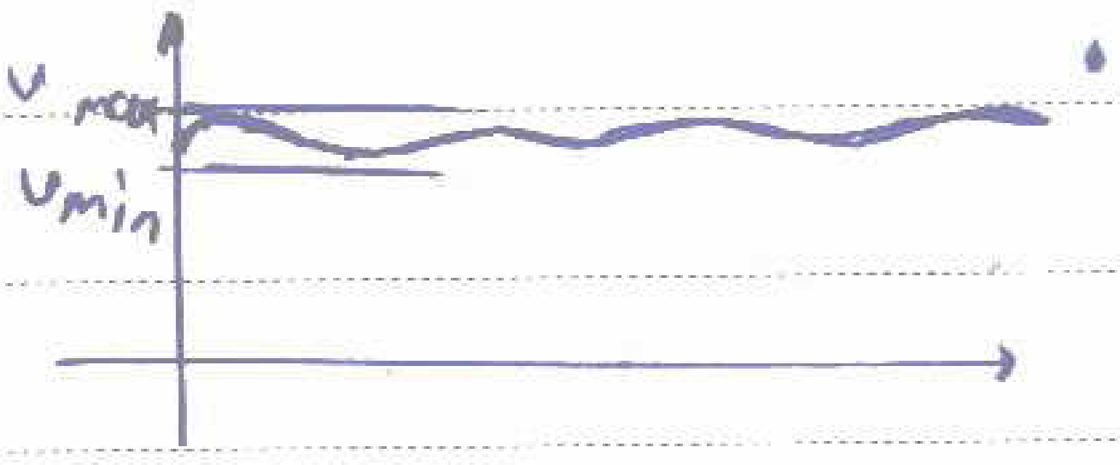
۳- جاهایی که می‌خواهیم باید شبکه‌ی پرنوسان برق مبادله کنیم و این نوسان به شبکه‌ها ربطی پیدا نکند (تورنتو و نیویورک)

۴- جاهایی که برق را با کابل و طولانی انتقال می‌دهیم. (فرانسه و انگلستان از طریق کابل داخل دریا مبادله برق دارند)

چون در کابل‌ها خاصیت خازنی زیاد می‌شود و کابل‌ها می‌سوزد.

تولید ولتاژ DC: ولتاژی که تغییرات کمی داشته باشد و تقریباً ثابت باشد.

ولتاژ متوسط $\boxed{\bar{V} = \frac{1}{T}\int^{T} v(t)\, dt}$

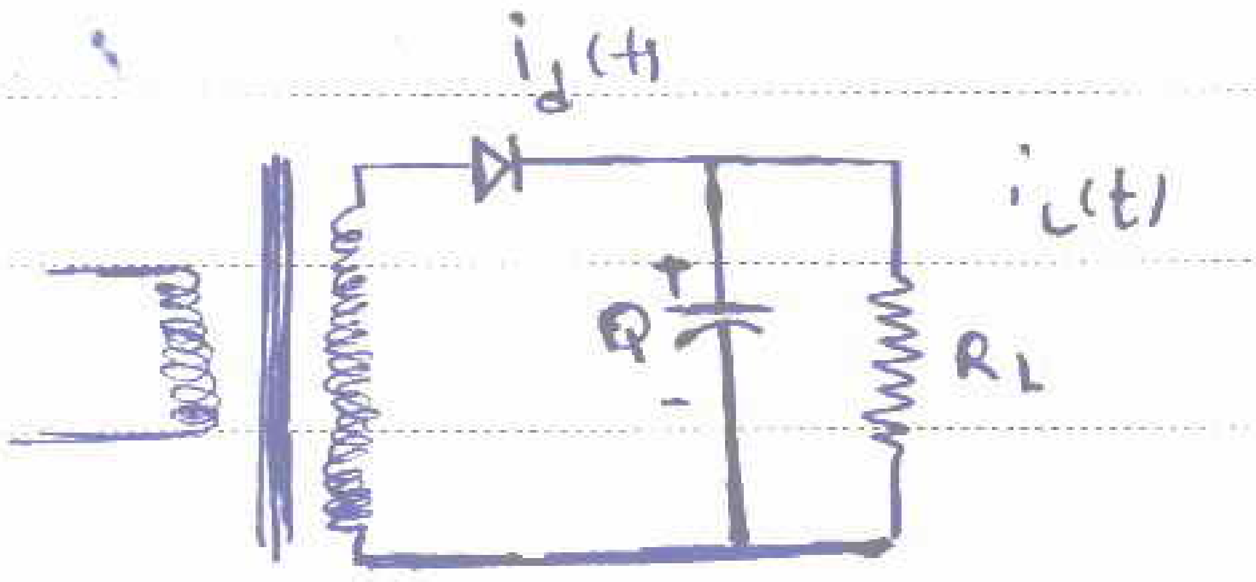


دامنه ولتاژ ریپل $\boxed{\delta V = \frac{1}{۲}(V_{max} - V_{min})}$

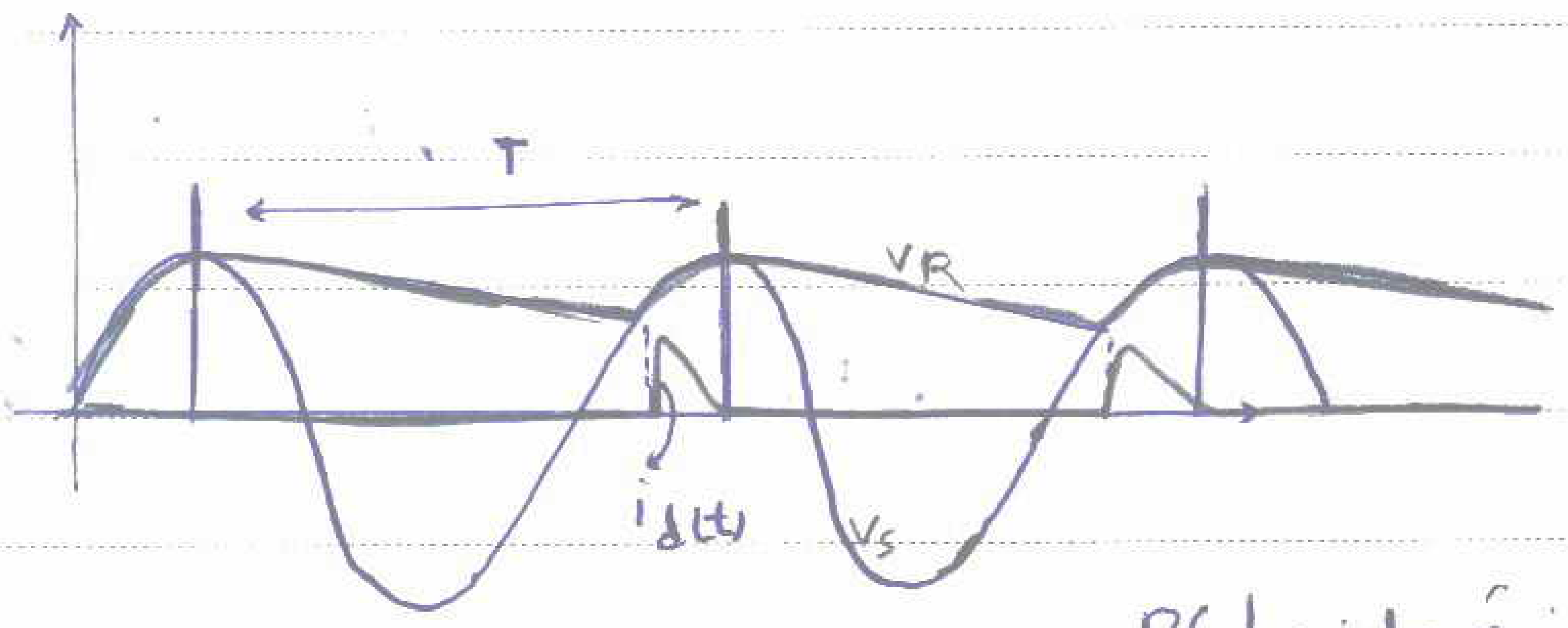
ripple factor $\boxed{\frac{\delta V}{\bar{V}} < ۵/۱۰۰} \longrightarrow$ مثلاً روی ۱۰۰^{kV}، $۹۵^{kV}-۱۰۵^{kV}$

روش های تولید ولتاژ DC :

۱- یکسوساز نیم موج :



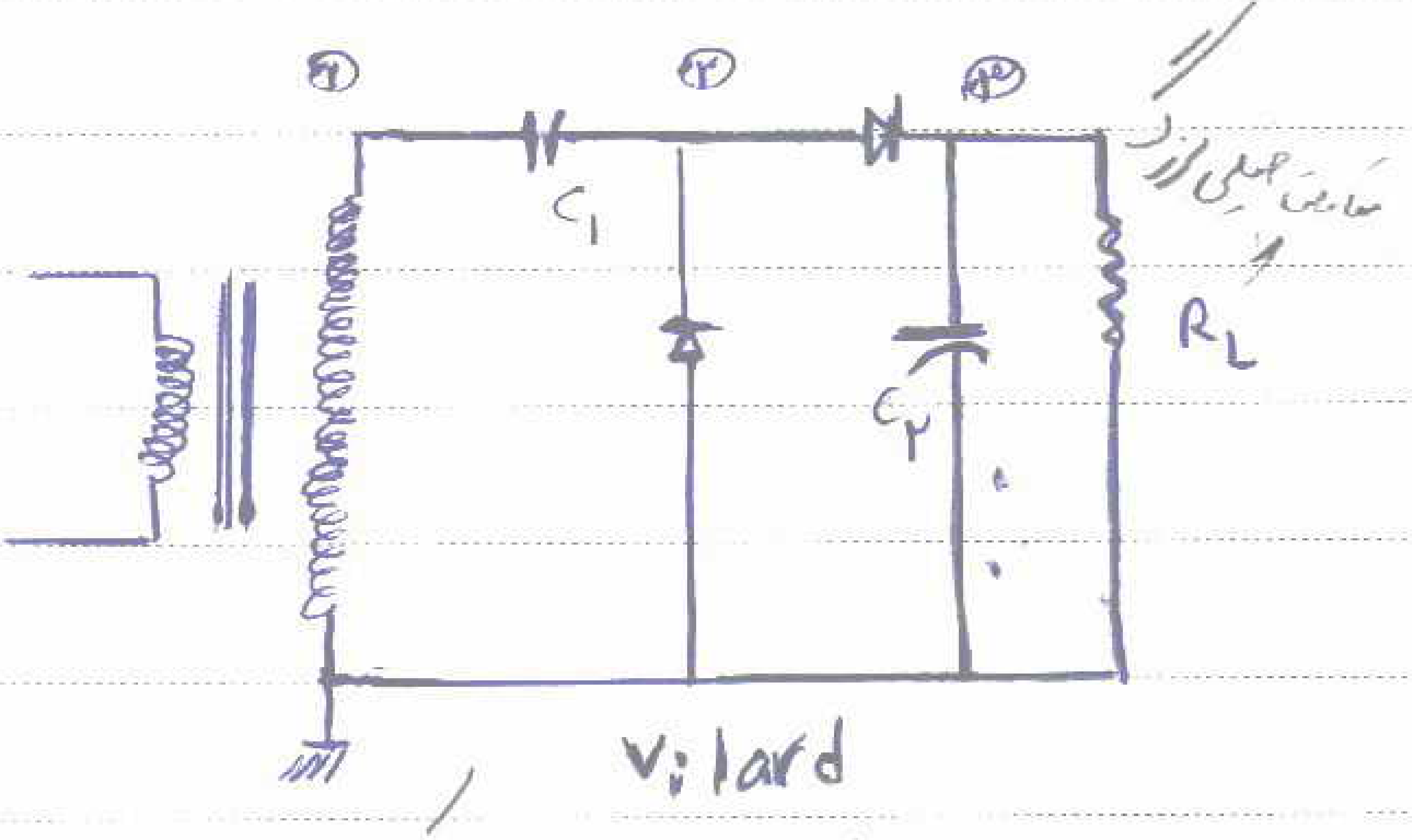
$i_L(t)$ خیلی بیشتر از $i_d(t)$ است باید از یکسوسازی استفاده کرد که شکل این جریان را داشته باشد.



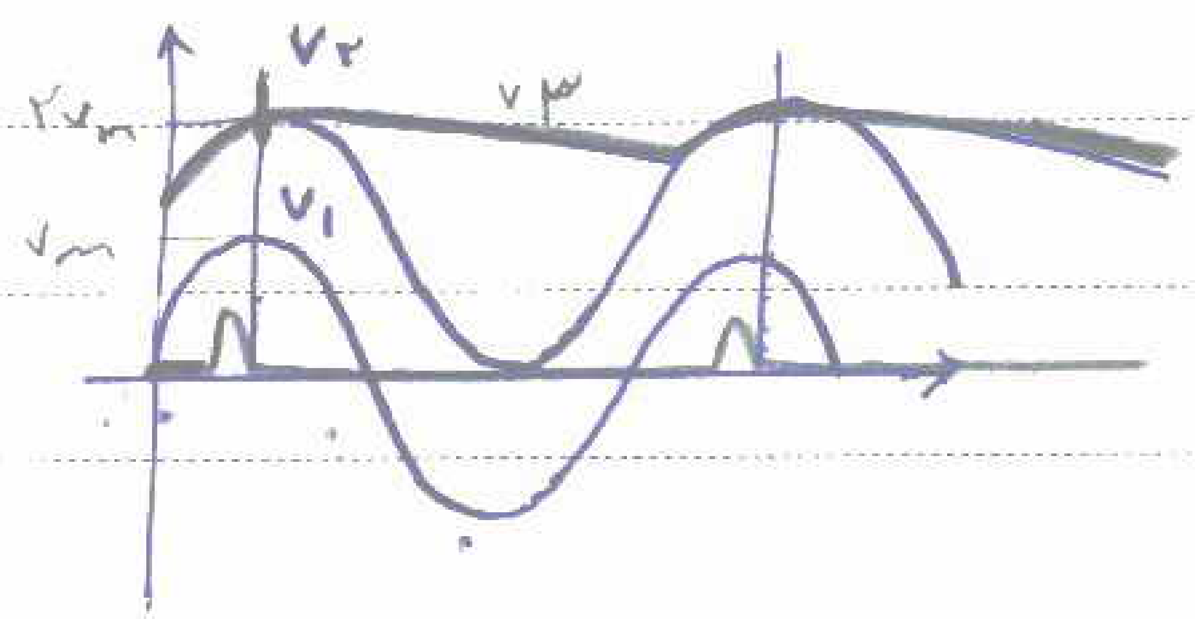
اگر بخواهیم ripple را کم کنیم خازن را بزرگ در نظر می‌گیریم چون فرکانس را همان $50\,Hz$ در نظر می‌گیرند و ظرفیت این خازن تعیین کننده قیمت این مولد DC خواهد بود.

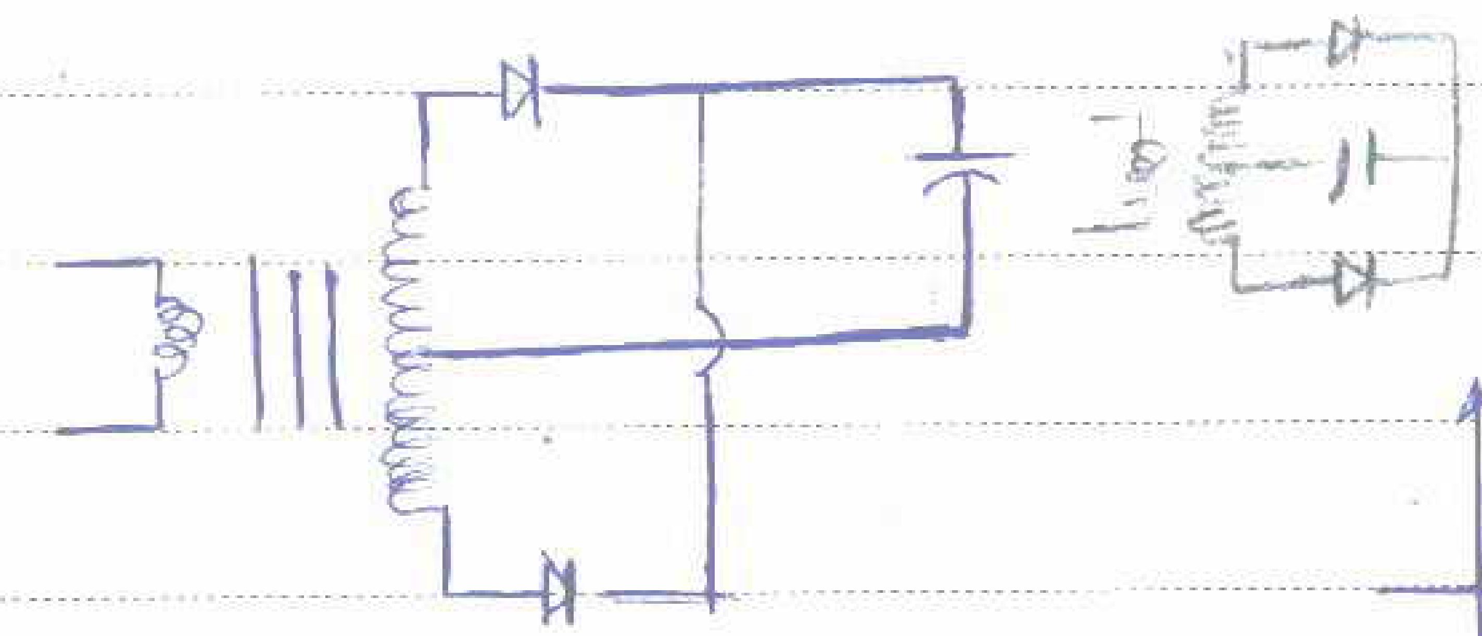
$$i = C\,dv/dt \qquad Q = 2\underbrace{\delta V}_{\text{نصف تغییرات ولتاژ ریپل}}C = IT$$

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

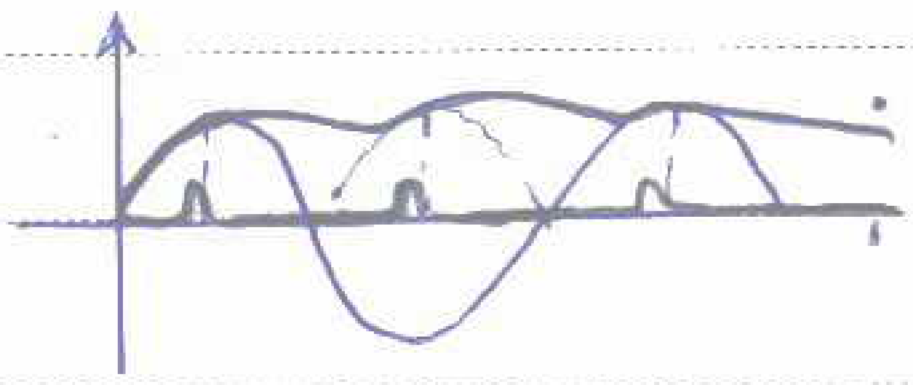


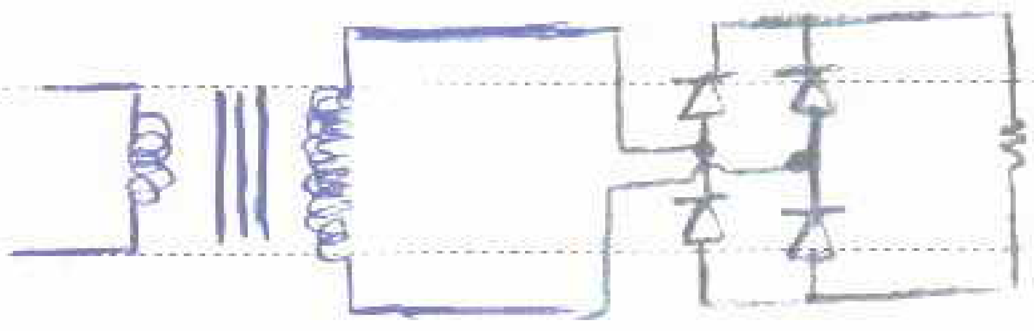
مدار ویلارد دو برابر کننده





در این مدار مقدار δV (ripple) ظهور پیدا می‌کند

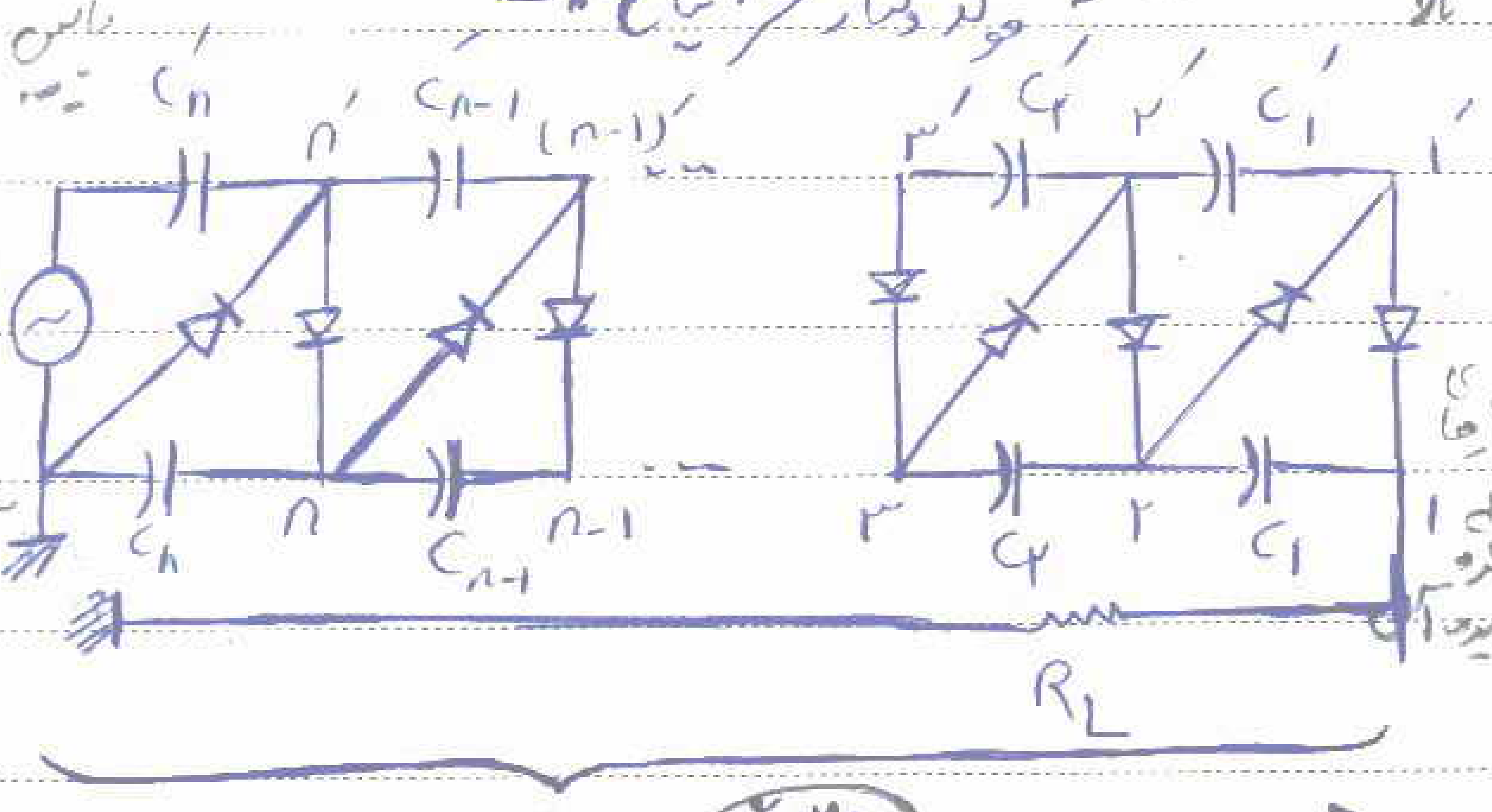




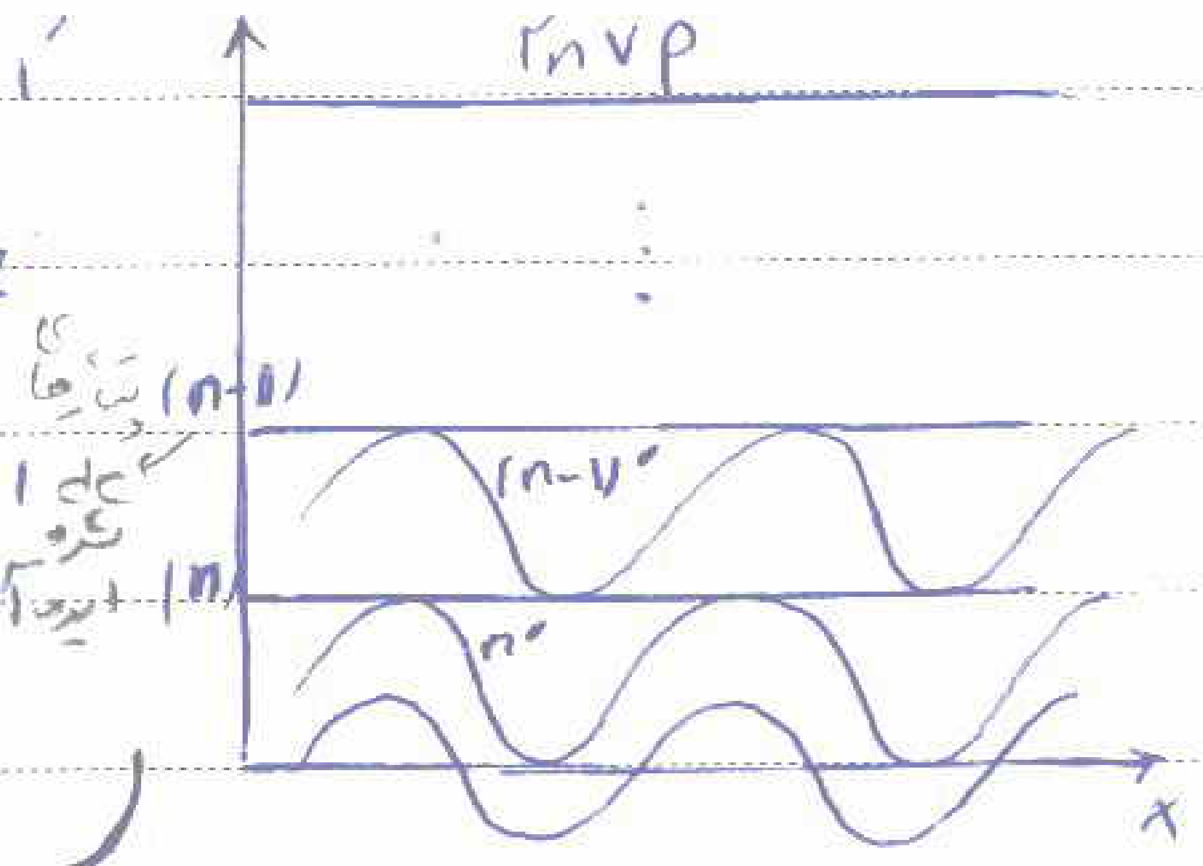
۲- مدارهای ولتاژ چندطبقه :

بالا

- ۱ مولد ولتاژ گرایناخ -



روی هر کدام از خازن‌های اولیه $2V_p$ ولتاژ می‌افتد



$\boxed{2nV_p}$

خازن معادل خازن‌های سری $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} \longrightarrow \delta V = \frac{I}{2f} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$

- جریان تأمین شده [illegible] (mA) است

- حداقل ولتاژ تحملی هر یکسوساز $2V_m$ است.

- بهترین کار این است که در طبقات پایین‌تر ظرفیت خازن‌ها بیشتر باشد:

$$\delta V = \frac{I}{2f}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{2}{C_2} + \cdots + \frac{n}{C_n}\right)$$

۱. در این مدار با اضافه کردن هر طبقه ripple افزایش می‌یابد

۲. بین طبقه‌های مختلف هیچ عایقی از نظر فیزیکی وجود ندارد.

$C_1 = C_2 = \cdots = C$

- پایین‌ترین طبقه بیشترین اعوجاج را دارد، زیرا هر طبقه روی طبقات بالایی تأثیر دارد.

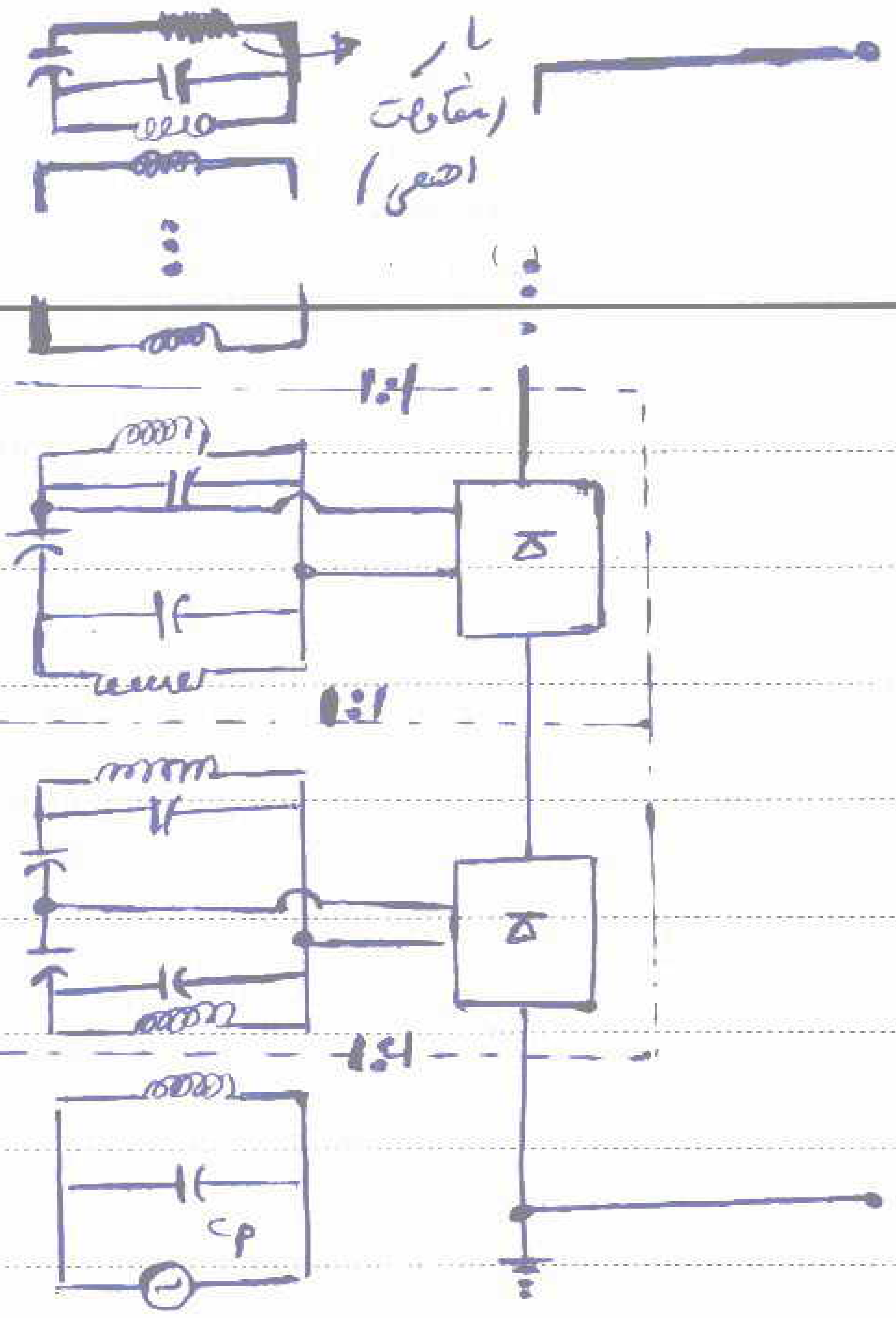
- بار هر طبقه از طبقه پایینی تأمین می‌شود.

$$\boxed{\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n(n+1)}{4}}$$

می‌باید توجه کرد :

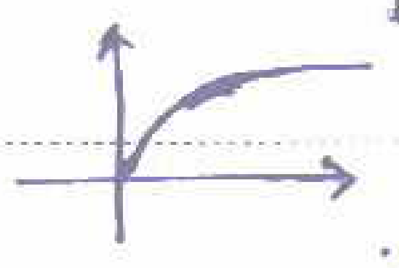
چون خازن‌ها با هم سری گرفته شده‌اند مقدار معادل خازن‌های سری از کوچکترین آنها کوچکتر است [illegible] معادل کاهش می‌یابد و لذا ریپل افزایش می‌یابد

- مدار ولتاژ Engetron یا Deltatron -



- خازن های سری، اندوکتانس را خنثی می کنند.

- وقتی اولیه همه ی ترانس ها یکی باشد مشکل اشباع



شکل

هسته ایجاد می شود که برای حل این کار هسته از (چون ولتاژ ثانویه آن ها با بالا رفتن هر طبقه افزایش می یابد) هوا استفاده کردند اما بدون هسته شار مغناطیس کنندگی زیاد لازم است که برای تأمین آن از خازن C_p موازی با اولیه ثانویه استفاده کردند.

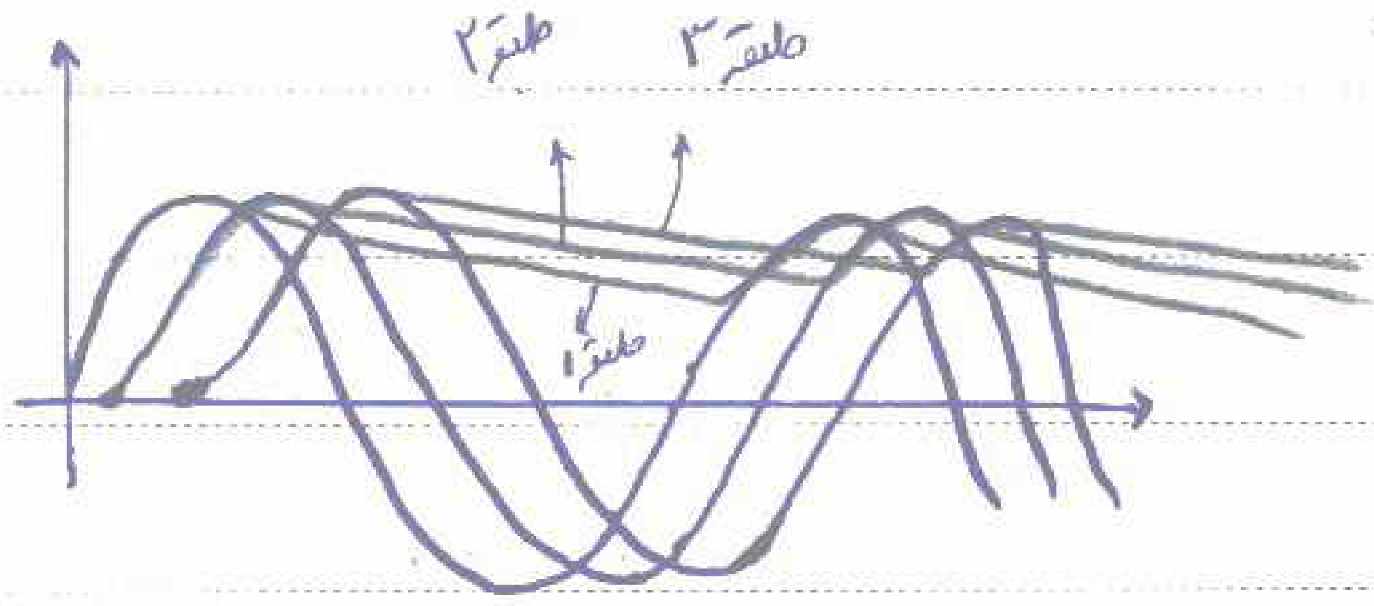
- در این مولد ثانویه هر طبقه با اولیه طبقه بعد است

- اگر بار انتهای خط کم باشد ولتاژ بالا می رود ولی اگر بار انتهای خط زیاد باشد ولتاژ پایین می آید.

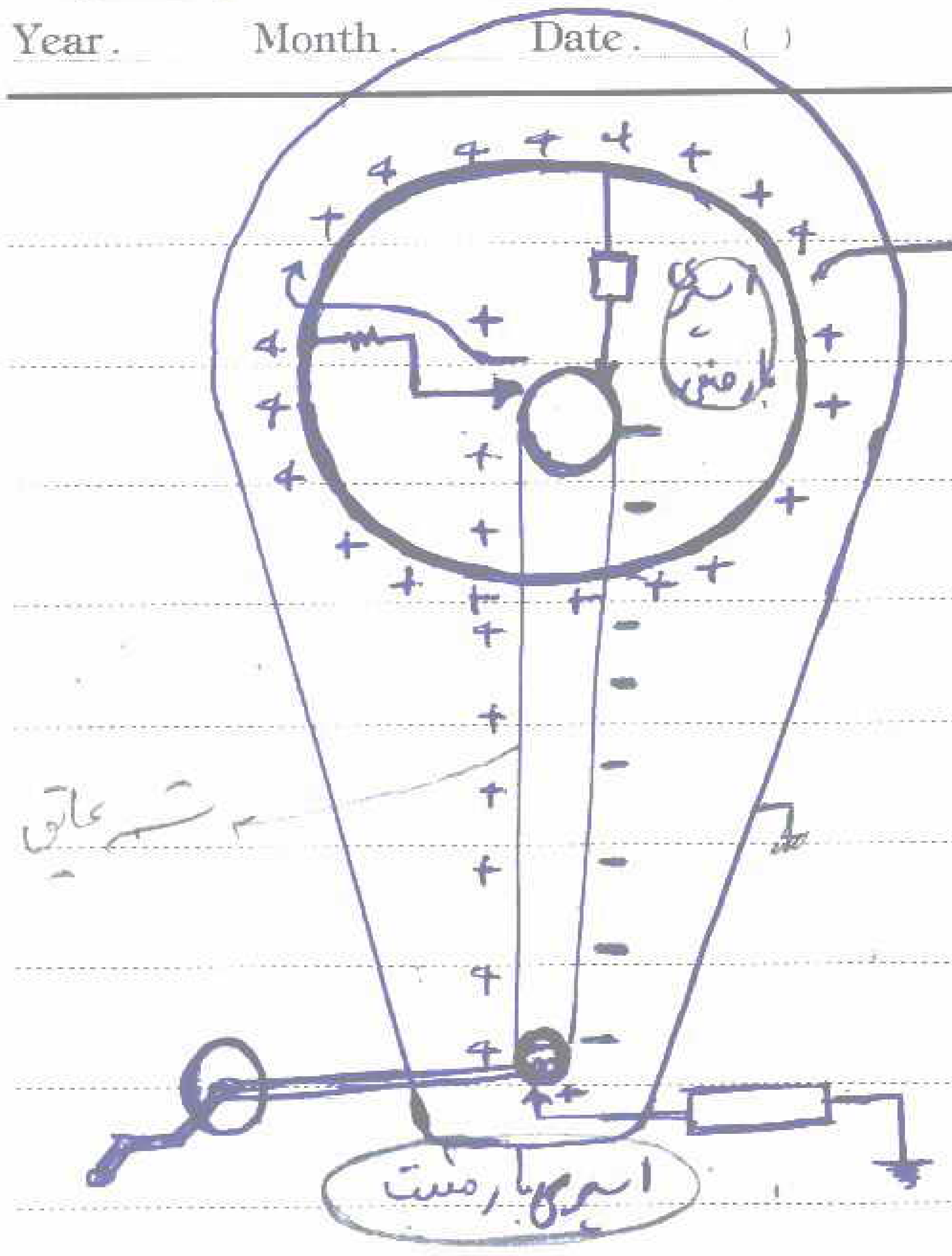
امپدانس مشخصه

- اگر بار $\sqrt{\frac{L}{C}} = Z_c$ باشد اندازه ی ولتاژ در تمام طول خط یکسان خواهد بود و فقط کمی زاویه تغییر می کند

- این مولد در حقیقت یک خط انتقال است که بار آن را Z_c انتخاب کرده اند تا اندازه ولتاژ در همه ی آن یکی باشد و فقط زاویه دیگر تغییر کند و این تأخیر شکل موج ولتاژ هر طبقه مربوط به همین قضیه است که وقتی این ۳ شکل موج در خروجی جمع می شوند ripple کاهش می یابد.



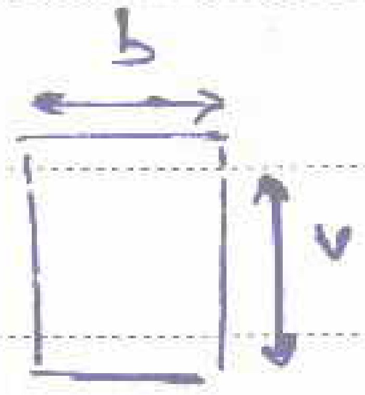
PaPCO



۸- مولد واندوگراف

یا مولد ولتاژ الکترواستاتیک

این مولدها ولتاژ را می توانند تا چندین میلیون ولت بالا ببرد



v سرعت تسمه ($\frac{m}{s}$)

b پهنای تسمه (m)

σ چگالی باری که روی تسمه قرار می گیرد ($\frac{\mu Q}{m^2}$)

$I = \sigma b v$ مقدار بار بر ثانیه

بالاترین جریانی که می توان با این مولد ساخت:

$\sigma = 27 \ \mu Q/m^2$, $v = 20 \ m/s$; $b = 1 \ m$

$I = 540 \ \mu A \simeq 0.5 \ mA$

$250 \ mA - 1 \ mA$ جریان اسپ [illegible]

۸ آیا برای ولتاژ [illegible] دارای تعریف [illegible]

[illegible] ولتاژها → [illegible] DC

علت اینکه این ولتاژ خطرناک نیست چون بار کمی روی آن جمع می شود.

پس جریان کمی خواهد داشت. این مولد ولتاژش زیاد تنظیم شده نیست.

تولید ولتاژ AC: امکان ساخت ولتاژ سینوسی کامل وجود ندارد یعنی حتی ولتاژ ژنراتورها هم تقریباً سینوسی است.

$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$ (موج)

ولتاژ را اگر نسبت $\frac{V_p}{V_{rms}} \simeq \sqrt{2}$ باشد آن را سینوسی در نظر می گیریم.

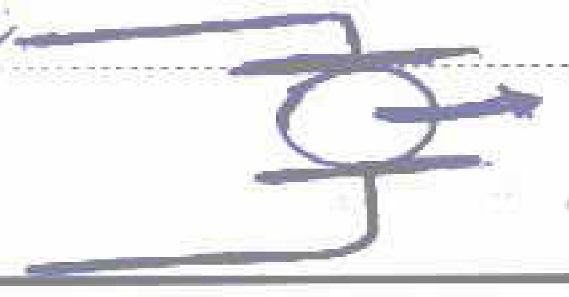
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt}$$

$$\frac{V_p}{V_{rms}} \simeq \sqrt{2} \rightarrow \frac{V_p}{V_{rms}} = \sqrt{2} \pm 5\% \sqrt{2}$$

به عنوان سینوسی قابل قبول است

در تست تجهیزات هسته دار برای اینکه به اشباع نرویم از فرکانس بالاتر از نامی استفاده می کنیم ولی به قصد فرکانس بالا

منبع ولتاژ تست باید علاوه بر ولتاژ، جریان را هم تأمین کند



تجهیزات عایقی مورد تست

$$\begin{cases} I = j\omega C V_t \\ P = j\omega C V_t^2 \end{cases} \rightarrow$$

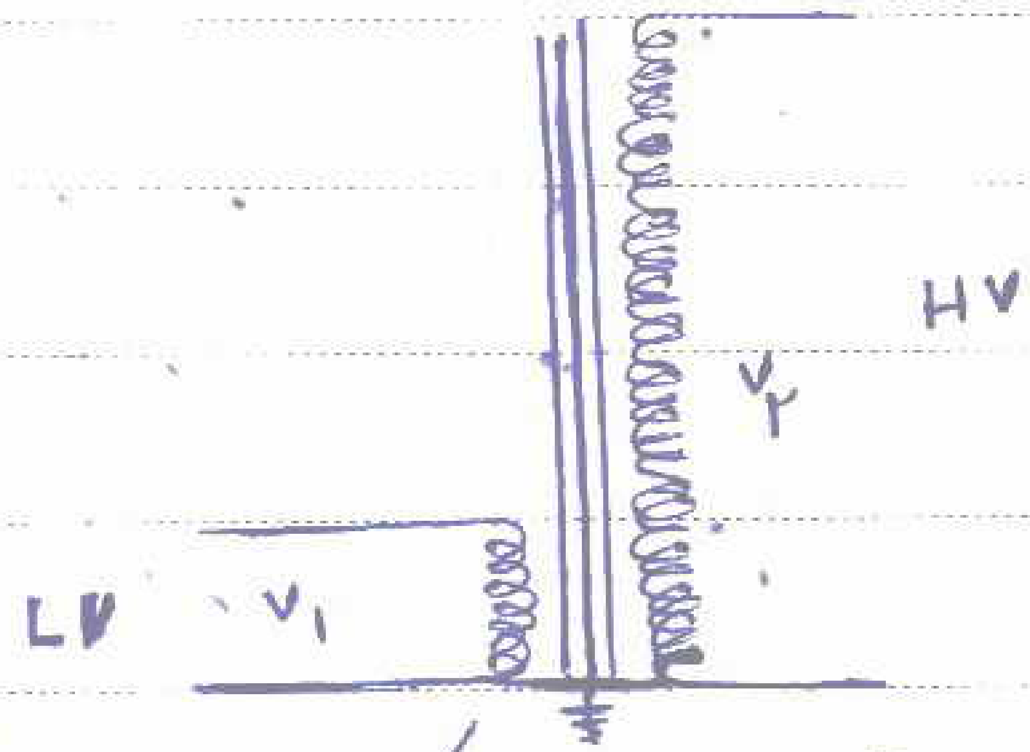
جریان و ولتاژی که منبع ولتاژ تست باید تأمین کند.

– اگر این جریان تأمین نشود تست درست نخواهد بود، کافی است جریان بیشتر از
جریان نوسان ضعیف نیز است و ... خواهیم داشت

$$P_n = K \omega C V_t^2$$

ظرفیت خازنی تجهیزی که باید تست شود

ترانسفورماتور تست:

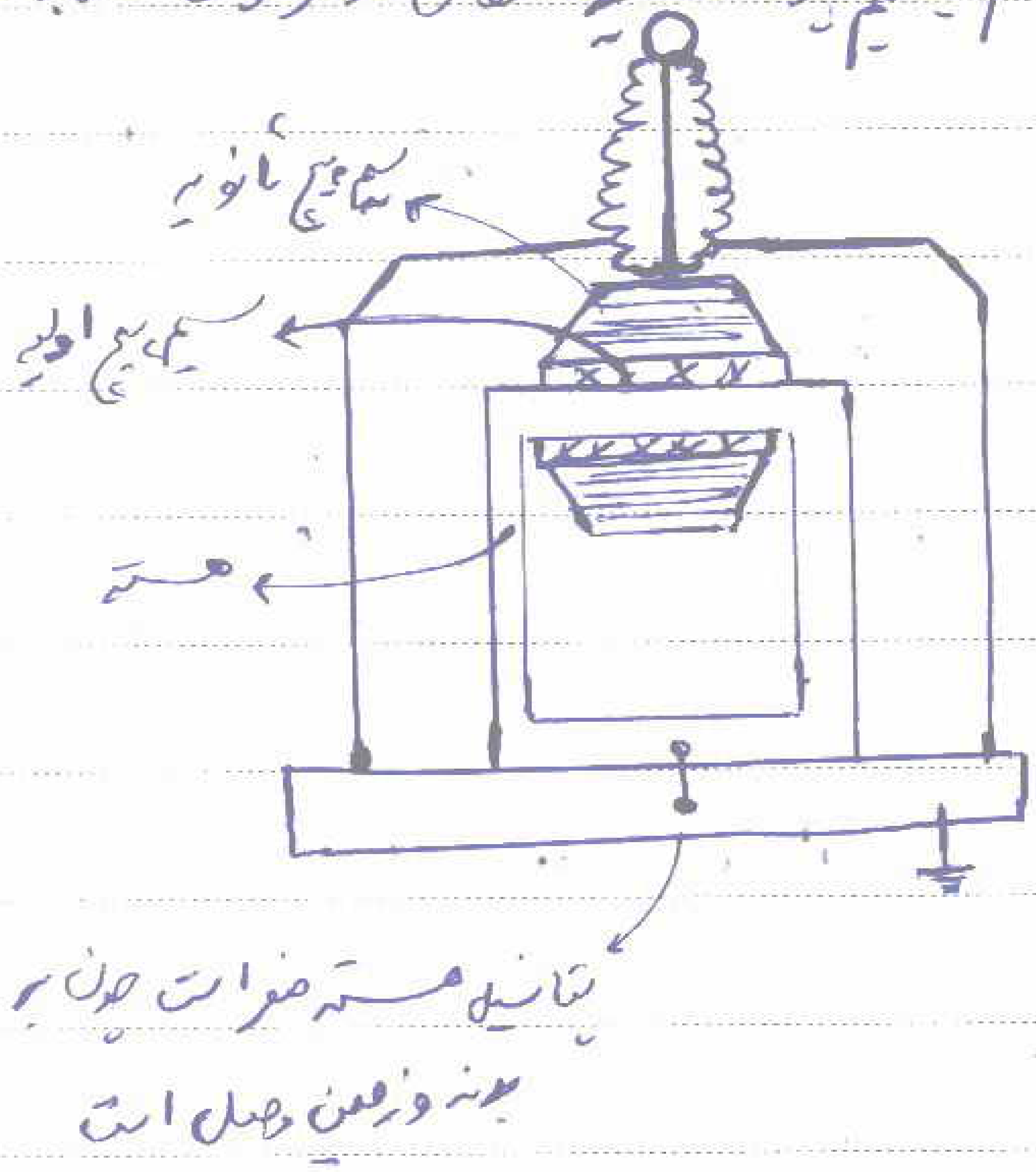


در ترانس های معمولی هدف انتقال قدرت است و

کاهش تلفات برای ما مهم است ولی در این ترانس ها عایق سیم پیچی برای ما مهم است

برای شبکه نیرو (مانند الکترونیک و مخابرات به دنبال انتقال حداکثر توان) نیستیم چون در تطبیق انتقال حداکثر توان ۵۰٪ تلفات

خواهیم داشت | $Z_{eq} = Z_{in}$



$C = \varepsilon A/d$ ↑

$cte = 2\pi r l$ ↓

سیم پیچ ثانویه ذوزنقه‌ای است چون می‌خواهیم ظرفیت خازنی هر لایه از سیم پیچ

ثانویه با لایه بعدی ثابت باشد که در صورت ثابت بودن خازن می‌تواند

میدان یکنواخت باشد و با این کار عایق کاری کاهش می‌یابد در صورتی که

اگر میدان یکنواخت نباشد باید عایق به کار رفته برای بیشترین میدان طراحی شده باشد.

مقایسه: این ترانس از آنجا که بدنه اش فلزی است به راحتی با بیرون انتقال گرما دارد ولی در ترانس بعدی چون بدنه از جنس عایق
(مقدار کار بیشتر)

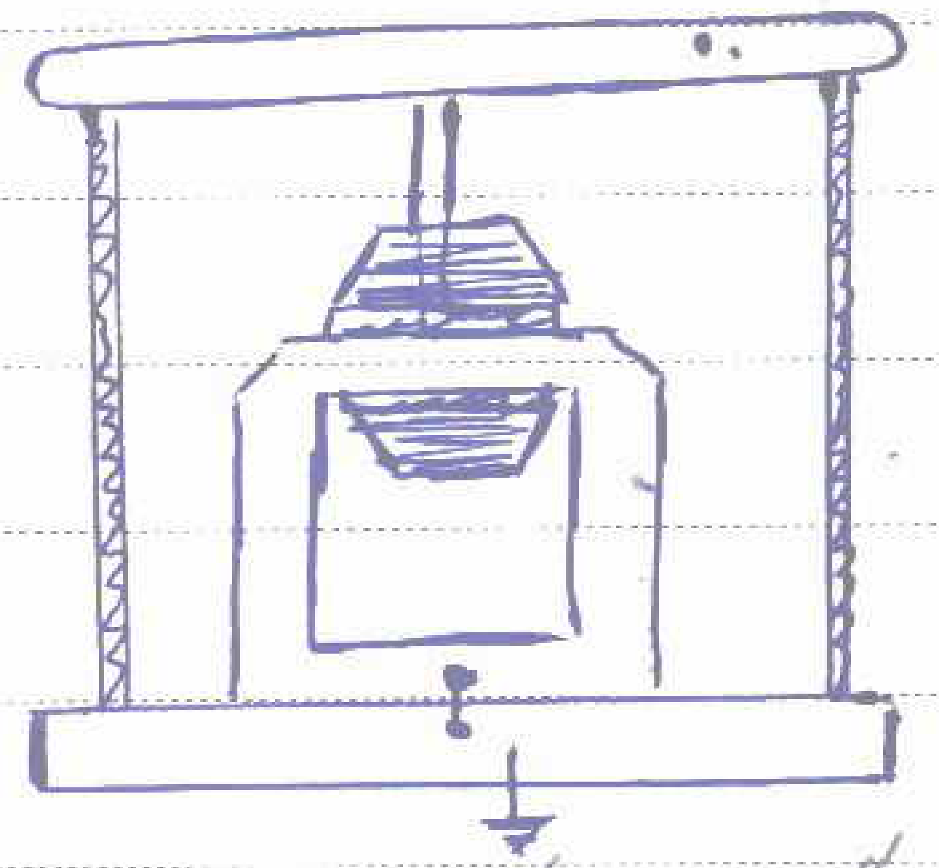
است مبادله گرمایی اش کم است.

مقایسه: این ترانس ارتفاع اش زیاد خواهد شد ولی ترانس بعدی ارتفاع زیادی نخواهد داشت

مقایسه: در این ترانس برای سری کردن شان باید هر ترانس را روی پله ای بالاتر گذاشت که آن پله از جنس عایق خواهد بود

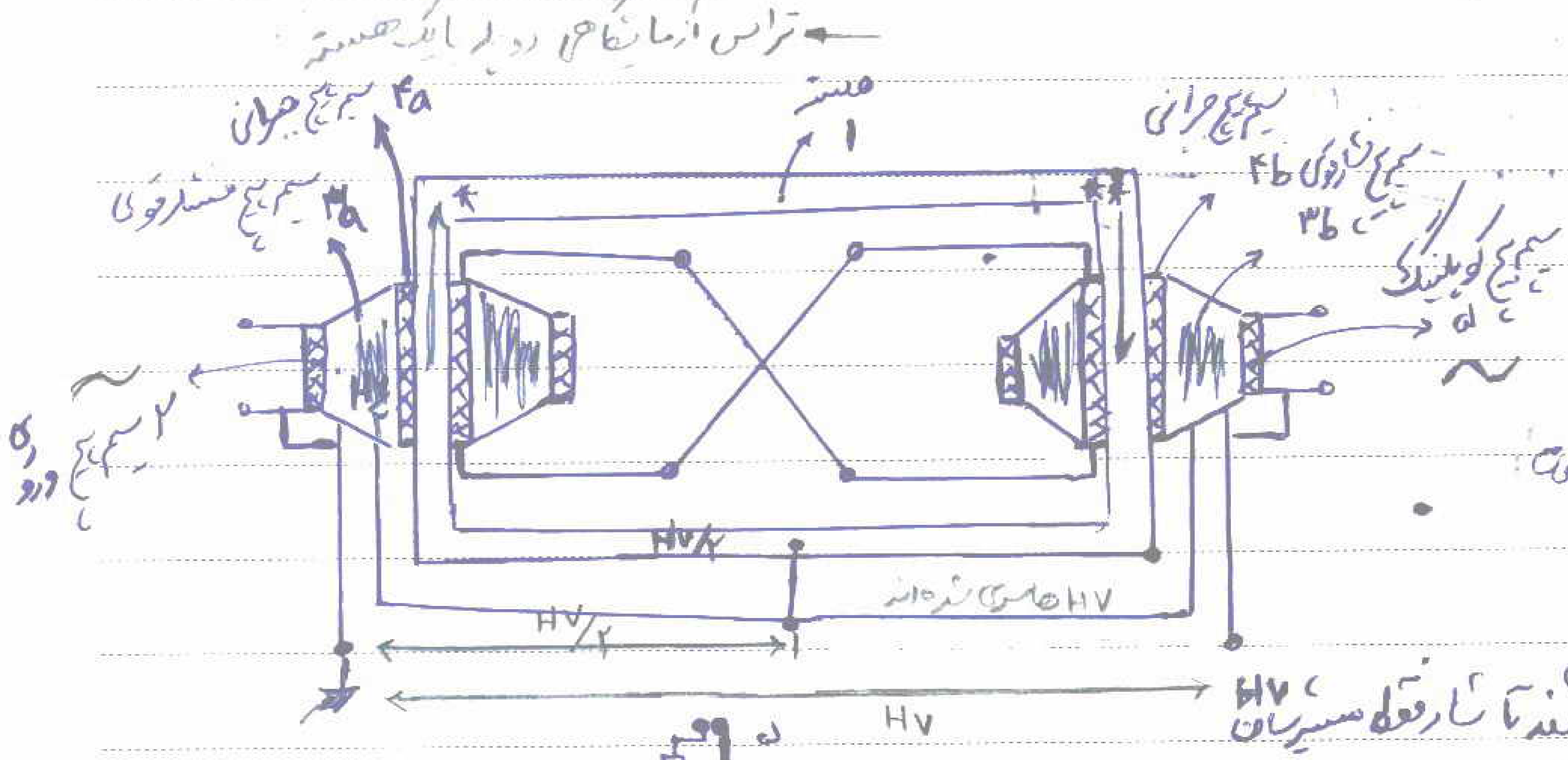
P4PCO

ولی ترانس بعدی را برای سری کردن روی هم دیگر می توان قرار داد.



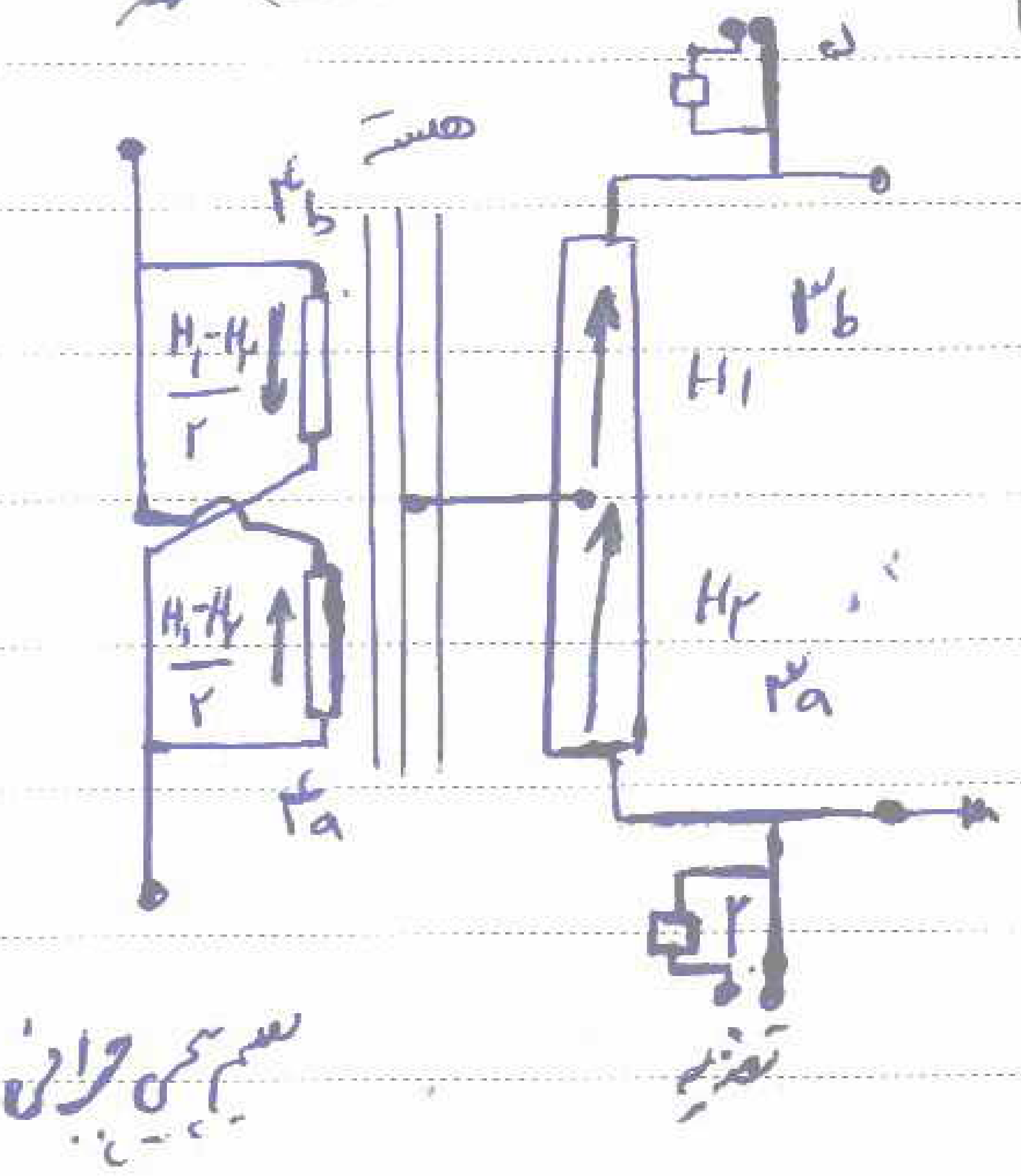
ترانسفورماتورهای کاسکاد یا چند طبقه:

- یکی از روش های سری کردن ترانس های تست:


ترانس آزمایشگاهی دو طرفه با یک هسته
سیم پیچ جبرانی 4a
سیم پیچ فشار قوی 3a
هسته 1
*
**
سیم پیچ جبرانی
سیم پیچ فشار قوی 4b
3b
ارتباط سیم پیچ کوپلینگ
5
2 سیم پیچ ورودی
HV/2
HV ها سری شده اند
HV/2
HV
HV

- پتانسیل هسته $\frac{HV}{2}$ است.
- هر ولتاژی که ۲ دارد ۵ هم دارد با این تفاوت که زمین ۵ آن متفاوت است (HV و زمین)
- شارهای * و ** باید برابر باشند تا شار فقط مسیرشان در هسته بسته شود و گرنه باعث گرم شدن و اعوجاج خواهد شد که با سیم پیچی نمی توان این شارها را برابر کرد بلکه از سیم پیچی جبرانی برای اینکار استفاده می کنند بطوری که

$$H_1 - \frac{H_1 - H_2}{2} = \frac{H_1 - H_2}{2} + H_2 = \frac{H_1 + H_2}{2}$$


4b
هسته
$\frac{H_1-H_2}{2}$
$\frac{H_1-H_2}{2}$
4a
5
H1
3b
H2
3a
2
سیم پیچی جبرانی
تغذیه

- سیم پیچ فشار قوی را دو تکه ساخته اند بخاطر صرفه جویی در عایق کاری و وسطش را با هسته هم پتانسیل کرده اند.
و با اینکار امکان ندارد

- سیم پیچ فشار ضعیف را معمولاً روی هسته می بندند چون عایق بندی کمتر نیاز دارد ولی در اینجا سیم پیچ فشار قوی را از دو تکه به هسته بسته اند اما وسطش را با هسته هم پتانسیل کرده اند.

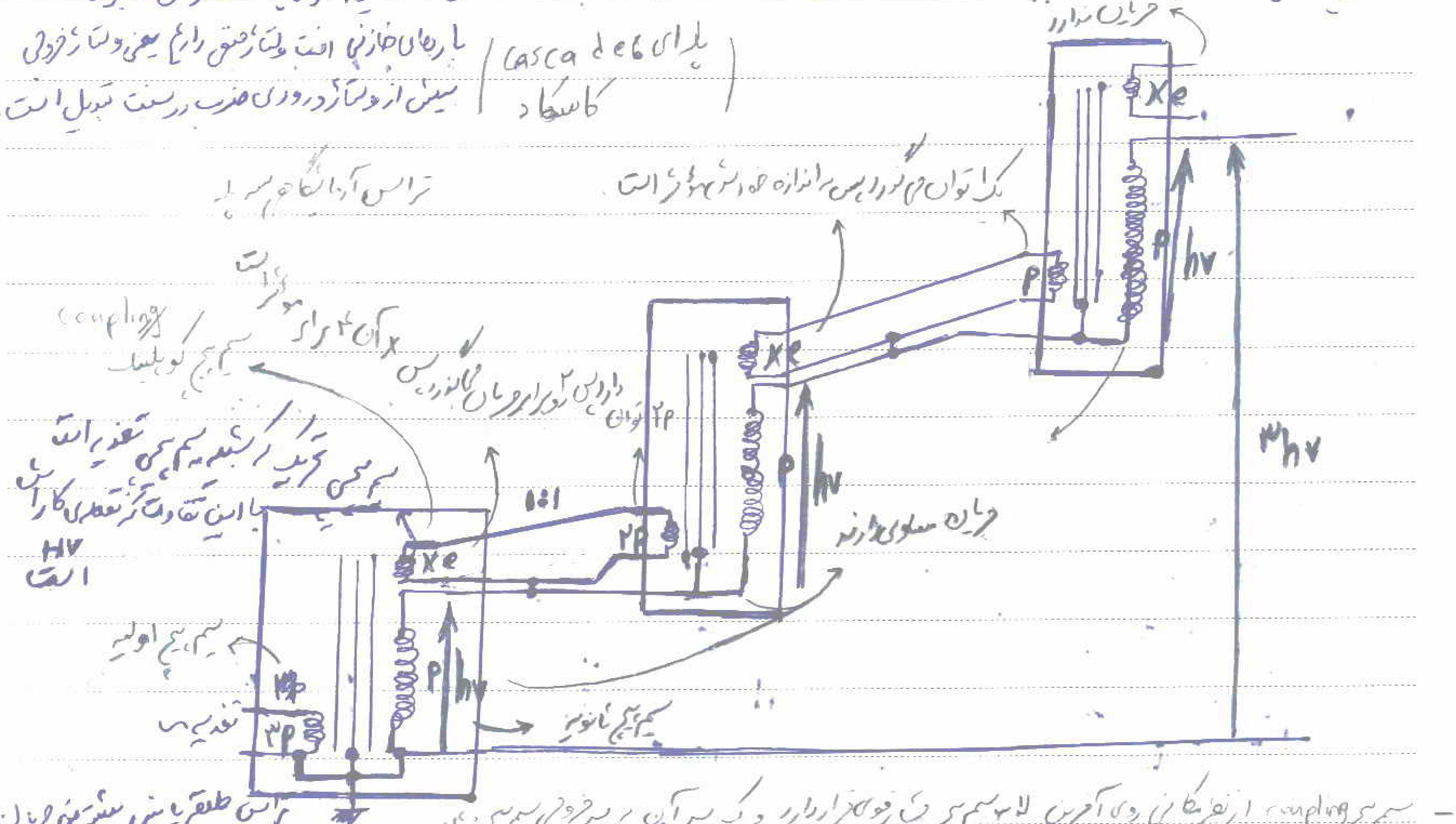
- می توان دو یا چند دستگاه از این ترانس ها را بصورت کاسکاد بهم وصل نمود و برای ترانس های فشار قوی استفاده کرد دو ترانس قبلی برای کمتر از ۱۰۰ kV ساخته می شوند.

- وقتی سیم پیچی تکفاز استفاده شده است یک شکل بسته ی ترانس و سیم پیچ جبرانی شبیه همین شکل بسته است.

- جریان این ترانس ها کم است و بار آنها معمولاً خازنی می باشد چون این ترانس ها برای آزمایش عایق دستگاه ها بکار می روند که این عایق ها تشکیل خازن می دهند؛ که برای جبران این بار خازنی در هر پله یک راکتور قرار می دهند. همراه با این راکتور می توان فیلترهایی برای حذف هارمونیک های جریان نیز نصب کرد. - بهتر است جبران سازی قدری بیشتر از مقدار بار خازنی هم باشد تا مجموعه بار سلفی (اندوکتیو) شود چون در ترانس ها برای بارهای خازنی افت ولتاژ منفی داریم یعنی ولتاژ خروجی بیش از ولتاژ ورودی ضرب در نسبت تبدیل است.

پله ای (cascaded)
کاسکاد

ترانس آزمایشگاهی پله ای


جریان ندارد
Xe
P
hv
یک توان می گذرد پس به اندازه خودش هم موثر است.
3hv
coupling
سیم پیچ کوپلینگ
X آن ۴ برابر موثر است
دارای ۲ برابر جریان نسبت به ترانس
توان 2P
1:1
2P
Xe
P
hv
جریان مساوی دارند
سیم مسی ترکیب کشیده سیم پیچ تغذیه است با این تفاوت که تعداد کارش
HV
الف
Xe
سیم پیچ اولیه
3P
تغذیه
P
hv
سیم پیچ ثانویه

ترانس طبقه پایینی بیشترین جریان را خواهد داشت چون اصل توان را این طبقه تأمین می کند و ممکن است هسته آن به اشباع برود

- سیم پیچ coupling از نظر مکانی روی آخرین لایه سیم پیچ فشار قوی قرار دارد و یک سر آن به سر خروجی سیم پیچ فشار قوی وصل است. - هسته و بدنه هر پله به ابتدای سیم پیچ فشار قوی هر پله وصل است.

- همچنین یک سر سیم پیچ اولیه به بدنه و هسته ی همان پله وصل است - پله های دوم، سوم و ... روی پایه های عایق قرار دارند.

فشار قوی   کوپلینگ   اولیه

n تعداد طبقات

$$X_{res}=\sum_{v=1}^{n}\left[X_{hv}+(n-v)^2X_{ev}+(n+1-v)^2X_{pv}\right]$$

$1^2+1^2+1^2 \qquad 1^2+2^2 \qquad 1^2+2^2+3^2$

$$X_{res}=3X_h+5X_e+14X_p$$ برای ۳ طبقه

برای حل این مشکل باید طبقات پایین تر X شان کوچکتر باشد تا جریان بیشتر طبقات پایین تر مشکل ساز نباشد ولی اشکال این ایده

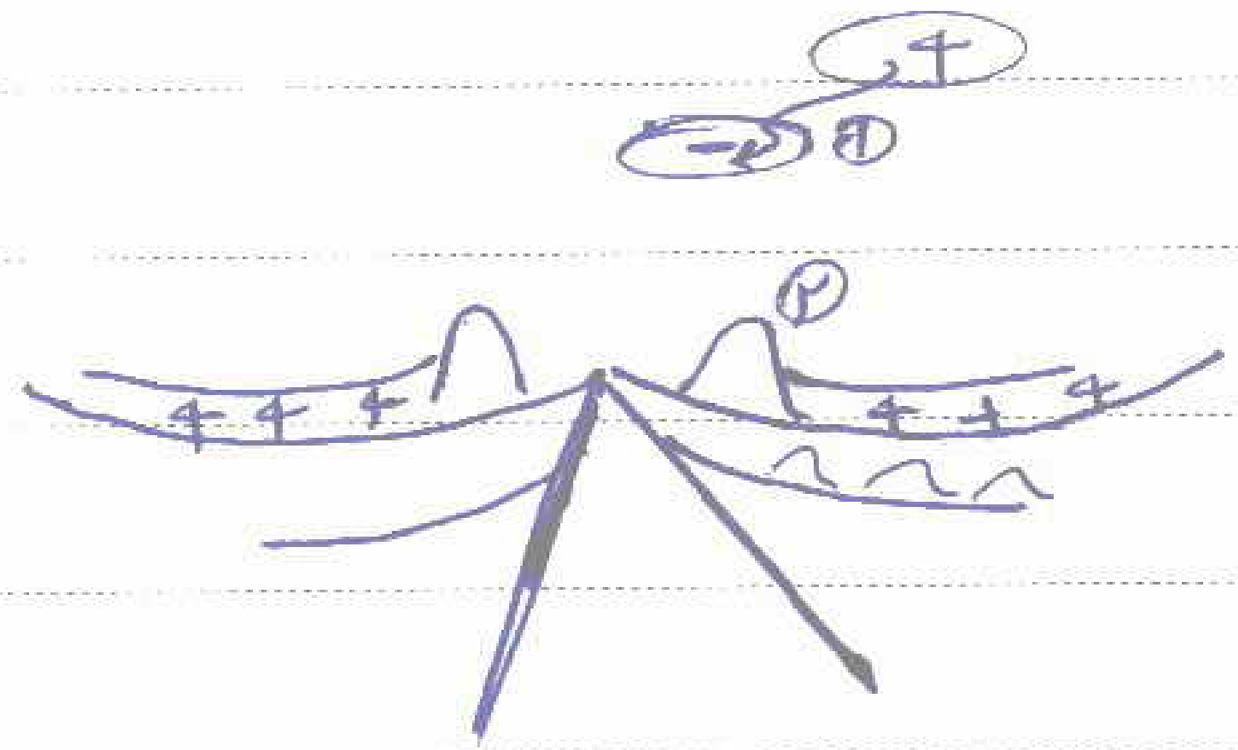
این است که خرید چند نوع اقتصادی نیست

PAPCO

تولید ولتاژ ضربه:

۱. ولتاژهای ناشی از سوئیچینگ (کلیدزنی) که تیز است و شکل پیشانی دارد

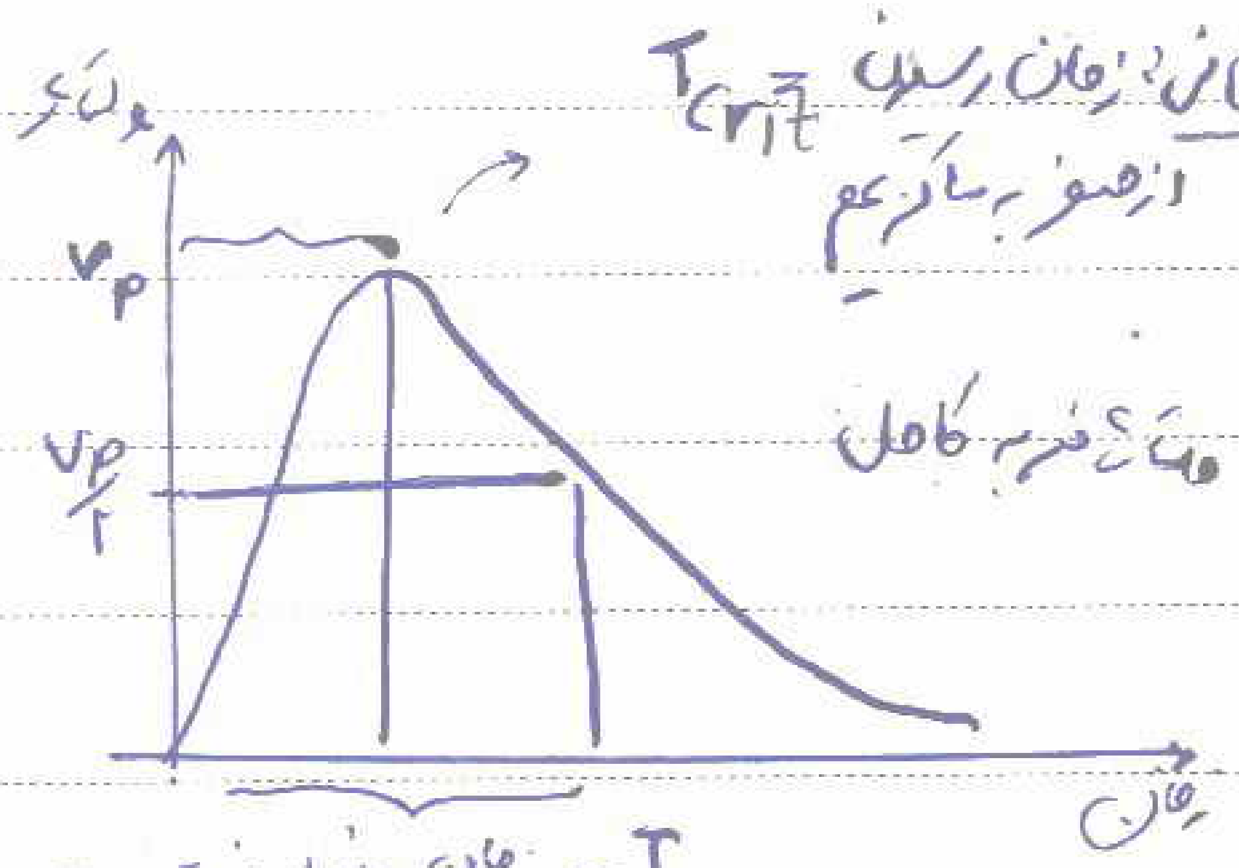
۲. ولتاژ ناشی از رعد برق



هر موج ولتاژ ضربه شکل شبیه هم نیست و استاندارد آن بصورت زیر است:

- برای تست استقامت در مقابل موج رعد و برق $\frac{1}{50}$ ($\frac{1.2}{50}$) هند

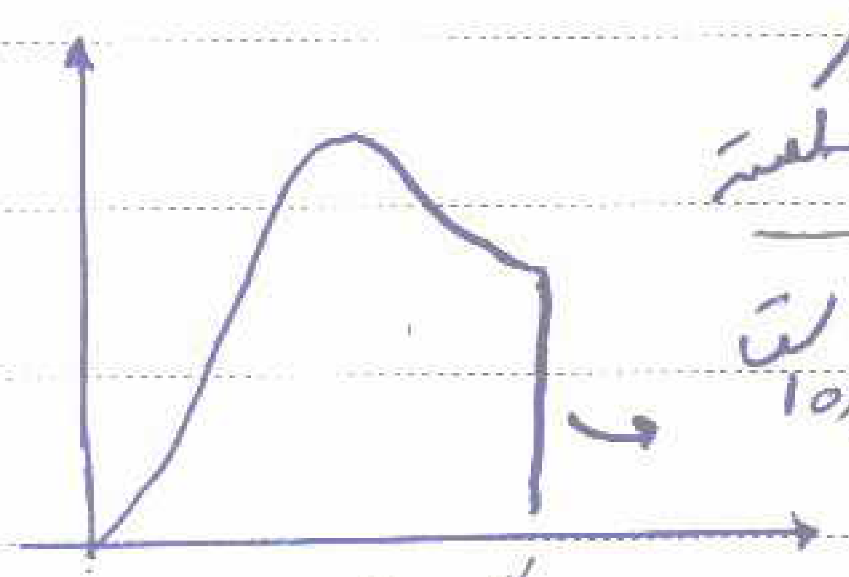
- برای تست کلیدزنی
$T_{cr} = 250\mu s$
$T_2 = 2500\mu s$



T_{cr} = زمان پیشانی: زمان رسیدن از صفر به ماکزیمم

ولتاژ ضربه کامل

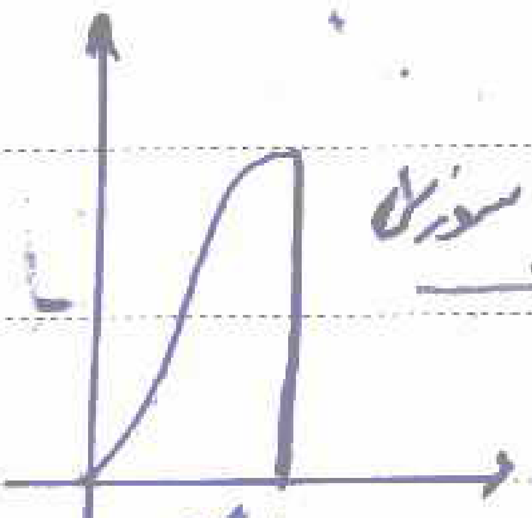
T = زمان دنباله نصف موج یعنی زمانی که بعد از پیک ولتاژ به $\frac{V_p}{2}$ می‌رسد



ولتاژ ضربه شکسته

ورود ازاله

در زمان نصف موج نیست



ولتاژ ضربه سوزنی

در جاهای قبل یا در ماکزیمم است

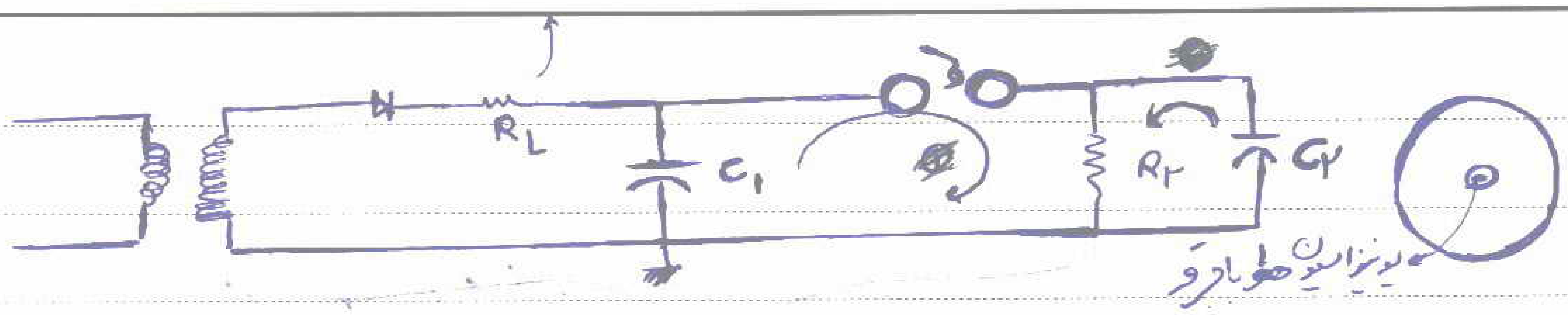
ولتاژ ضربه شکسته:
V_p
T_{cr}
T زمان از ابتدا تا زمان شکست

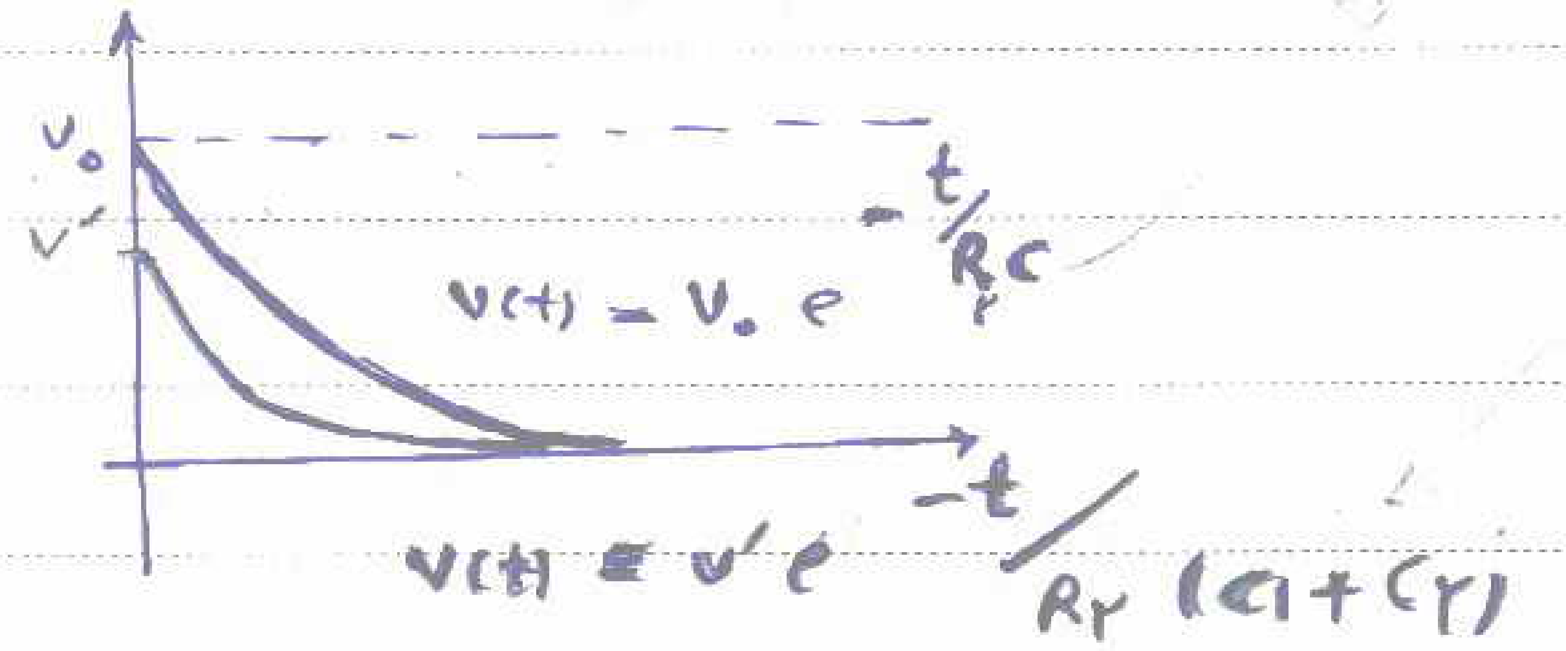
ولتاژ ضربه کامل:
V_p
T_{cr}
T_2 نصف موج دنباله

ولتاژ ضربه سوزنی:
V_p
T زمان تا شکست

اگر در تست کامل را جواب دهد سوزنی را جواب می‌دهد.

مقاومت بارگیری نقش محدود کردن جریان را دارد


R_L
C_1
R_2
C_2
یونیزاسیون هوا بارو



(ما سلف را جای خازن بکار نمی‌برند چون ولتاژ آن به $v = L\frac{di}{dt}$ بستگی دارد که یعنی ولتاژ به سرعت تغییرات جریان بستگی دارد که برای ما کنترل پذیر نیست)

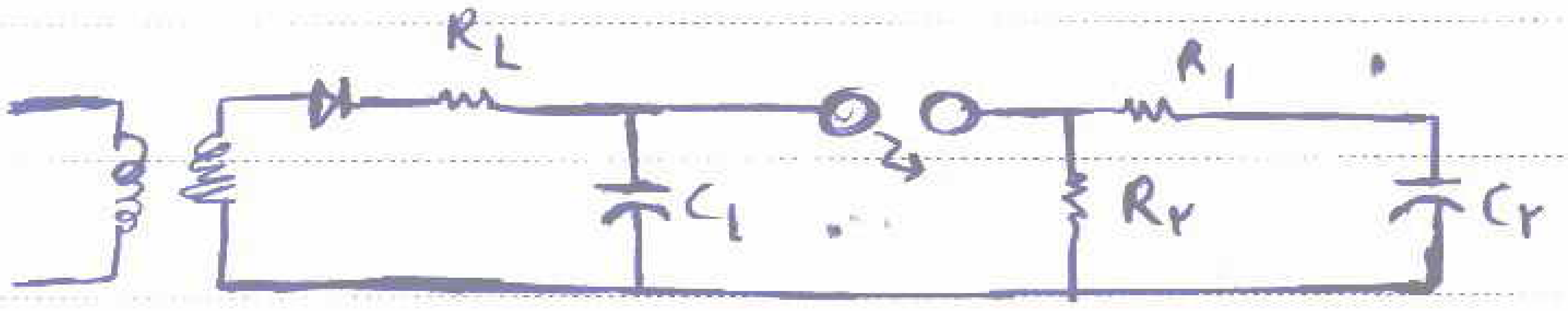
$$Q = C_1 V_0 \overset{\text{پایستگی بار}}{=} (C_1 + C_2) V' \longrightarrow V' = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_0$$

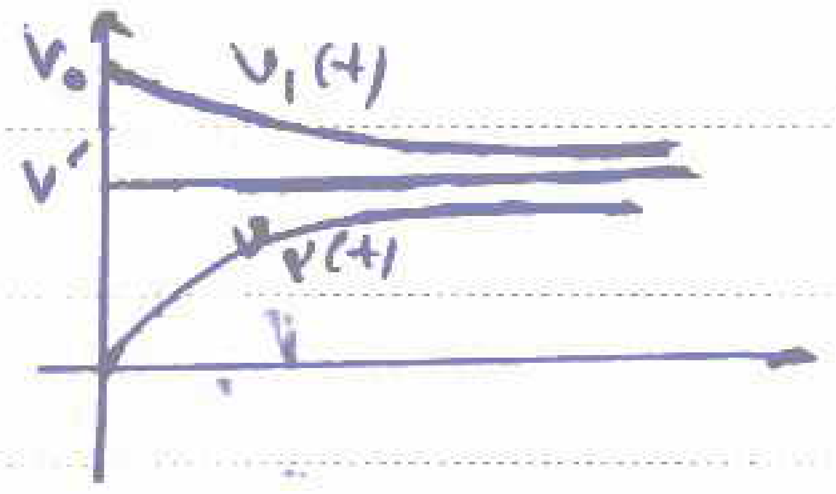
بار که مقدارش ثابت است

$$\frac{1}{2} C_1 V_0^2 > \frac{1}{2} (C_1 + C_2) V'^2$$

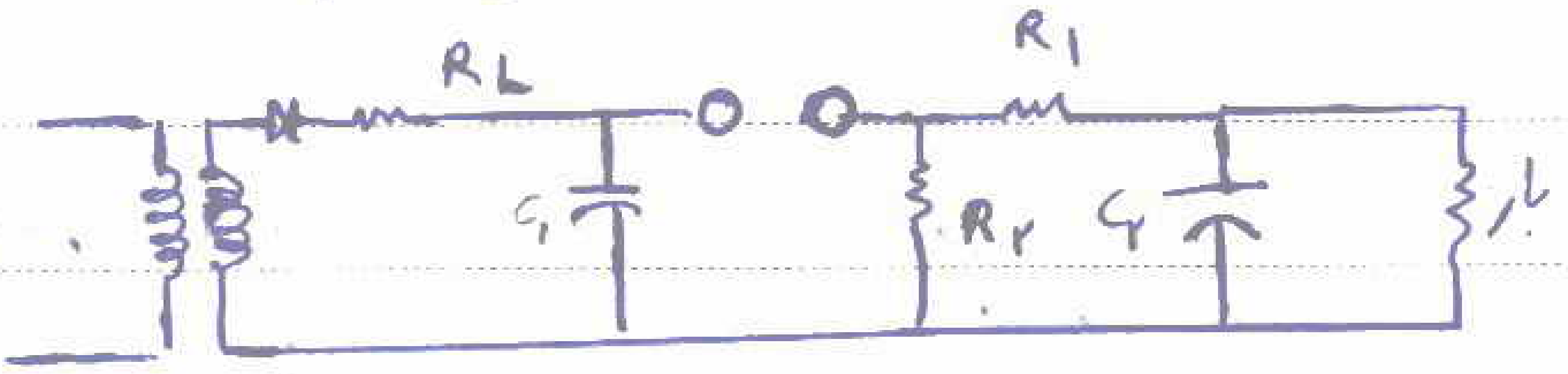
انرژی

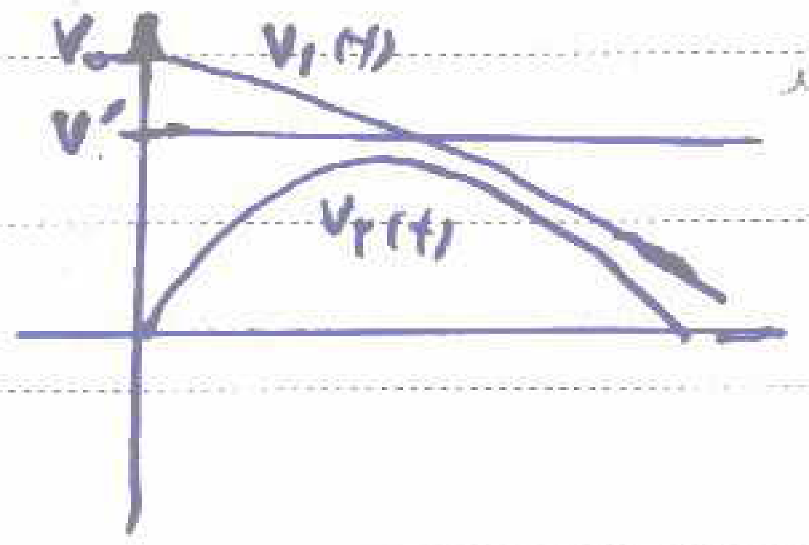
مقدار انرژی که کم شده صرف حرارت و یونیزاسیون بین دو گره شده است


R_L
R_1
C_1
R_2
C_2



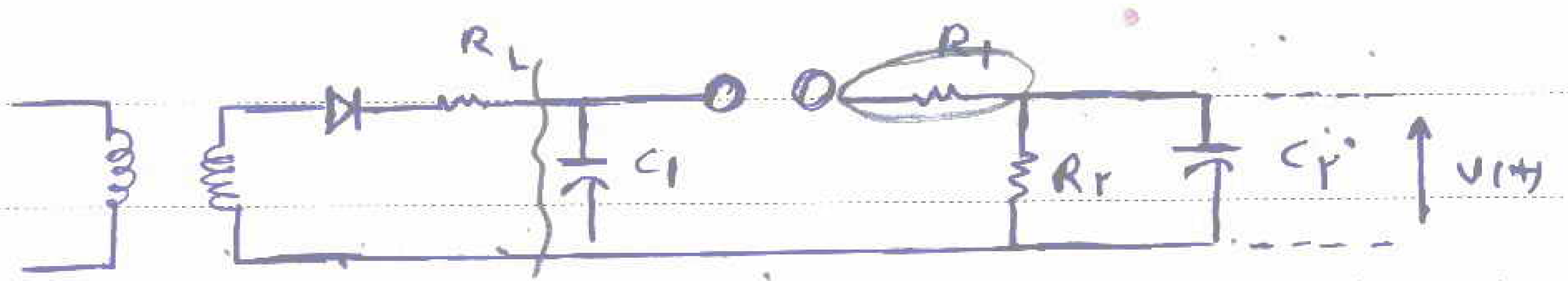
وقتی R_1 نداریم


R_L
R_1
C_1
R_2
C_2
بار

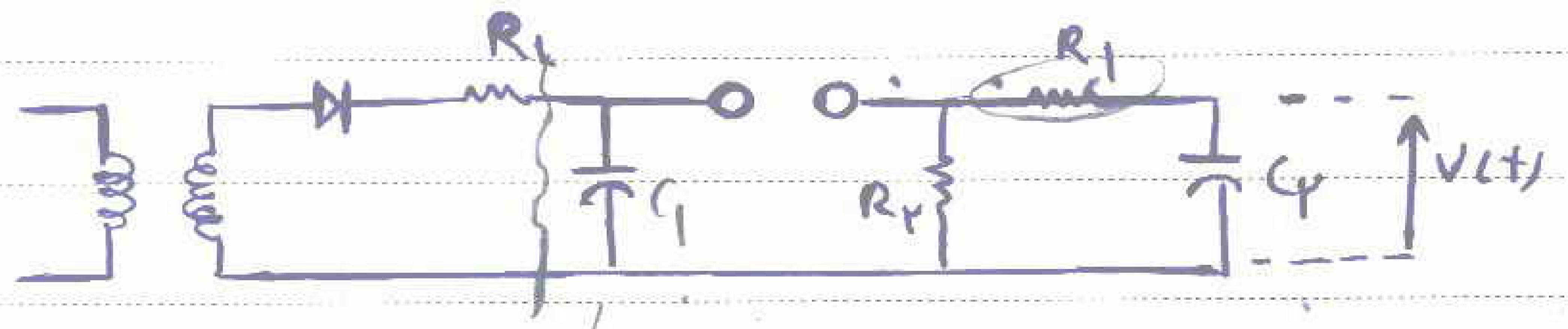


وقتی R_1 باشد

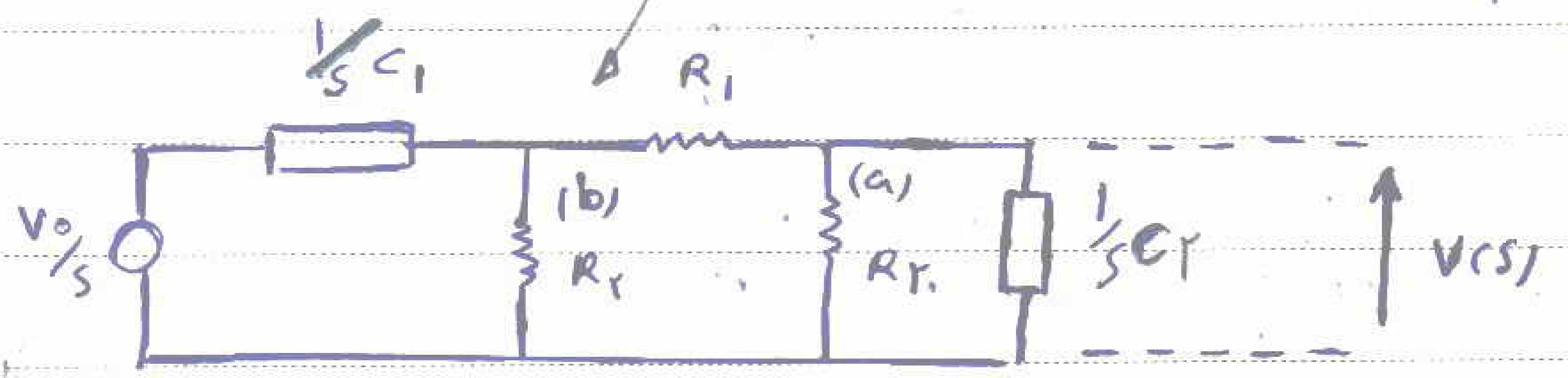
(a)


R_L
C_1
R_1
R_2
C_2
$v(t)$

(b)


R_L
C_1
R_1
R_2
C_2
$v(t)$

لاپلاس


V_0/s
$1/sC_1$
R_1
(b) R_2
(a) R_2
$1/sC_2$
$V(s)$

$$V(s) = \frac{V_0}{s}\,\frac{Z_2}{Z_1+Z_2} \quad , \quad Z_1 = \frac{1}{C_1 s} + R_1 \qquad Z_2 = \frac{R_2/C_2 s}{R_2 + 1/C_2 s}$$

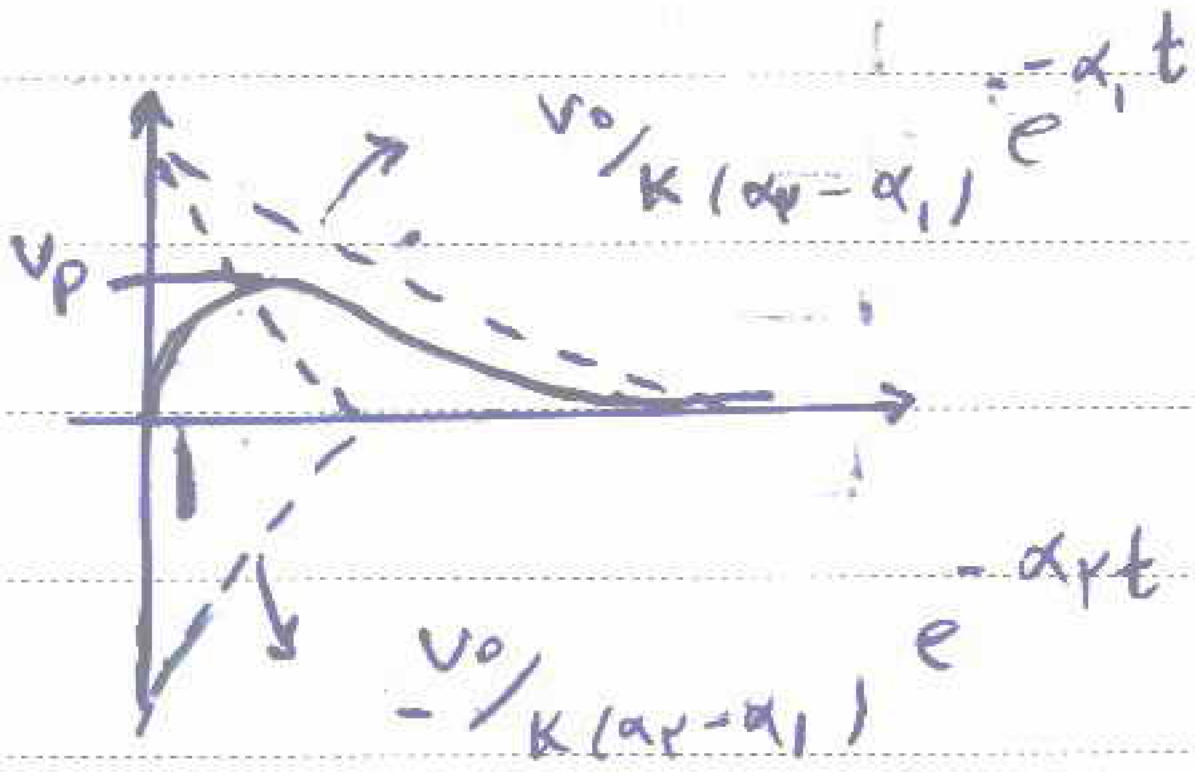
$$V(s) = \frac{V_0}{K}\,\frac{1}{s^2+As+B}$$

a) $A = \frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_1C_2} + \frac{1}{R_2C_2}$ b) $A = \frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_1C_2} + \frac{1}{R_2C_1}$

$B = \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}$ $K = R_1C_2$ " , "

$s^2+As+B=0 \downarrow$

$$v(t) = \frac{V_0}{K}\,\frac{1}{\alpha_2-\alpha_1}\left(e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}\right) \qquad \alpha_1, \alpha_2 = \frac{A}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 - B}$$



$A = \frac{V_p}{V_0}$ (اندازه)

$\frac{dv(t)}{dt} = 0$

$t_{max} = t_{cr} =$ مقدار مورد نظر ما می‌گذاریم

$$\rightarrow \quad t_{max} = \frac{\ln(\alpha_2/\alpha_1)}{(\alpha_2-\alpha_1)}$$

$$\eta = \frac{(\alpha_2/\alpha_1)^{-[\alpha_1/(\alpha_2-\alpha_1)]} - (\alpha_2/\alpha_1)^{-[\alpha_2/(\alpha_2-\alpha_1)]}}{K(\alpha_2-\alpha_1)}$$

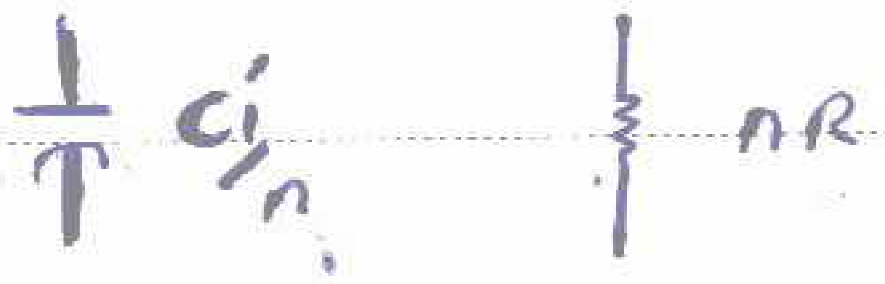
A) $\eta_A \approx \frac{C_1}{C_1+C_2} \times \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{1}{1+\frac{C_2}{C_1}} \times \frac{1}{1+\frac{R_1}{R_2}}$

B) $\eta_B \approx \frac{C_1}{C_1+C_2} = \frac{1}{1+\frac{C_2}{C_1}}$ $\quad \eta_B > \eta_A$

هر خازن شارژ می‌شوند طوری که

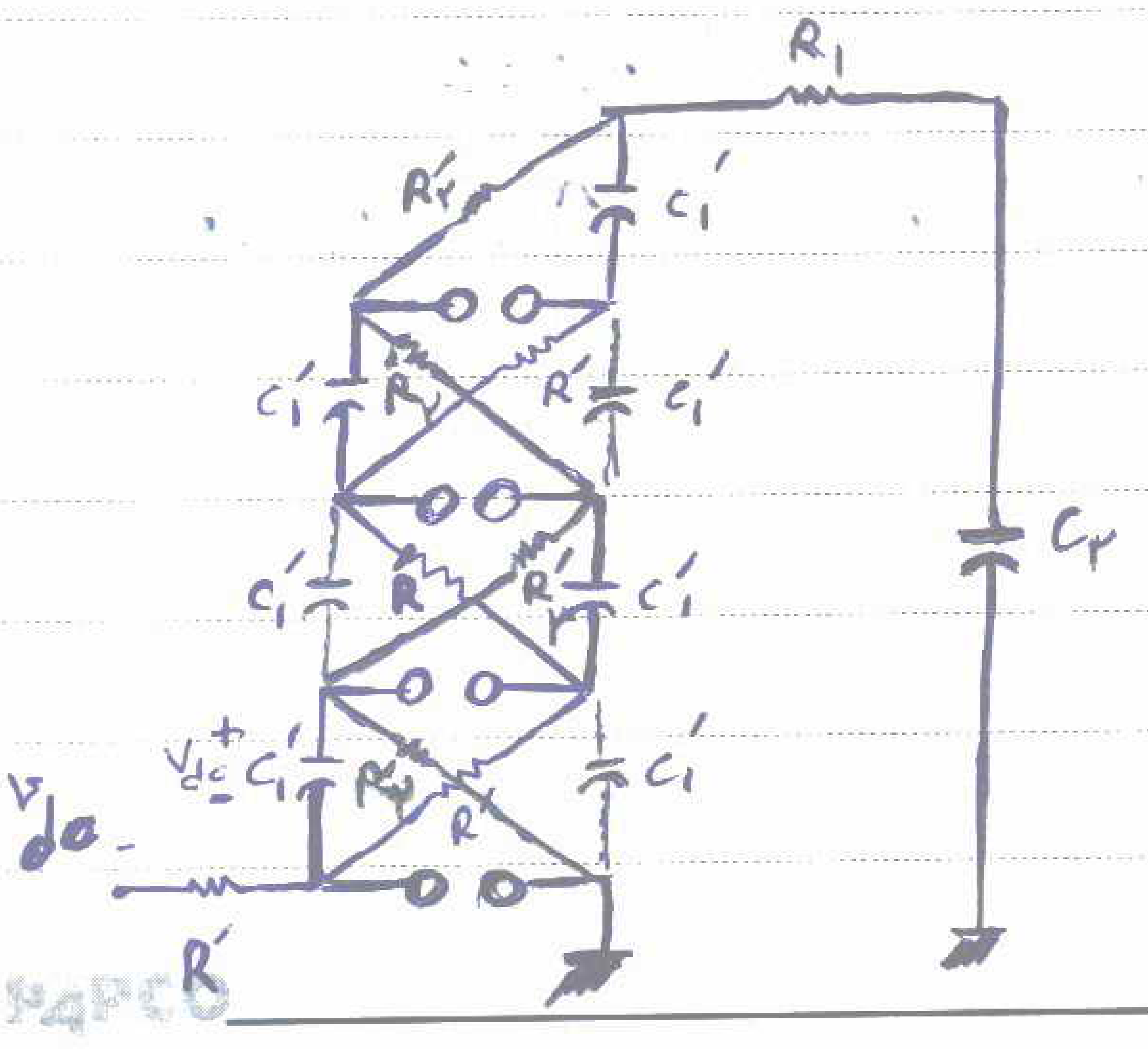
جرقه زدن پایین‌ترین کره‌ها باعث جرقه کره‌های دیگر هم می‌شود

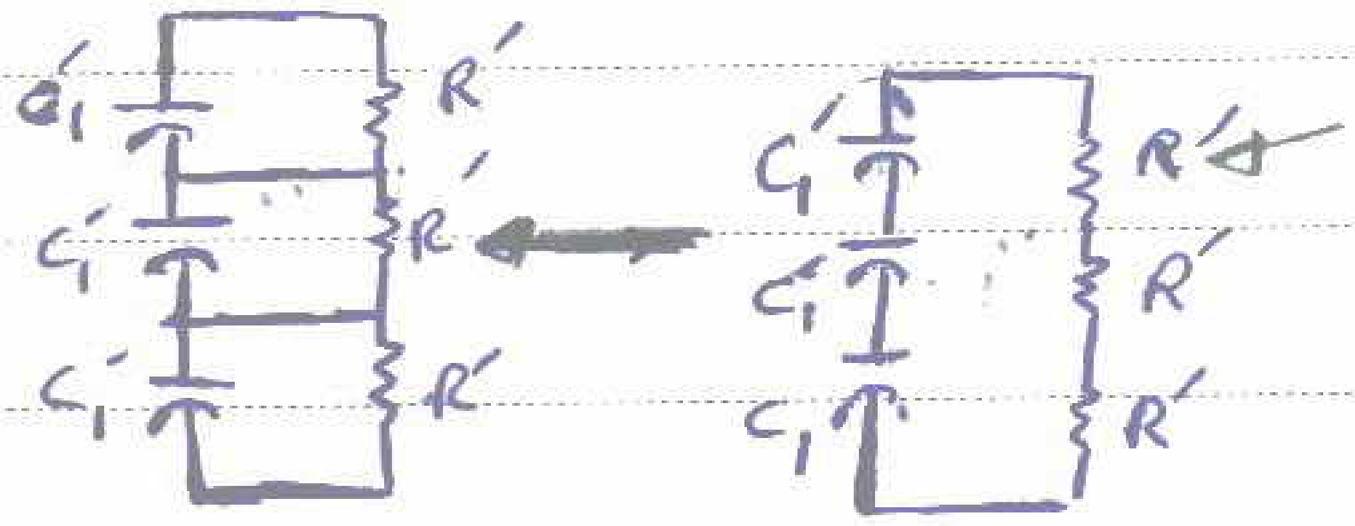
در حالت عادی خازن‌ها با هم موازی اند و بعد از جرقه همه با هم سری



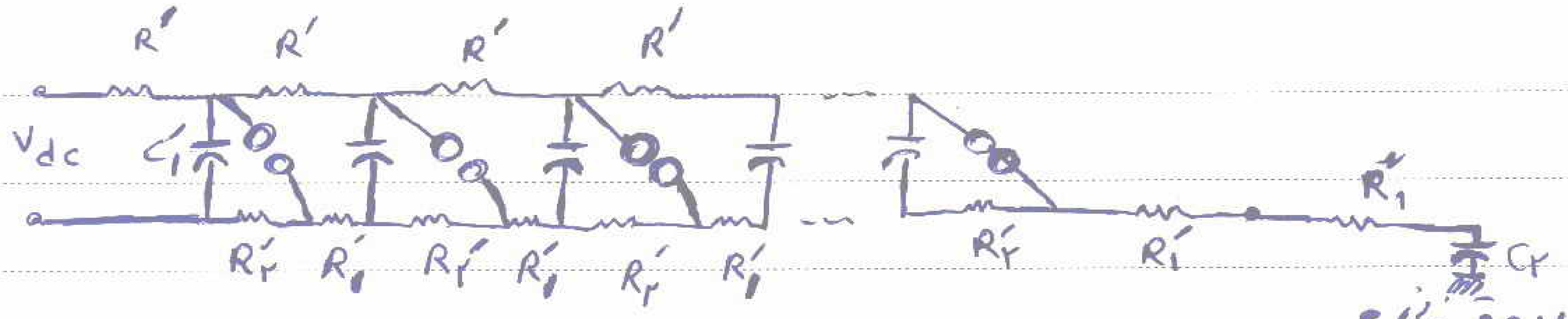
می‌شوند.

مولد ضربه مارکس
Marx Generator





n طبقه که باشد سطح ولتاژ nV_{dc} خواهد شد.


R'
R'
R'
R'
Vdc
C'1
R'2
R'1
R'2
R'1
R'2
R'1
R'2
R'1
R''1
C2

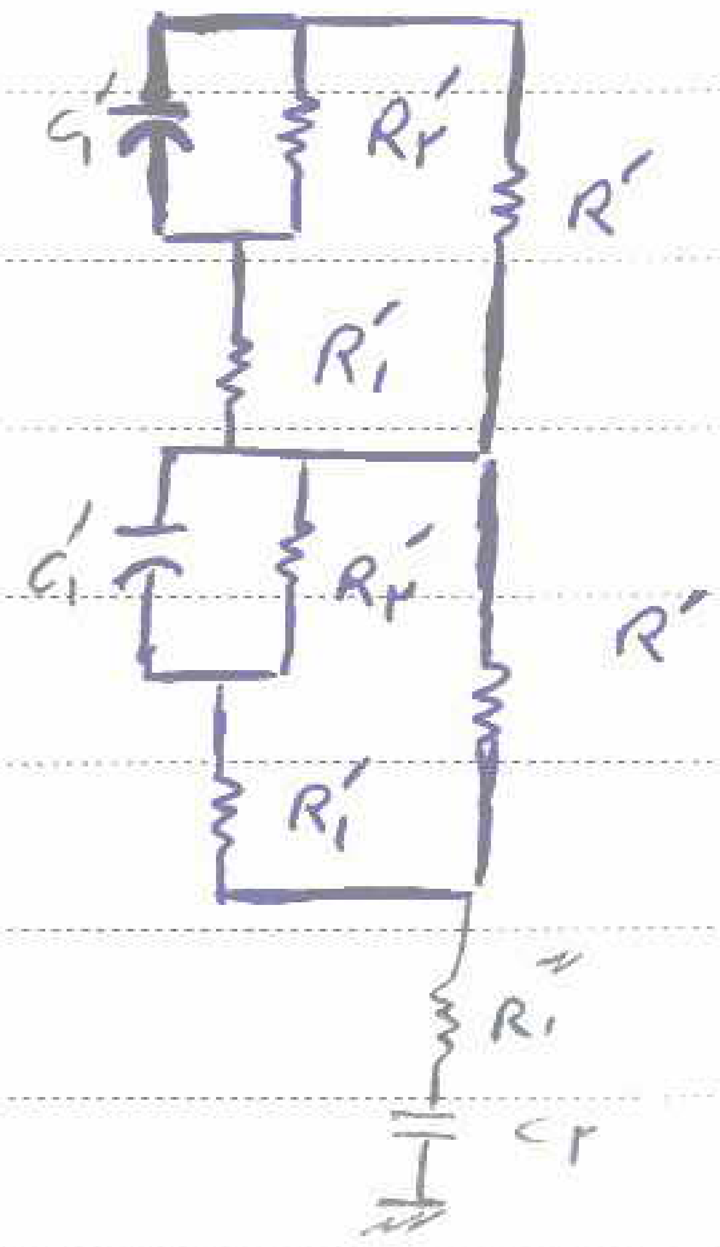
بعد از جرقه زنی :

ضمن اینکه مقاومت‌های R'_2 با C'_1 ها موازی می‌شوند این

مجموعه با R'_1 سری می‌شود و کل این مجموعه با R' موازی می‌شود

$$\frac{1}{C_1} = \sum^{n} \frac{1}{C'_1}$$

$$R_1 = R''_1 + \sum R'_1 \qquad R_2 = n R'_2$$


C'1
R'2
R'
R'1
C'1
R'2
R'
R'1
R''1
C2

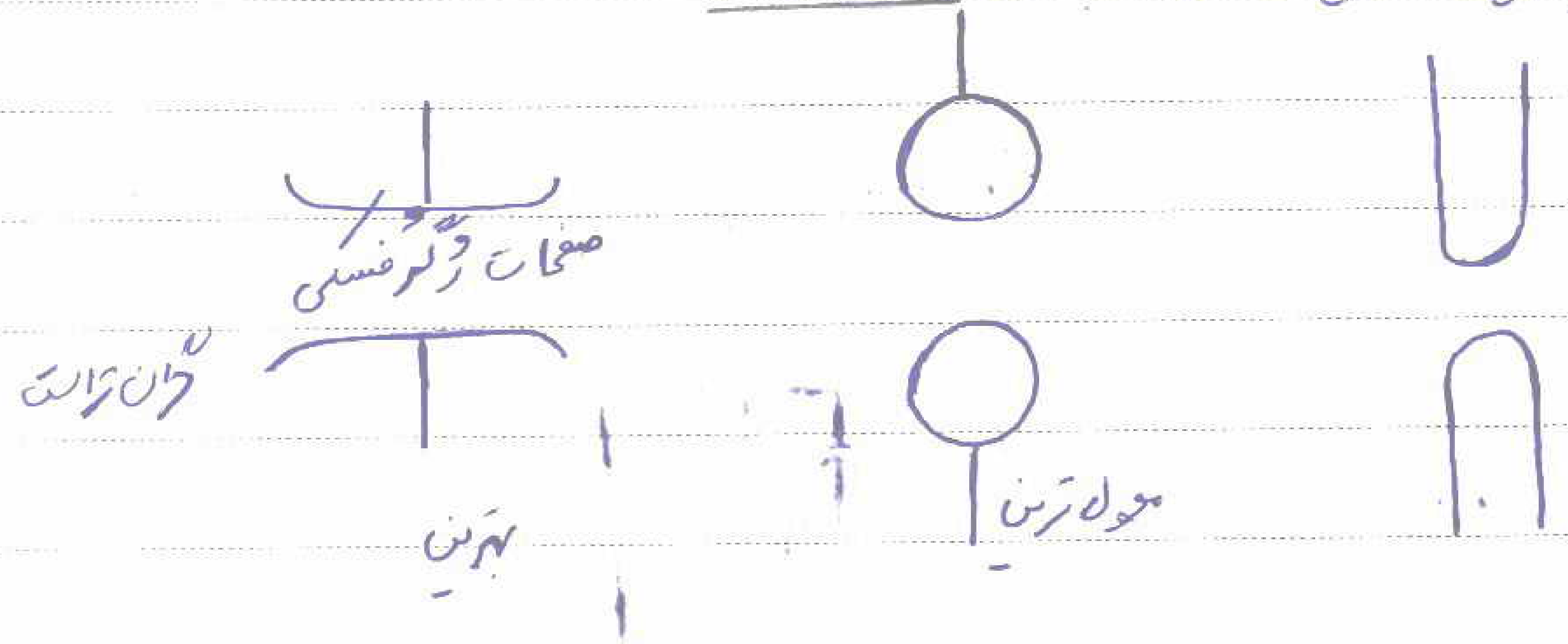
Subject :
Year . Month . Date . ( )

اندازه‌گیری ولتاژ فشار قوی :

فضای سنجش
فاصله هوایی برای اندازه‌گیری پیک بکار می‌رود در انواع ولتاژها

- فاصله هوایی : یکی از مهمترین روش‌های اندازه‌گیری

استقامت الکتریکی عایق با شدت میدانی که می‌تواند تحمل کند متناسب است نه شدت ولتاژ

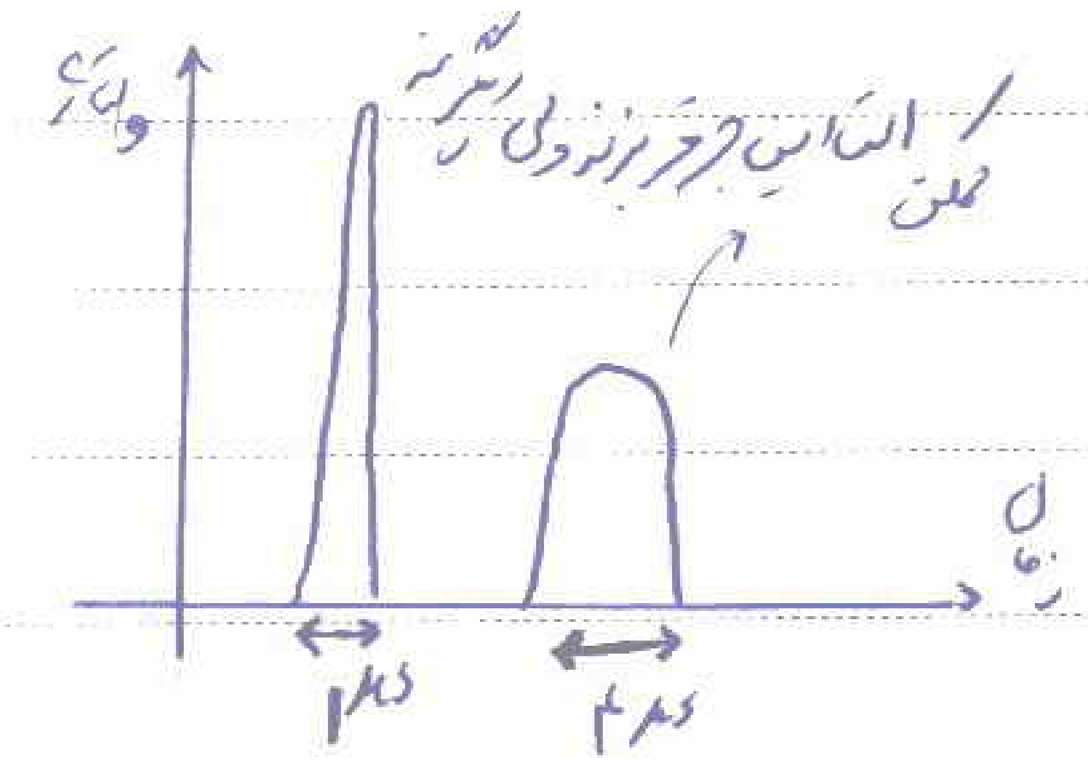


چون معلوم نیست در یک فاصله که جرقه زده است دوباره جرقه بزند، فاصله هوایی را از ۵۰ درصد موارد جرقه زدن در نظر می‌گیریم

سطح کره‌ها و یا صفحه‌ها باید کاملاً تمیز باشد، در یک میلیمتر فاصله‌ای دورشان جزئی خارجی باشد تا روی میدان اثر نگذارند

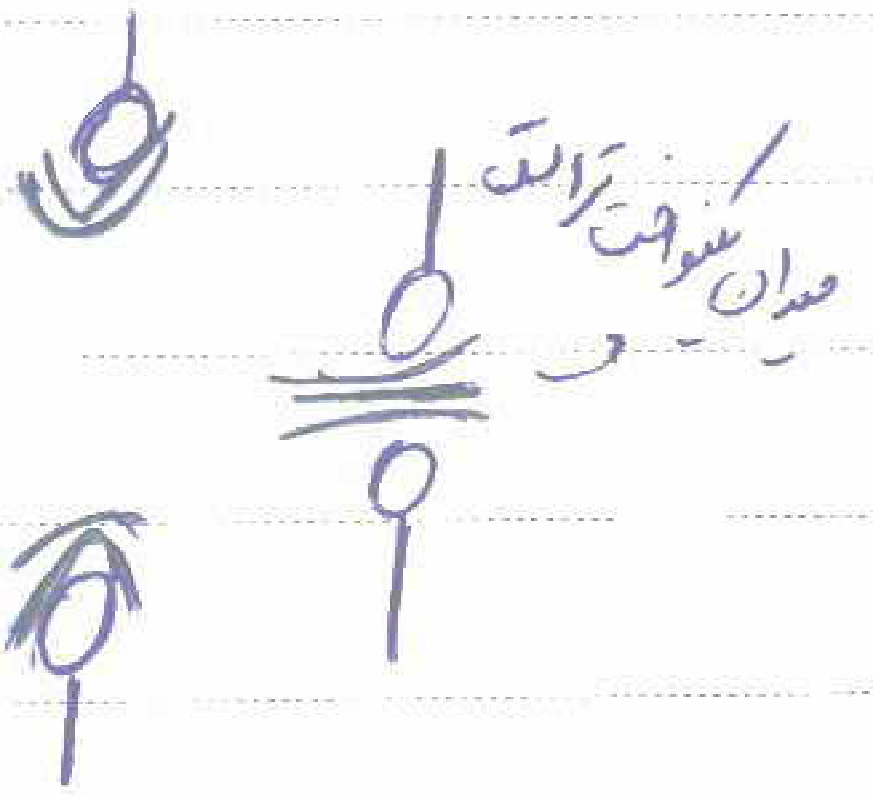
فاصله هوایی برای اندازه‌گیری پیک ولتاژ بکار می‌رود

زمان لازم برای شکست الکتریکی در فاصله هوایی 1-3µs است.

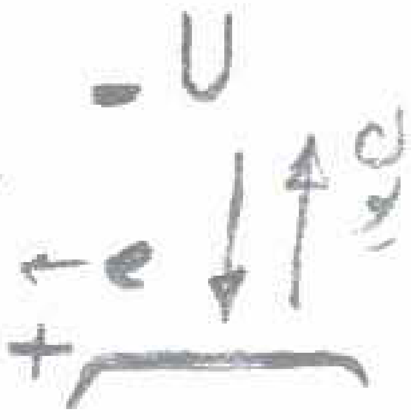


وقتی می‌خواهیم اندازه‌گیری ولتاژ انجام دهیم هر چقدر شدت میدان یکنواخت‌تر باشد بهتر است. به همین دلیل کره‌های با قطرهای مختلف وجود دارد که هر کدام برای فاصله‌های مختلف و ولتاژهای مختلف ایده‌آل اند.

(دقیقاً در شکل روبرو) کره تا یک فاصله‌ای بخصوص دقیق است و دقت اندازه‌گیری دارد



پس نوک تیز خودش را از دست می‌دهد ← توده‌ای یون ← یکنواخت ← یون
پخش می‌شود



e ← الکترون‌ها چون جرم کمی دارد پخش می‌شود

Subject: ۹ Date: / /

فاصله هوایی	DC	AC	ضربه
۱cm	V_1 <	V_1' <	V_1''
۲cm	V_2 <	V_2' <	V_2''
۳cm	V_3 <	V_3' <	V_3''
۴cm	V_4 <	V_4' <	V_4''

در ولتاژ DC چون ولتاژ ثابت است زمان لازم برای جرقه‌زنی را داریم.

در ولتاژ AC زمان لازم برای جرقه‌زنی را تقریباً داریم.

ولی در ولتاژهای ضربه، زمان لازم برای جرقه‌زنی را نداریم.

پس مقادیر برای ولتاژهای AC و DC و ضربه فرق دارد

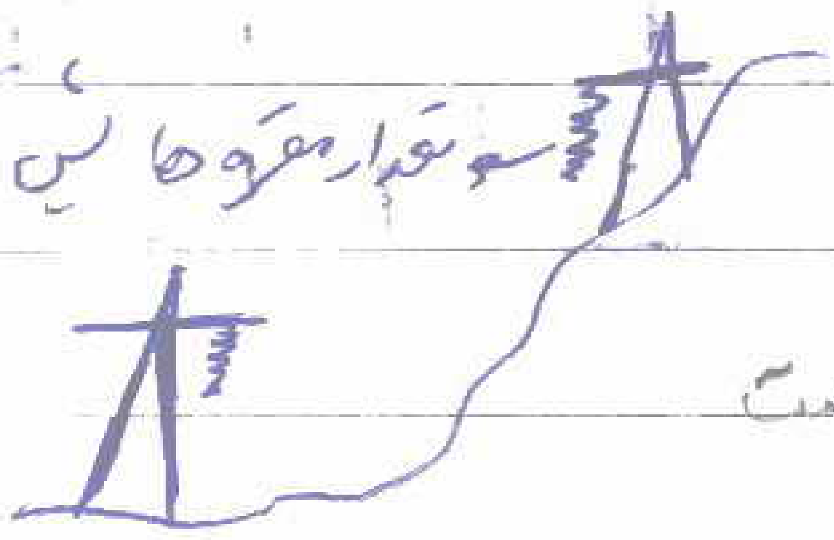
در حالت دو کره و صفحه در پلاریته‌های مختلف ولتاژ DC نباید ولتاژ شکست زیاد فرق کند. اول در سوزن صفحه فرق مشهود است.

مستقیم
یعنی با افزایش چگالی نسبی، استقامت الکتریکی افزایش می‌یابد
[illegible]

الکتریکی
استقامت هوا به چگالی هوا بستگی دارد.

$$\boxed{\delta = \frac{P}{P_0} \times \frac{273+t_0}{273+t} = \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T}}$$ چگالی نسبی

پس چگالی نسبی بیشتر
فشار زیادتر ⟸ افزایش استقامت الکتریکی



پس تعداد مقره‌هایش بیشتر است

چون در ارتفاع فشار کمتر است

ولتاژ شکست ← $$\boxed{V_d = k_d V_{d_0}}$$ ← در شرایط نرمال
فشار ۱ atm
درجه حرارت ۲۰ °C

δ چگالی نسبی

$$\boxed{V_d = \delta V_{d_0}}$$ عوامل تأثیرگذار بر استقامت الکتریکی

رطوبت بصورت ایده‌آل یعنی بصورت کاملاً گاز باشد.

۱. بخار آب ایده‌آل استقامت را افزایش می‌دهد ولی در عمل چون بخار ایده‌آل نیست و دارای ذرات است که باعث استقامت کاهش یابد

۲. تأثیر رطوبت بر استقامت الکتریکی در میدان‌های یکنواخت بیشتر است.

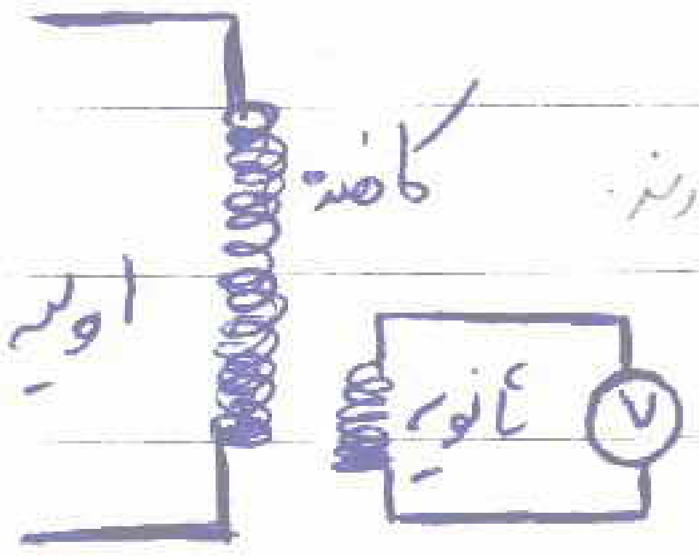
۳. پلاریته ولتاژ بر استقامت الکتریکی تأثیر دارد.

۴. رشته‌شمع‌ها تابش اشعه‌ی نورانی مخصوصاً ماورای بنفش بر استقامت الکتریکی تأثیر دارد چون نور انرژی دارد می‌تواند ذرات را یونیزه کند و استقامت الکتریکی را کاهش می‌دهد.

۵. ذرات پراکنده در هوا نیز می‌توانند در استقامت الکتریکی تأثیر بگذارند و آن را کاهش دهند.

اندازه‌گیری ولتاژهای متناوب AC :

PT :



مقسم ولتاژ :

خازن‌ها به نسبت عکس امپدانس‌شان ولتاژ دارند.

برای مقاومت‌ها به نسبت خود امپدانس‌هاشان ولتاژ دارند

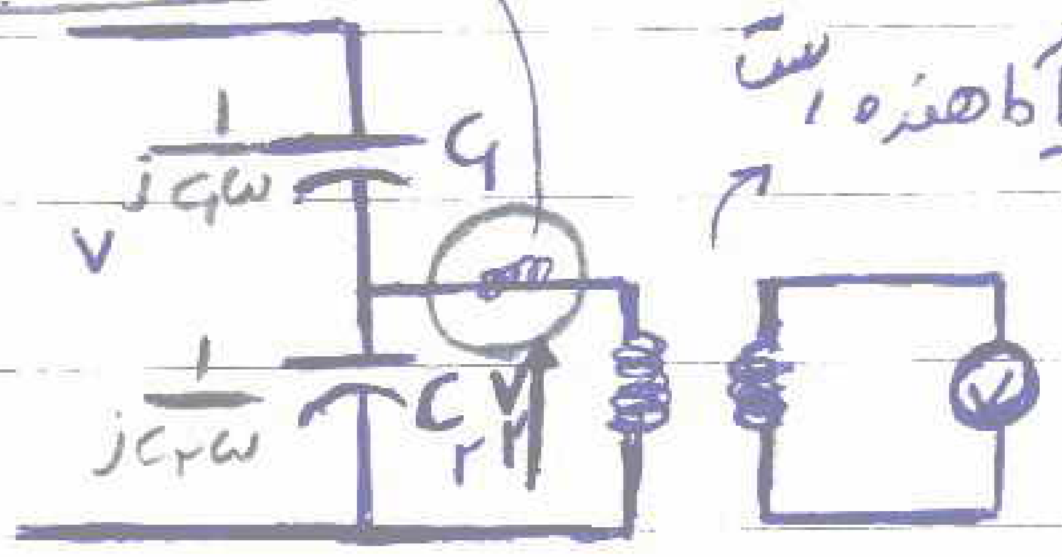
سلفی است برای جبران‌سازی اثر خازنی استفاده شود

1:1 یا کاهنده است

$q = CV \rightarrow V = \frac{q}{c}$

$q = It$

CVT



$$V_2 \simeq V \frac{C_1}{C_1+C_2}$$

اگر 1:1 باشد این ترانس برای ایزوله کردن تجهیز اندازه‌گیری است.

چون ممکن است اتصال کوتاهی در اولیه بوجود آید که باعث آسیب به تجهیز خواهد شد.

$V_{dc} = \frac{V_{max}}{\pi}$

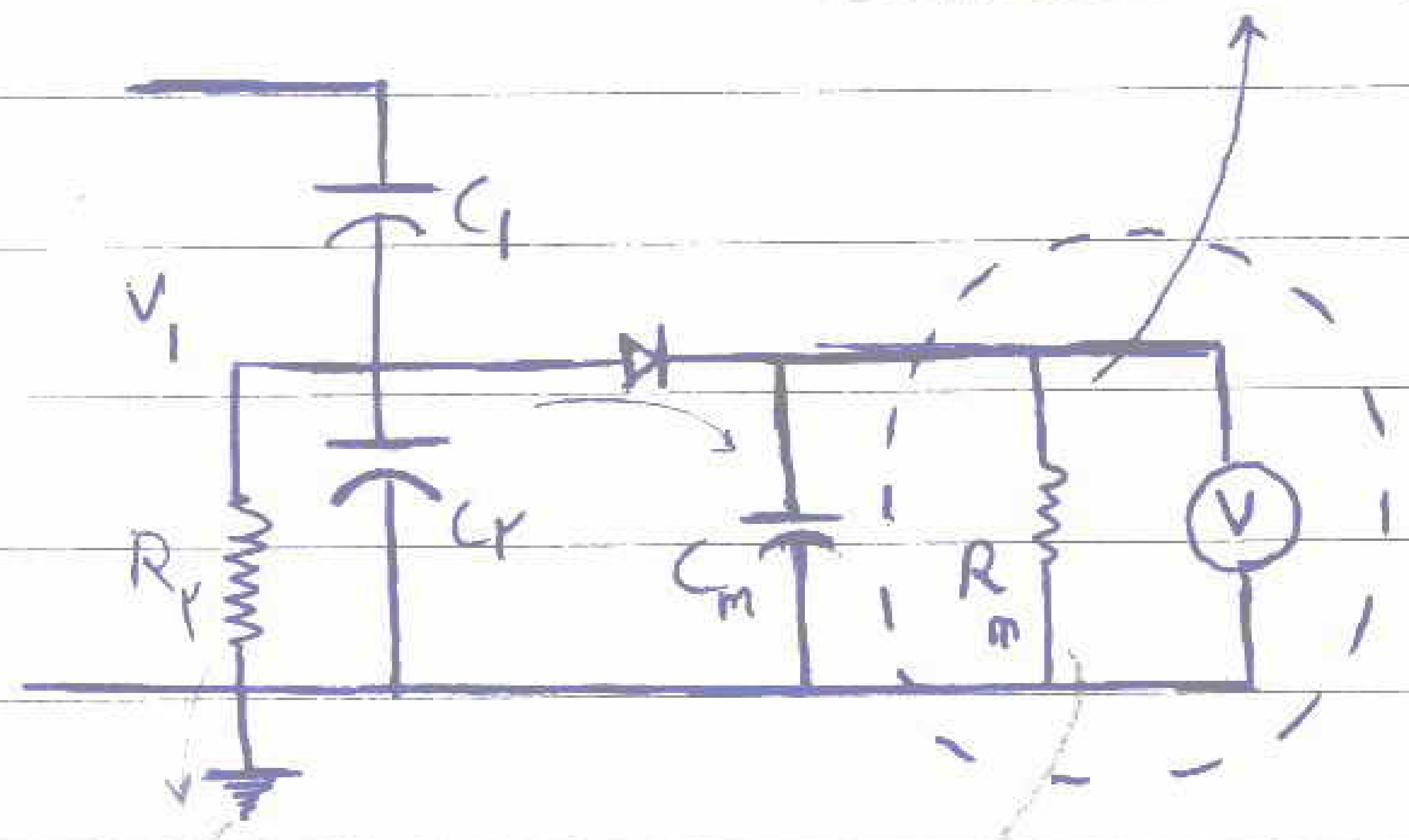
وسایل اندازه‌گیری یا موثر سنج اند یا متوسط سنج / می‌توان از رابطه‌ی $V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$ استفاده کرد چون ممکن ولتاژ

rms mean

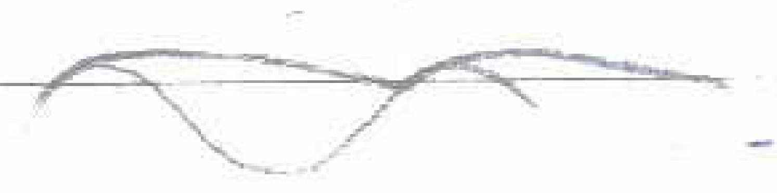
سینوسی کامل نباشد ولی از طرفی ما پیک ولتاژ را لازم داریم چون:

عایق‌ها تحمل‌شان با پیک ولتاژ رابطه دارد نه با متوسط ولتاژ.

با مقاومت خودخازن یا مقاومت خود ولتمتر



این مدار برای اندازه‌گیری پیک ولتاژ است.



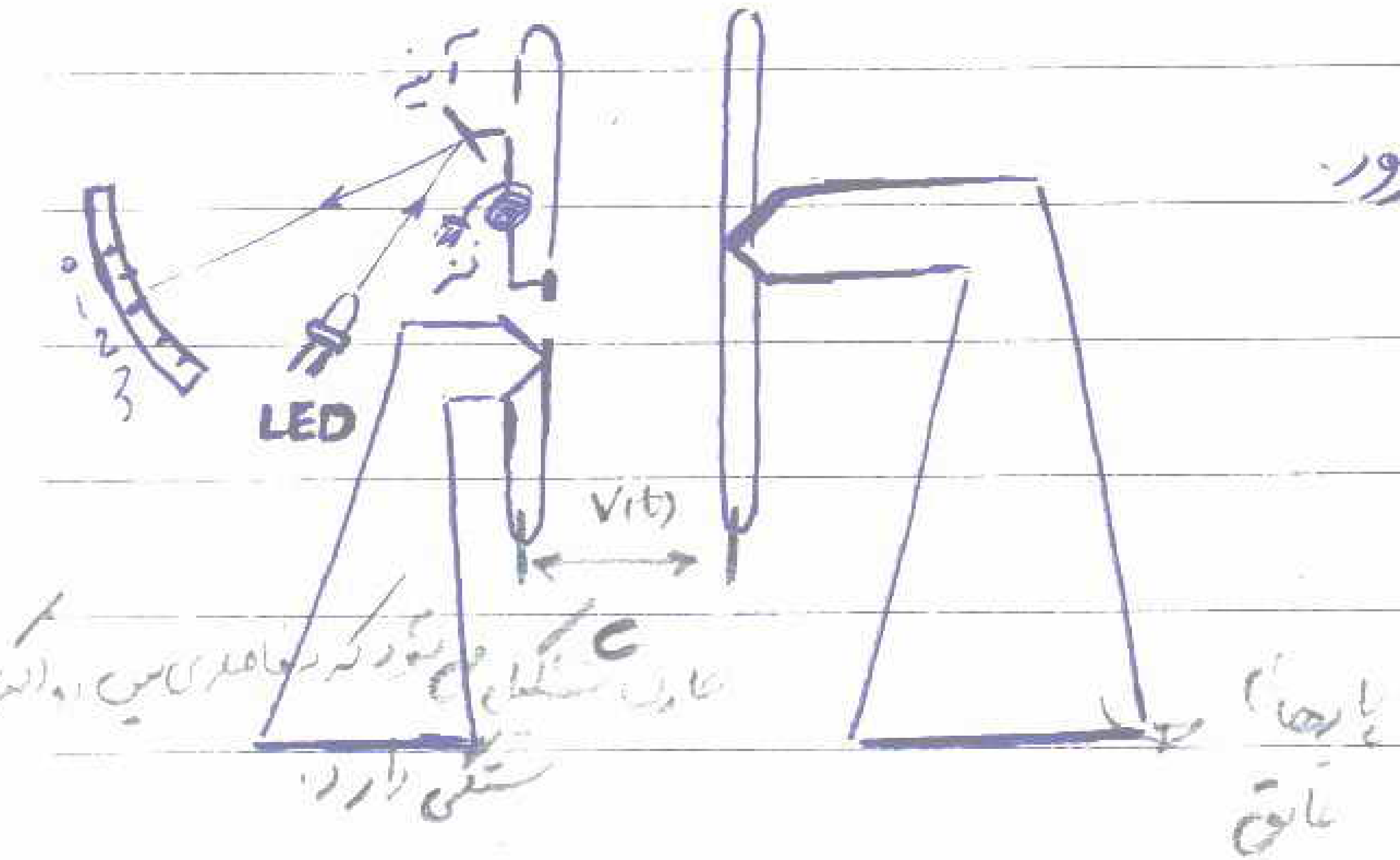
[illegible] عایق

[illegible] موردنظر نیست

R_2 کمبود بار لازم را تأمین می‌کند بعنوان مقاومت برای بستن مدار لازم است.

اندازه‌گیری ولتاژ بوسیله‌ی ولتمتر الکترواستاتیک :

می‌توانند هم برای اندازه‌گیری ولتاژ A C و هم ولتاژ dc بکار برود.



آینه به اندازه α بچرخد فنر به اندازه ۲α می‌چرخد و هر چه فاصله بیشتر باشد دقت‌اش بیشتر خواهد شد.

$$W(t) = \frac{1}{2} C V^2(t)$$

نیروی وارد بر صفحه

$$F = -\frac{1}{2} \frac{dC}{dx} \boxed{V^2(t)}$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d-x}$$

یا

$$F = -\frac{dW}{dx} \qquad |F| = \frac{\epsilon A \boxed{V^2}}{2}$$

مقدار متوسط مجذور = مجذور rms

اما [illegible] الکترود

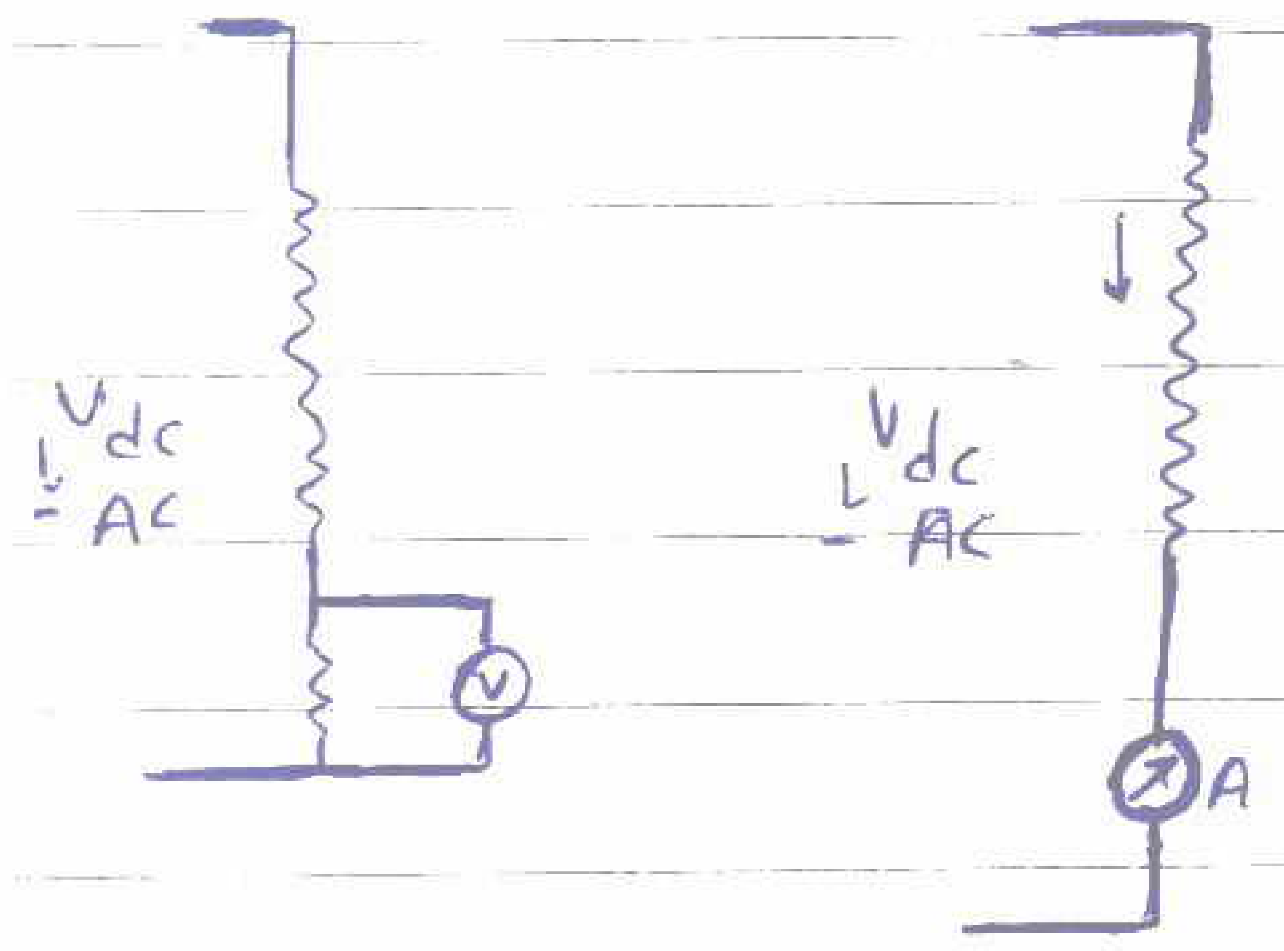
اما [illegible] بکار می‌رود

اما مقدار موثر ولتاژ dc را اندازه می‌گیرد

آن مدار است

$V_{dc\,rms} = V_{max}$

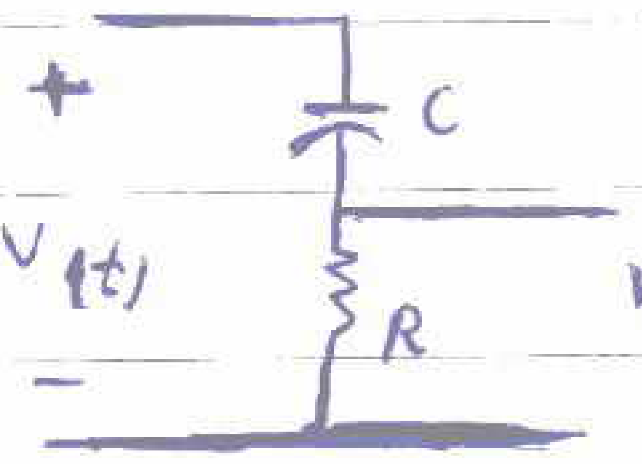
اندازه گیری ولتاژ زیاد به کمک اندازه گیری جریان :


Vdc
یا
AC
V
Vdc
یا
AC
A

ولتاژ را کم نشان می دهد شکل ۲ آمپرمتر دارد کم

می تواند متوسط سنج باشد هم موثر سنج

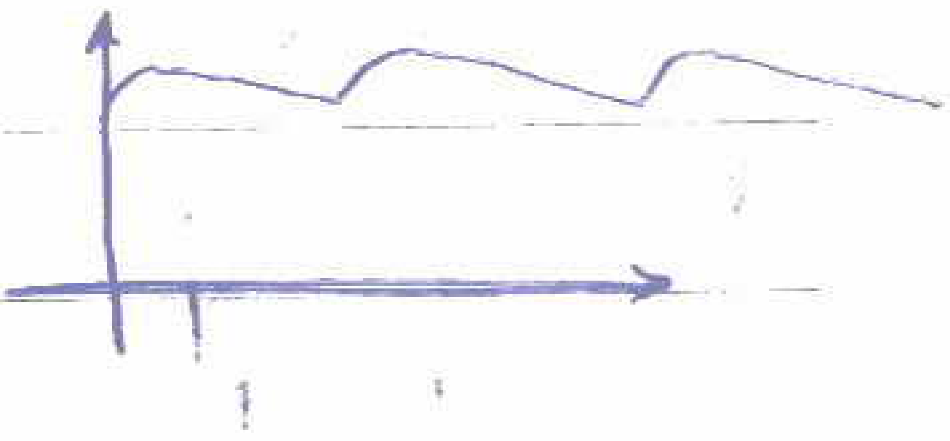
اندازه گیری ناهمواری (ریپل) ولتاژ DC :



$$V_2(t) = \frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}}\,V(t) = \frac{j\omega CR}{1+j\omega CR}\,V(t)$$

f=0 یعنی dc کامل

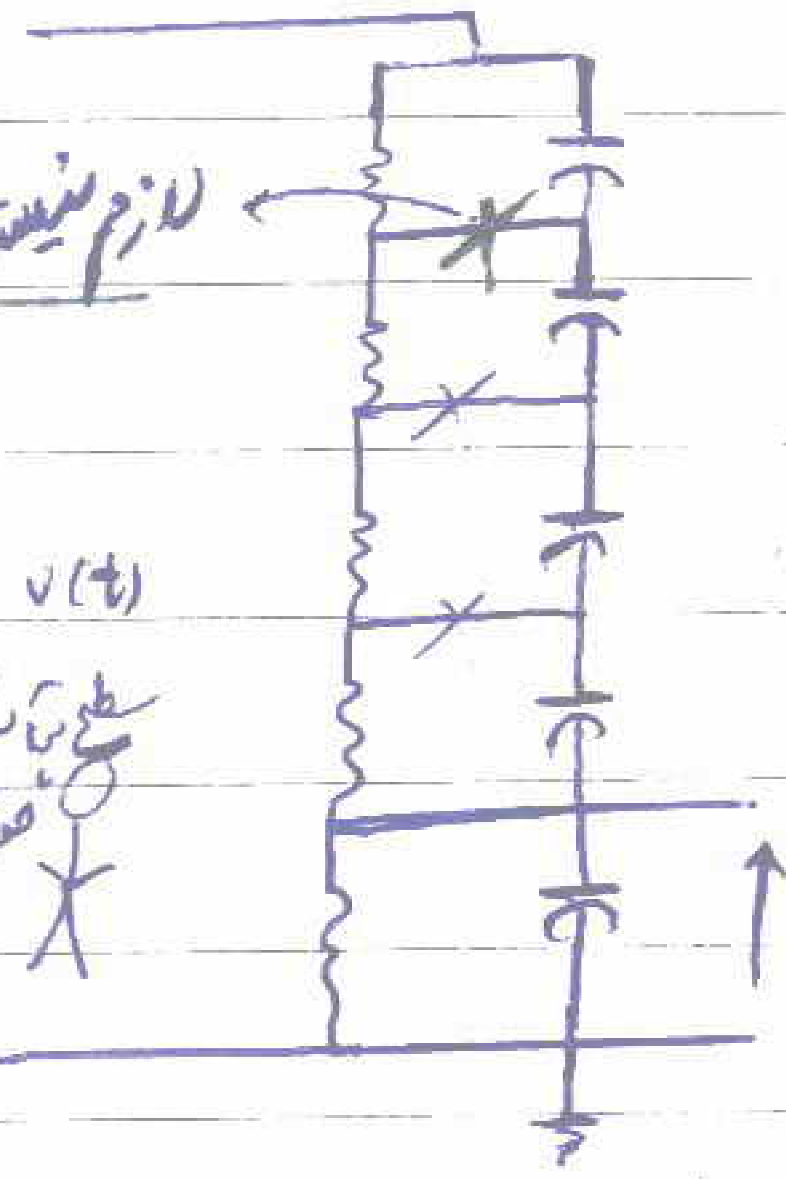
$2\pi f = 0 \to \omega = 0$ برای ولتاژ dc کامل $\longrightarrow V_2(t) = 0$ ریپل = 0



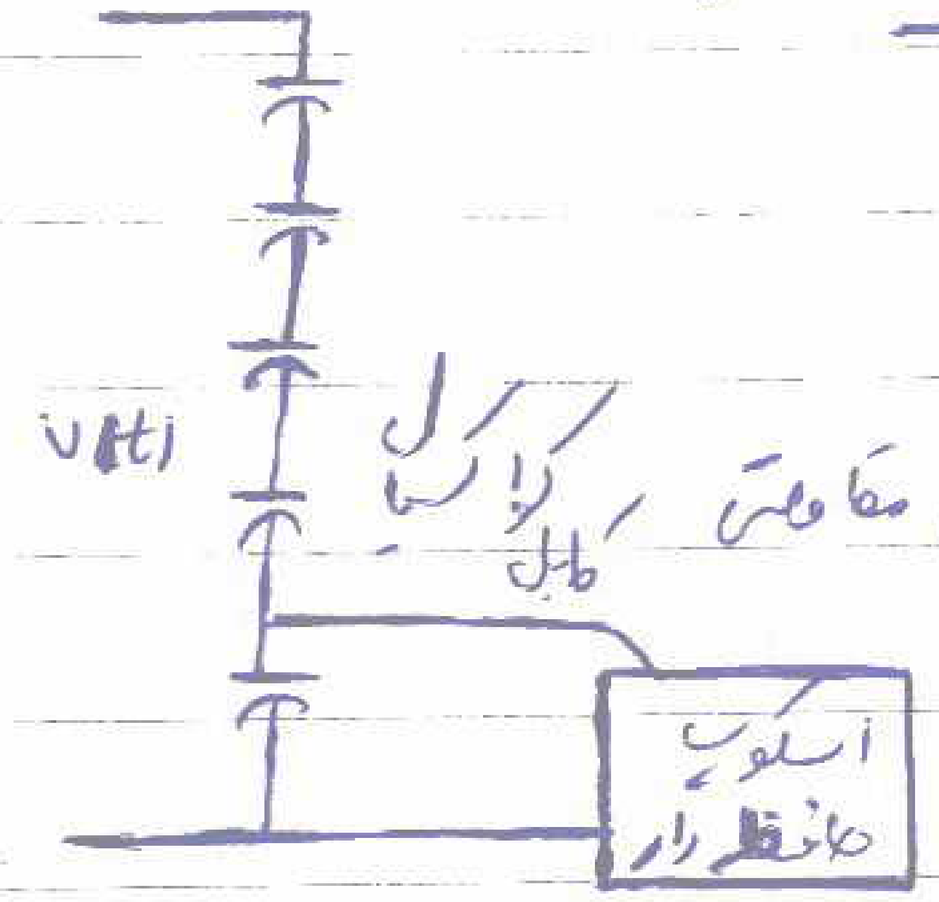
$j\omega CR \gg 1 \longrightarrow V(t) \approx V_2(t)$ یعنی ولتاژ dc روی خازن افتد

و ولتاژ AC روی مقاومت به شرطی فرکانس خیلی کم نباشد

اندازه گیری ولتاژ ضربه :


V(t)
سطح پتانسیل صفر

لازم نیست چون اگر باشند جریان گذر نشتی خواهیم داشت چون مقدار مقاومت ها باهم کاملاً یکسان نیست


V(t)
کابل کواکسیال
اسکوپ حافظه دار

۱- مقسم خازنی

۲- مقسم خازنی مقاومتی

دقت آن بیشتر است چون سطح پتانسیل یکسان بهتری ایجاد می کند و تاثیر محیط اطراف کمتر است

ولتاژ شیب تند

— خازن های سرامیکی می‌توانند برای ولتاژهای ضربه که sharp اند مثل اتصال کوتاه عمل نمایند.

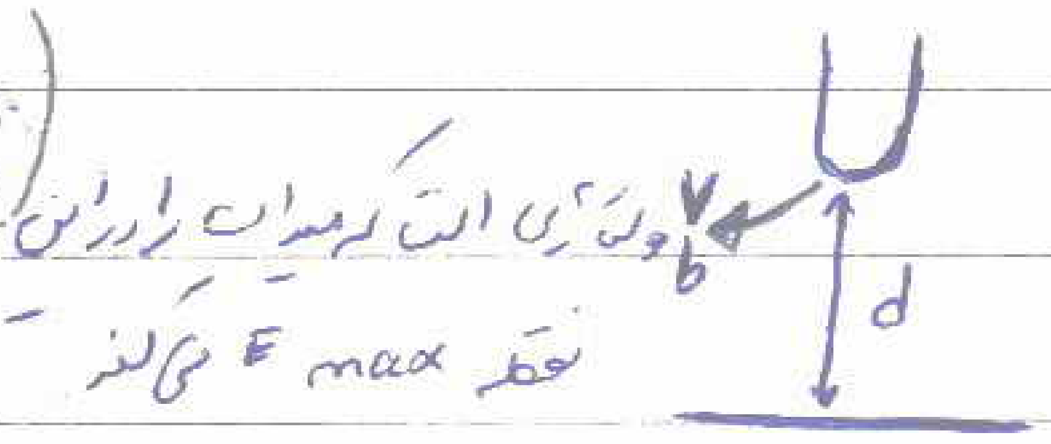
Subject: ۱۱ ZnO SiO_2 Date: / /

وضعیت میدان های الکتریکی در عایق‌ها:

شدت میدان الکتریکی برای اندازه‌گیری خاصیت عایقی استفاده می‌شود نه ولتاژ.

ضریب استفاده شوایگر

$$\eta = \frac{E_{mean}}{E_{max}} = \frac{V_b}{E_{max} \cdot d} = \frac{V_b}{V_{max}}$$



V_b ولتاژی است که میدان را در این نقطه E_{max} می‌کند

(متوسط اعمالی) میدان روی سوزن ماکزیمم می‌شود

$$E_{mean} = \frac{V_b}{d}$$

ولتاژ دو الکترود

فاصله دو الکترود

میدان متوسط

میدان ماکزیمم

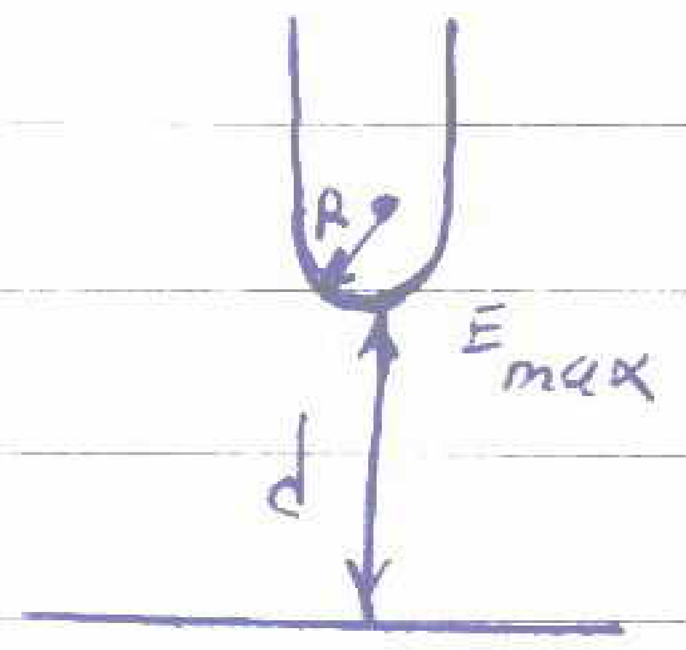
$$E_{max} = \frac{V_{max}}{d}$$

یعنی هرچقدر میدان بین الکترودها یکنواخت‌تر شود ولتاژ قابل تحمل عایق بالاتر خواهد بود. یعنی η به ایدئال ۱۰۰ درصد نزدیک‌تر خواهد بود

$$\boxed{V_b = E_{max} \cdot d \cdot \eta \qquad 1 \geq \eta \geq 0}$$

شدت میدانی که هوا می‌تواند در فضای یکنواخت می‌تواند تحمل کند

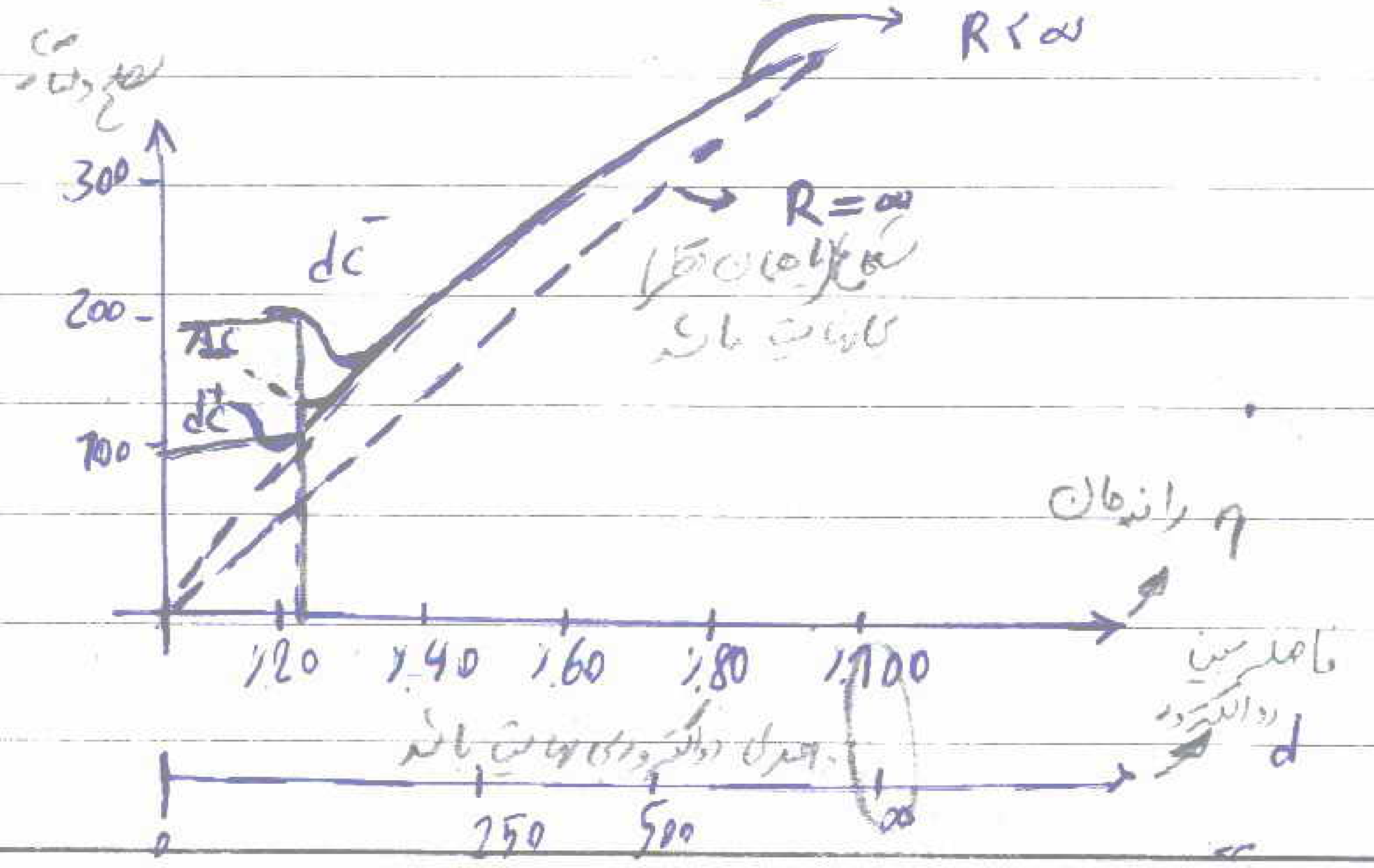
$V_b = 26.6 \ kV/cm$ → با راندمان ۱۰۰٪



هرچقدر R بزرگتر شود میدان یکنواخت‌تر خواهد بود.

وقتی R به سمت بی‌نهایت برود صفحه‌ها است یعنی راندمان ۱۰۰٪ است.

وقتی R را کم کنیم منحنی راندمان را داریم



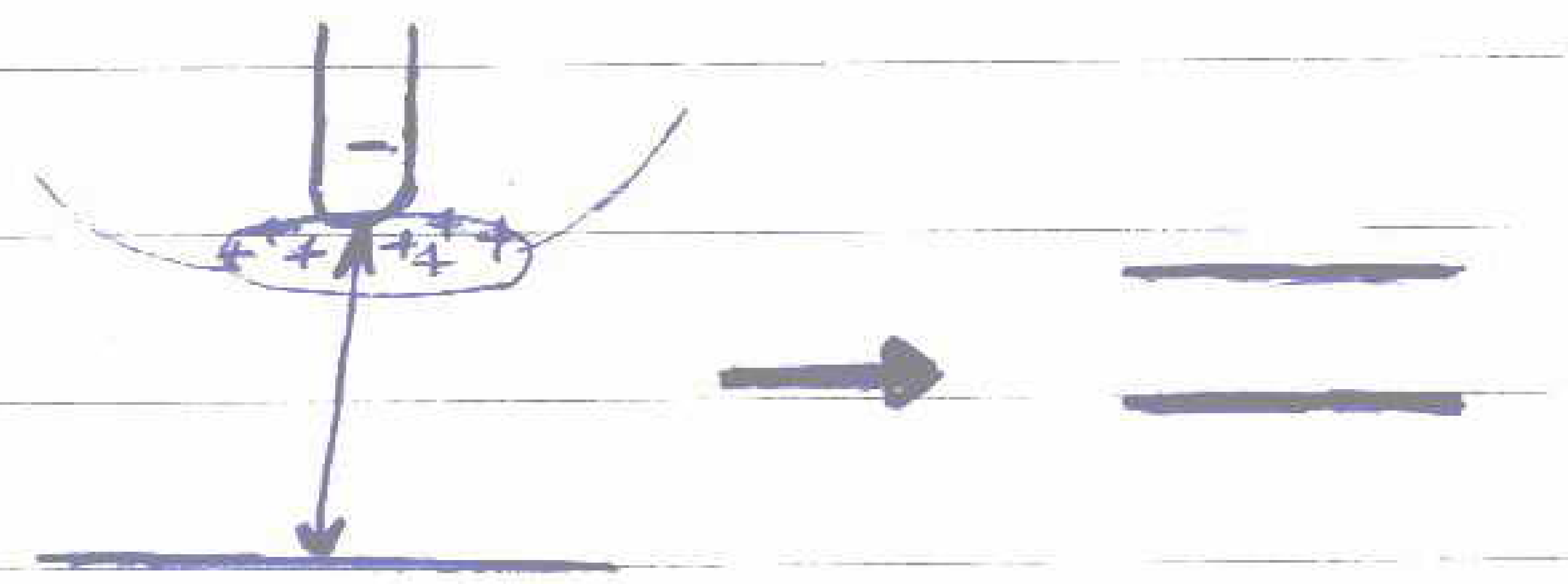
یعنی dc^+ استقامت ولتاژ اش کمتر خواهد شد

breakdown $V_b^- > V_b^+$

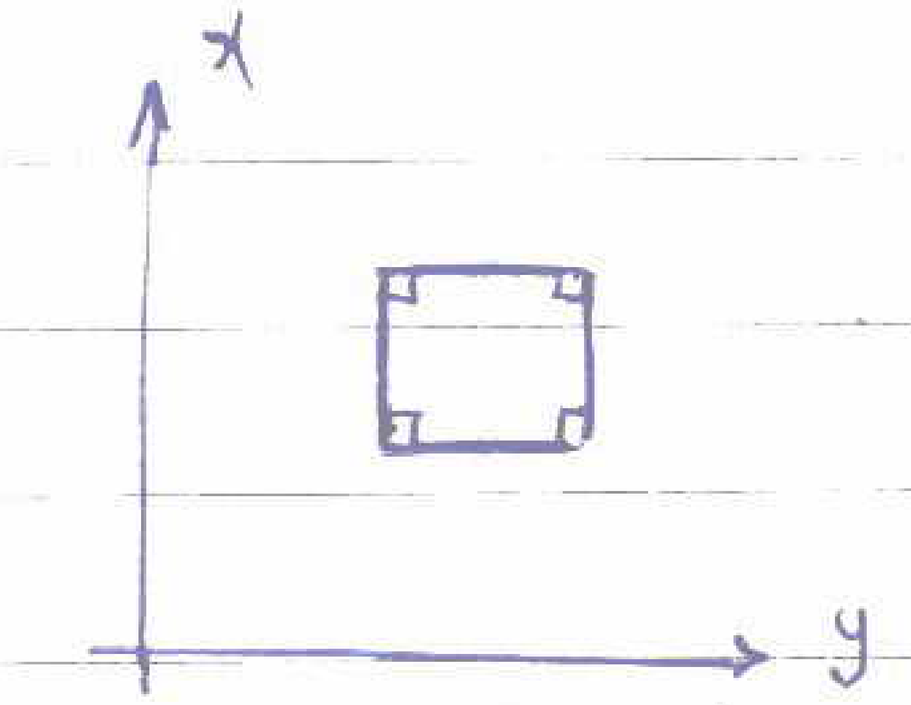
Subject: زمانی که پلاریته‌ی سوزن منفی باشد (چون الکترود بالایی است یعنی ج۷) Date: / /

چون یون‌ها وزن‌شان بیشتر است و سرعتشان کمتر است پس یک تجمع از یون‌ها را در اطراف سوزن خواهیم داشت.

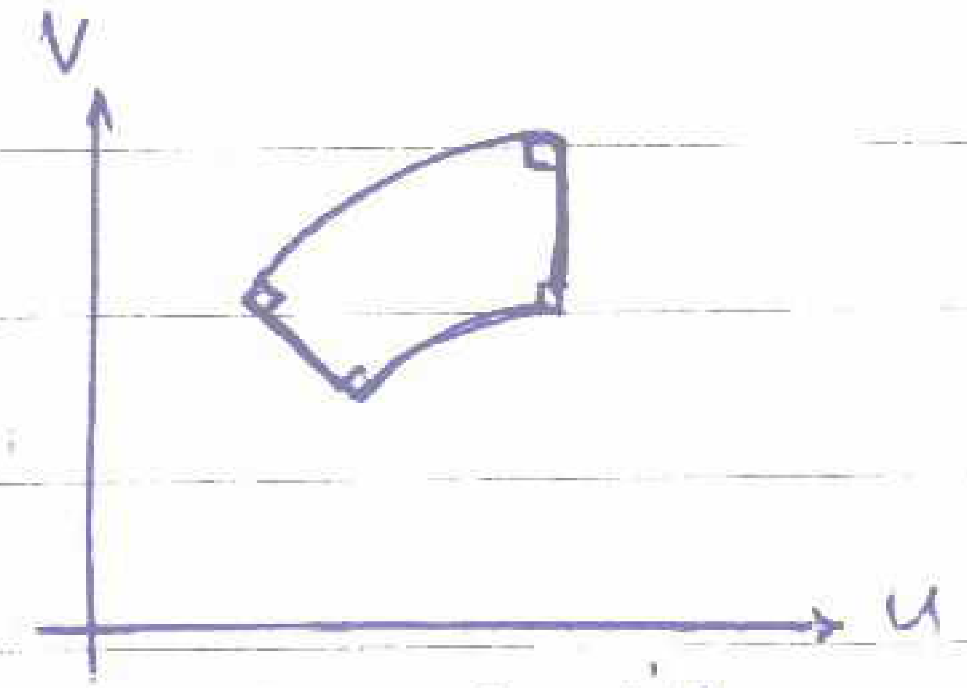
- چون اگر قدر شعاع بزرگ‌تر می‌شود به سوزن حوزش به خودی خود اضافه خواهد بود و تجمع یون‌ها تأثیری نخواهد داشت.



روش‌های نگاشت هندسی



$z = x + jy$



$w = u + jv$

اگر تابع تحلیلی داشته باشیم و توسط آن تابع یک شکل را از یک صفحه به صفحه دیگر ببریم زوایا تغییر نخواهند کرد (شکل امکان دارد تغییر کند)

$w(z) = z^2$

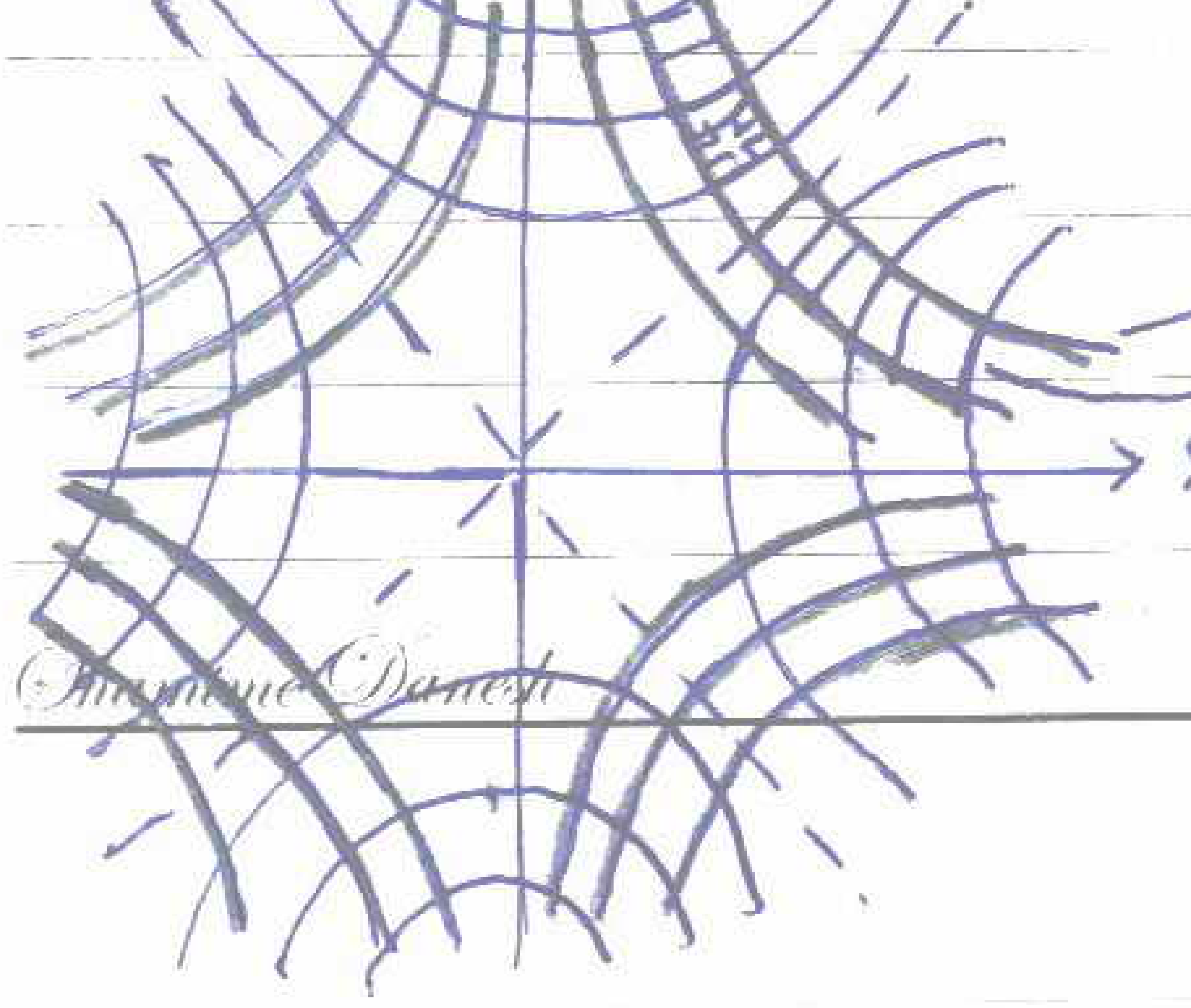
$$w(z) = (x+jy)^2 = \underbrace{x^2-y^2}_{u} + j\,\underbrace{2xy}_{v}$$

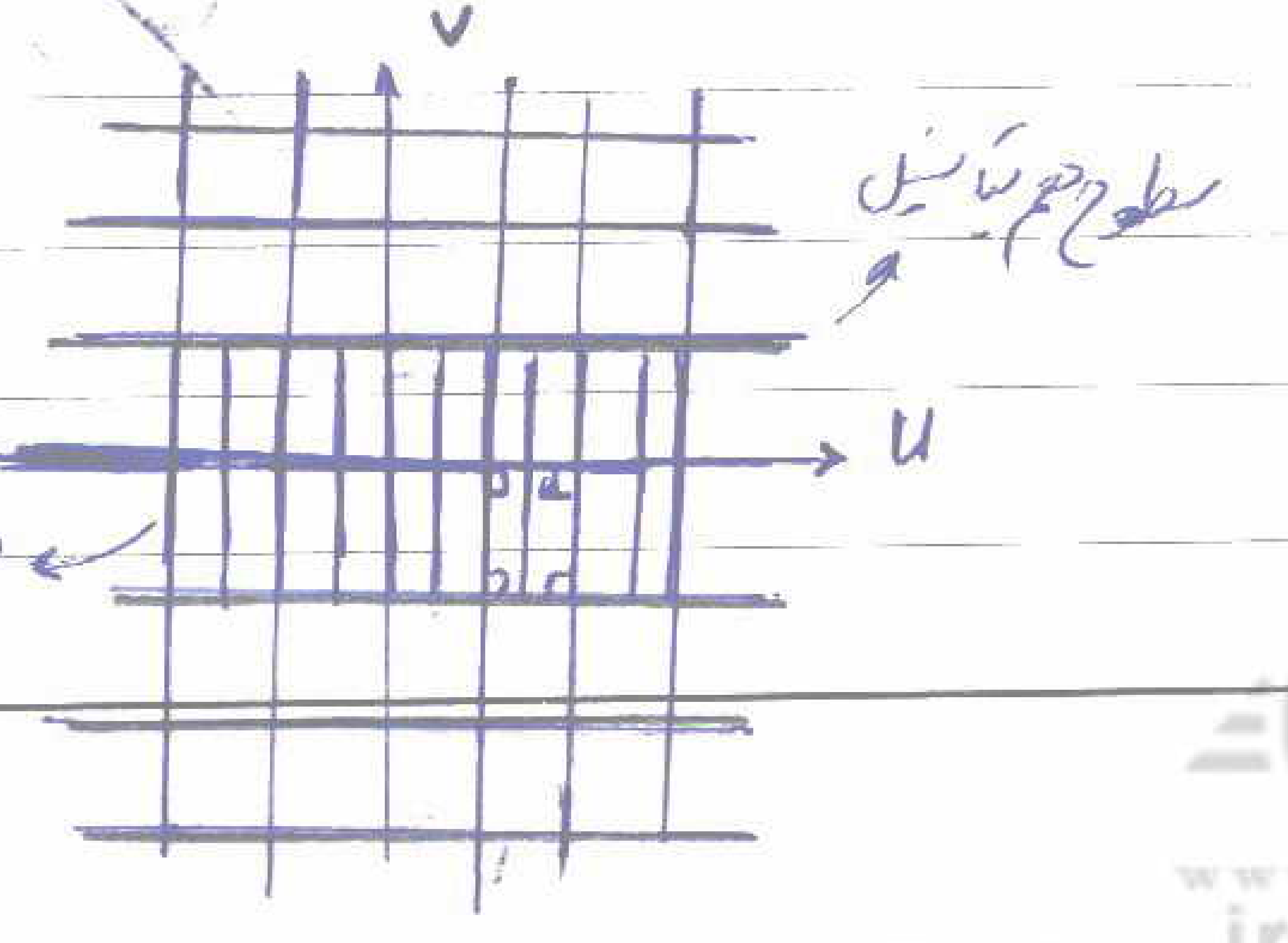
حقیقی موهومی

هوگرافیک

$2xy = cte$ منحنی‌های هذلولی‌اند

$x^2 - y^2 = cte$ هذلولی‌اند


y
x
سطوح هم پتانسیل
خطوط میدان


v
u
سطوح هم پتانسیل
خطوط میدان

$w = \arc\sin \frac{z}{a} \longrightarrow z = a \sin w$

$z = x + jy = a\sin(u+jv) =$

$= a\sin u \cos jv + a\cos u \sin jv$

$= a\sin u \cosh v + j a\cos u \sinh v$

$\cos jv = \cosh v$
$\sin jv = j\sinh v$

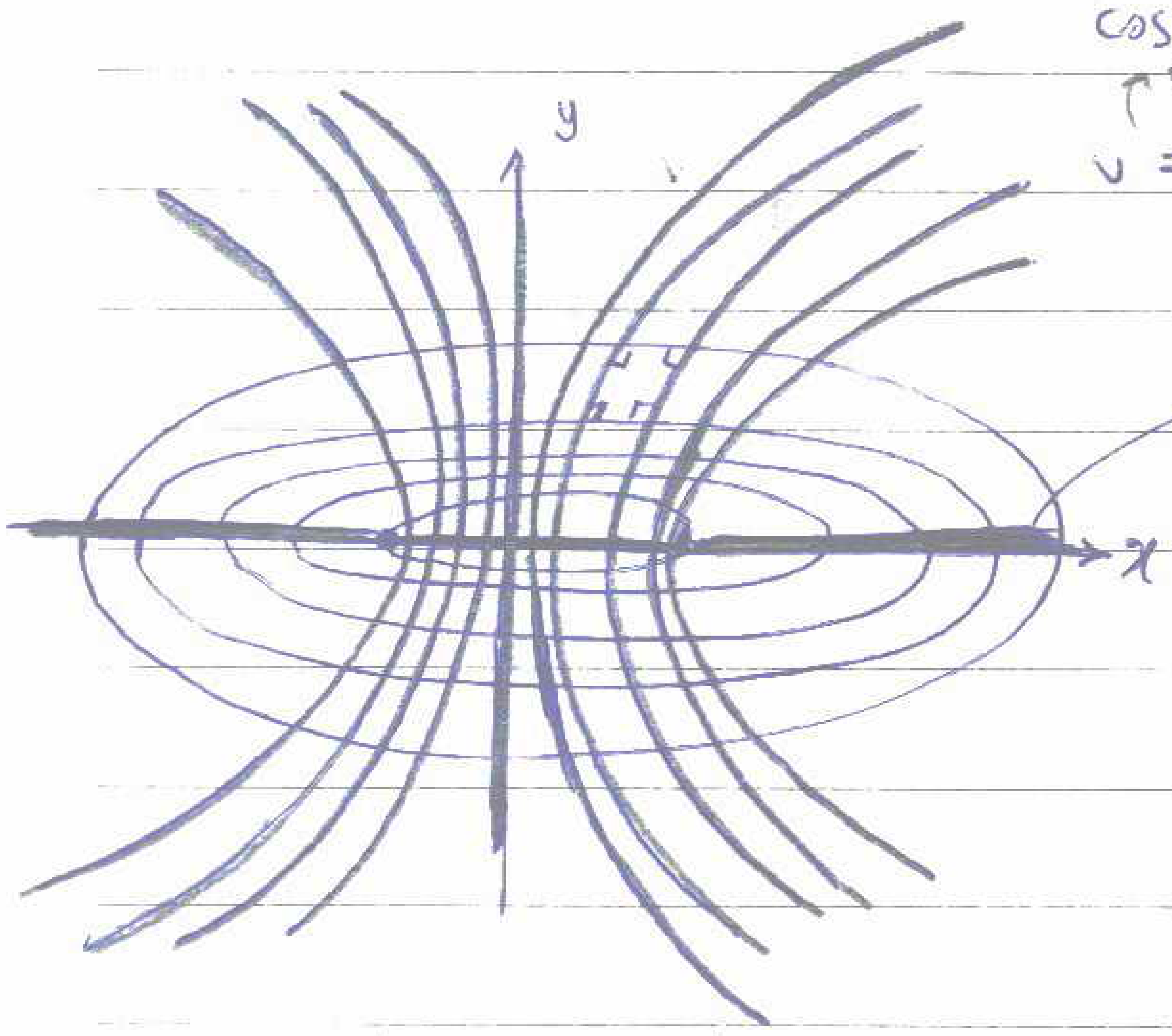
$\left. \begin{array}{l} x = a\sin u \cosh v \\ y = a\cos u \sinh v \end{array} \right\} \leftarrow$

$\left(\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1 \quad \text{و} \quad \cosh^2\theta - \sinh^2\theta = 1 \right)$

$\sin^2 u + \cos^2 u = 1 \longrightarrow \frac{x^2}{a^2\cosh^2 v} + \frac{y^2}{a^2\sinh^2 v} = 1$

$\frac{x^2}{\underset{\text{cte}}{\cosh^2 v_1}} + \frac{y^2}{\underset{\text{cte}}{\sinh^2 v}} = a^2$

$v = cte$ منحنی های بیضی اند



میدان بین ادبیلی

میدان بین دو بیضی

میدان بین دو هذلولی

$\cosh^2 v - \sinh^2 v = 1 \longrightarrow \frac{x^2}{a^2\sin^2 u} - \frac{y^2}{a^2\cos^2 u} = 1$

$\frac{x^2}{\sin^2 u} - \frac{y^2}{\cos^2 u} = a^2$

هذلولی $x^2 - y^2 = cte \leftarrow$

$u_1 = cte$

← پیدا کردن این تابع تکلیفی کار سختی است برای شکل های متداول در طبیعت اینکار را انجام داده اند

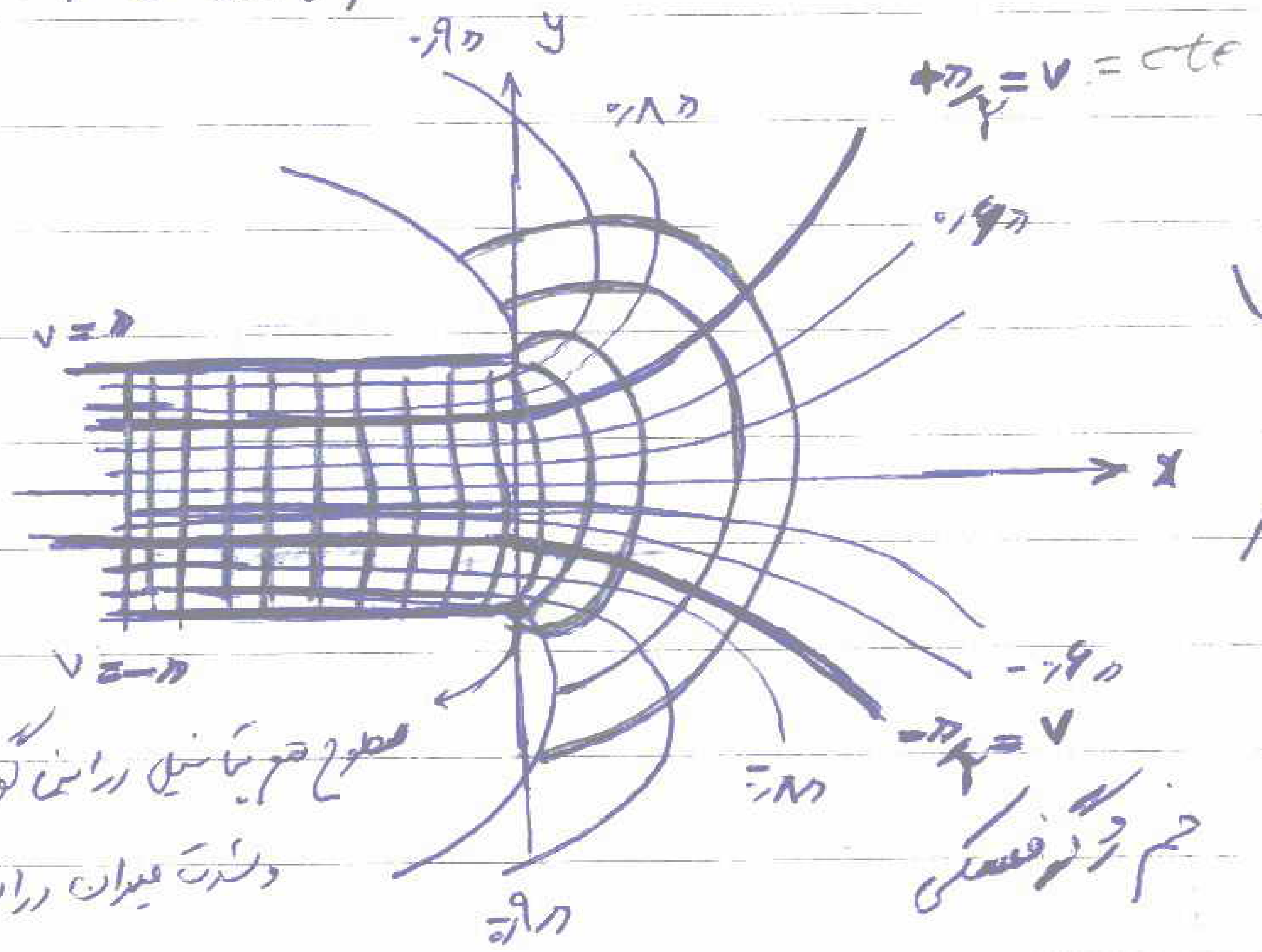
$$Z = \frac{a}{\pi}\left(\underset{u+jv}{W} + 1 + e^{W}\right) \qquad \underset{x+jy}{Z}$$

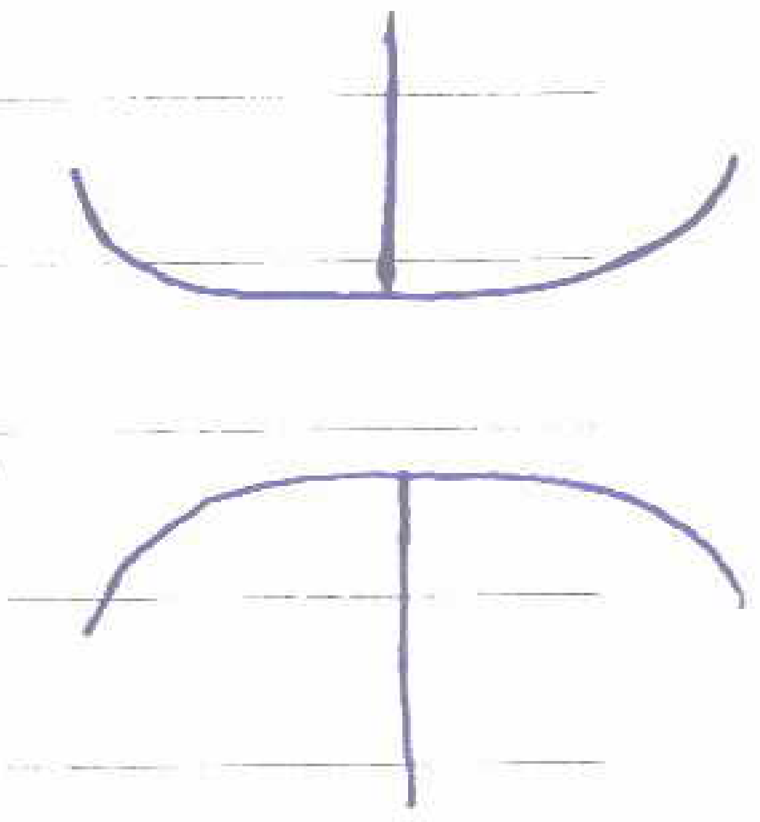
تابع (Max wel)

نگاشت کانفورم

$$x = \frac{a}{\pi}\left(u + 1 + e^{u}\cos v\right)$$

$$y = \frac{a}{\pi}\left(v + e^{u}\sin v\right)$$





سطوح هم پتانسیل در این گوشه‌ها خیلی بهم نزدیک می‌شوند و شدت میدان در این نقاط خیلی زیاد است

هم روگوفسکی

یعنی بیشترین استفاده الکترودها را با

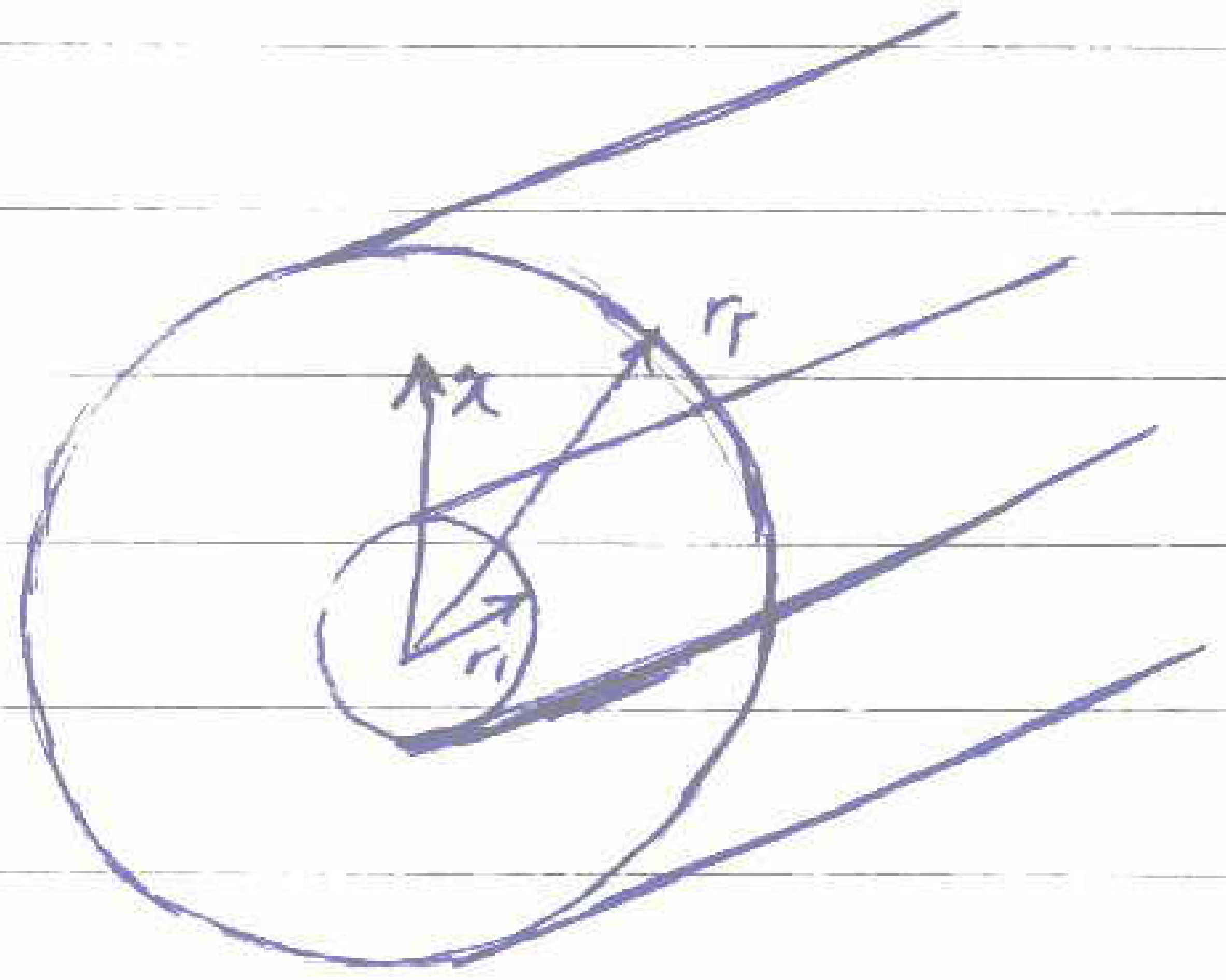
بهترین جواب در شدت میدان یکنواخت بدست می‌آید که برای ایجاد میدان یکنواخت بهترین صفحه، صفحه‌ای است که به شکل هم روگوفسکی باشد.

از صفحه‌های ۰/۶π و ۰/۶π− هم می‌توان برای میدان یکنواخت استفاده کرد اما صفحه بزرگتر خواهد شد و هزینه زیاد خواهد شد و صفحات ۰/۸π و ۰/۸π− صفحه‌ها کوچکتر خواهند شد ولی میدان یکنواخت نخواهد بود

دلیل هم روگوفسکی بهترین حالت بین این دو صفحه است.

I روش استفاده از شکل های ساده

میدان الکتریکی دو استوانه تو در تو و متحدالمرکز



$$\oint D\cdot ds=\sum q$$

$$2\pi x\cdot\epsilon E_x=\sum q$$

دو استوانه متداخل و متحدالمرکز

$$E(x)=\boxed{\frac{Q/l}{2\pi\epsilon}}\frac{1}{x}=\frac{V}{\ln(r_2/r_1)}\frac{1}{x}$$

بار طولی

عمود است

پس $D\cdot ds=0$ می شود

$$V_1-V_2=\boxed{-}\int_{r_1}^{r_2}E\cdot dr$$

$$-V=-\frac{Q}{2\pi\epsilon l}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r}=-\boxed{\frac{Q}{2\pi\epsilon l}}\ln\frac{r_2}{r_1}$$

دو کره متداخل و متحدالمرکز

$$4\pi x^2\cdot\overbrace{\epsilon E_x}^{D}=Q\longrightarrow E(x)=\frac{Q}{4\pi\epsilon}\frac{1}{x^2}=\frac{V}{(R_2-R_1)/R_1R_2}\,\frac{1}{x^2}$$

در ۲ استوانه:

$$E_{max}=\frac{V}{\ln\frac{r_2}{r_1}}\times\frac{1}{r_1}$$

اگر $r_1\simeq r_2 \xrightarrow{\ln 1=0}$ E_{max} افزایش می یابد

اگر $r_1\to 0 \xrightarrow{\frac{1}{0}=\infty}$ E_{max} افزایش می یابد

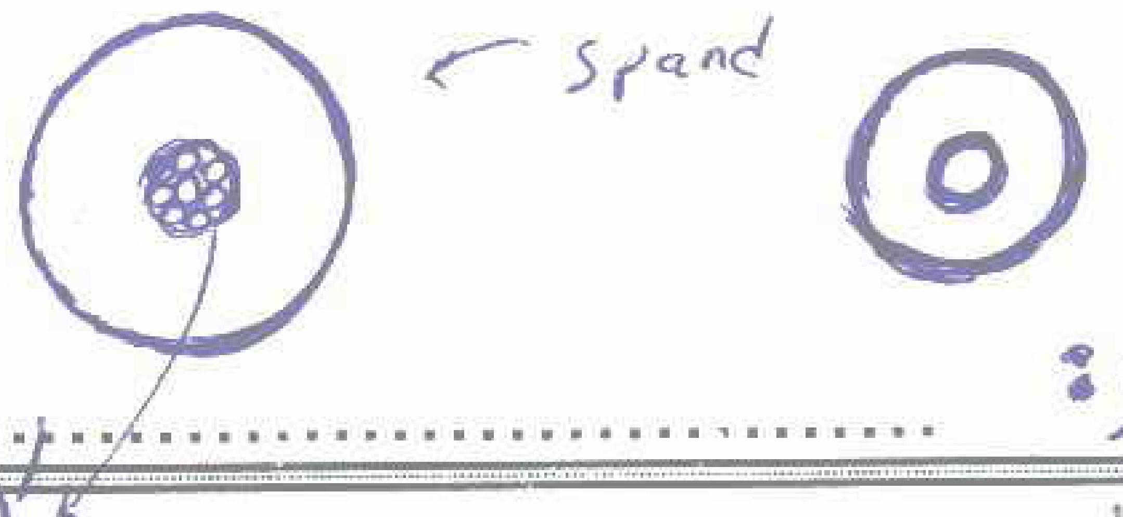
پس r_1 را چقدر انتخاب کنیم که به ازای آن r_1، شدت میدان ماکزیمم (E_{max}) مینیمم شود؟

$$\left.\frac{dE_{max}}{dr_1}\right|_{r_2=cte}=0\longrightarrow\boxed{r_2/r_1=e=2.7}$$

نسبت شعاع بیرونی به شعاع داخلی ۲٫۷ است

و این نکته در تمام کابل ها و پست های GIS هم رعایت می شود

$$\frac{d}{dx}\ln u=\frac{u'}{u}$$



که طوری می‌پیچید تا سطح آن بیشتر شود همچنین انعطاف آن بیشتر شود

Subject: در دو کره متحد المرکز :   Date: / /

$$E_{max} = \frac{V}{\frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}} \frac{1}{R_1^2}$$

اگر $R_1 = 0 \leftarrow E_{max} = \infty$

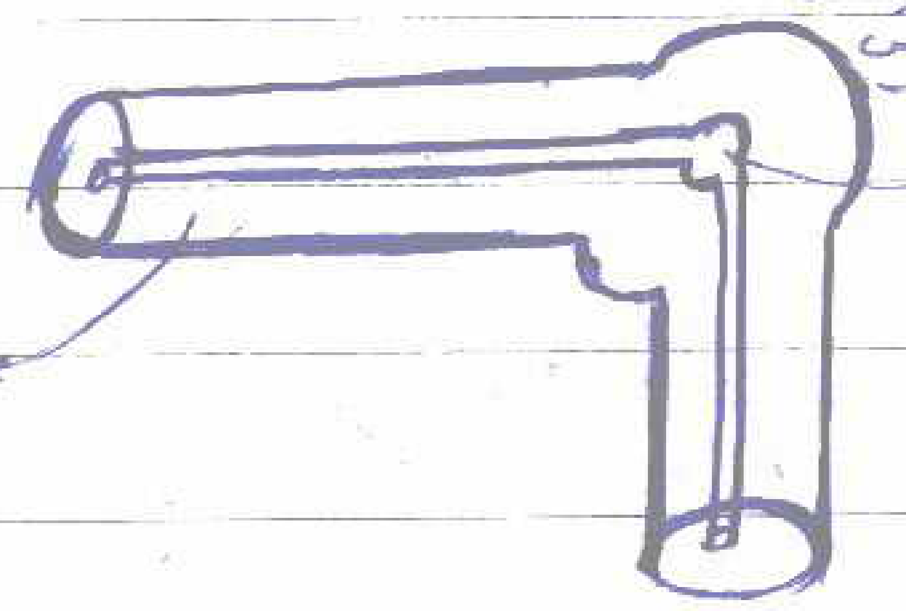
اگر $R_1 = R_2 \leftarrow E_{max} = \infty$

$R_1 \to \infty$ ↓ $R_1 \to \infty$

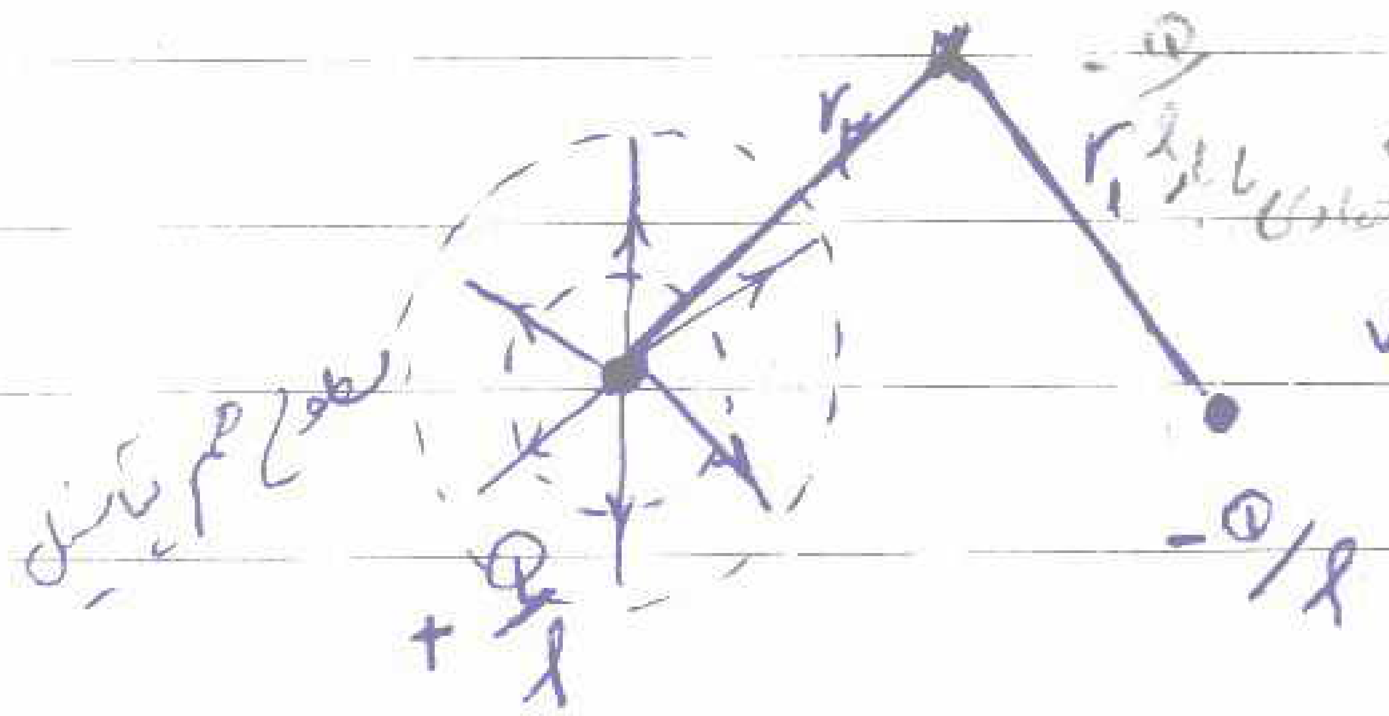
$E_{max} = \frac{V \times \infty}{R_2 - R_1 = cte}$

$$\boxed{\frac{d E_{max}}{d R_1}\Big|_{R_2 = cte} = 0 \longrightarrow R_2 = 2R_1}$$

ریسه‌های GIS :


در این قسمت ۲ برابر ثابت شده
در این قسمت ۲,۷ برابر ثابت شده است

میدان بین دو هادی موازی :


r_2
r_1
بار هادی
خطوط هم پتانسیل
$+Q/l$
$-Q/l$

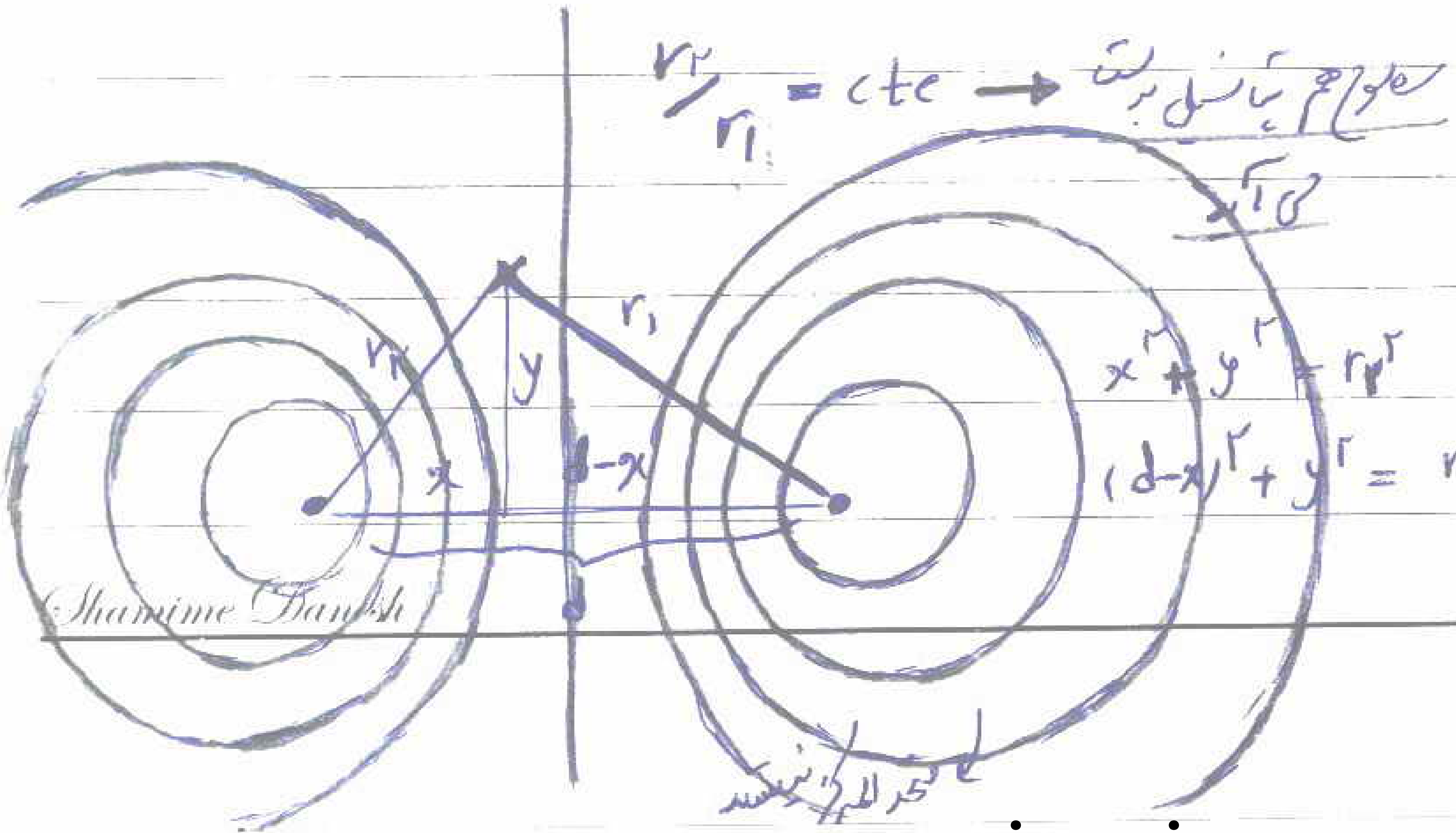
$$V(r) = -\frac{Q/l}{2\pi\varepsilon} \ln r + K$$

ثابت K با دانستن یک مبدا پتانسیل بدست می‌آید

$$V(r) = -\frac{Q/l}{2\pi\varepsilon} \ln r_1 + K + \frac{Q/l}{2\pi\varepsilon} \ln r_2 + K$$

$$V(r) = \frac{Q/l}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} + \cancel{2K} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon l} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$\frac{r_2}{r_1} = cte \rightarrow$ سطوح هم پتانسیل بدست می‌آید


r_2
r_1
y
x
$d-x$
محور الکتریکی

$x^2 + y^2 = r_2^2$

$(d-x)^2 + y^2 = r_1^2$

$$\frac{(d-x)^2+y^2}{x^2+y^2}=\frac{r_1^2}{r_2^2}=k^2 \longrightarrow \left(x+\frac{d}{k^2-1}\right)^2+y^2=\left(\frac{k\,d}{k^2-1}\right)^2$$

معادله دایره‌ای که مرکزش در $\left(-\frac{d}{k^2-1}, 0\right)$ است

به شعاع $\frac{kd}{k^2-1}$

روش‌های تعیین میدان به کمک شبیه‌سازی (اندازه‌گیری)

۱- استفاده از رسم میدان روی کاغذ رسانا:

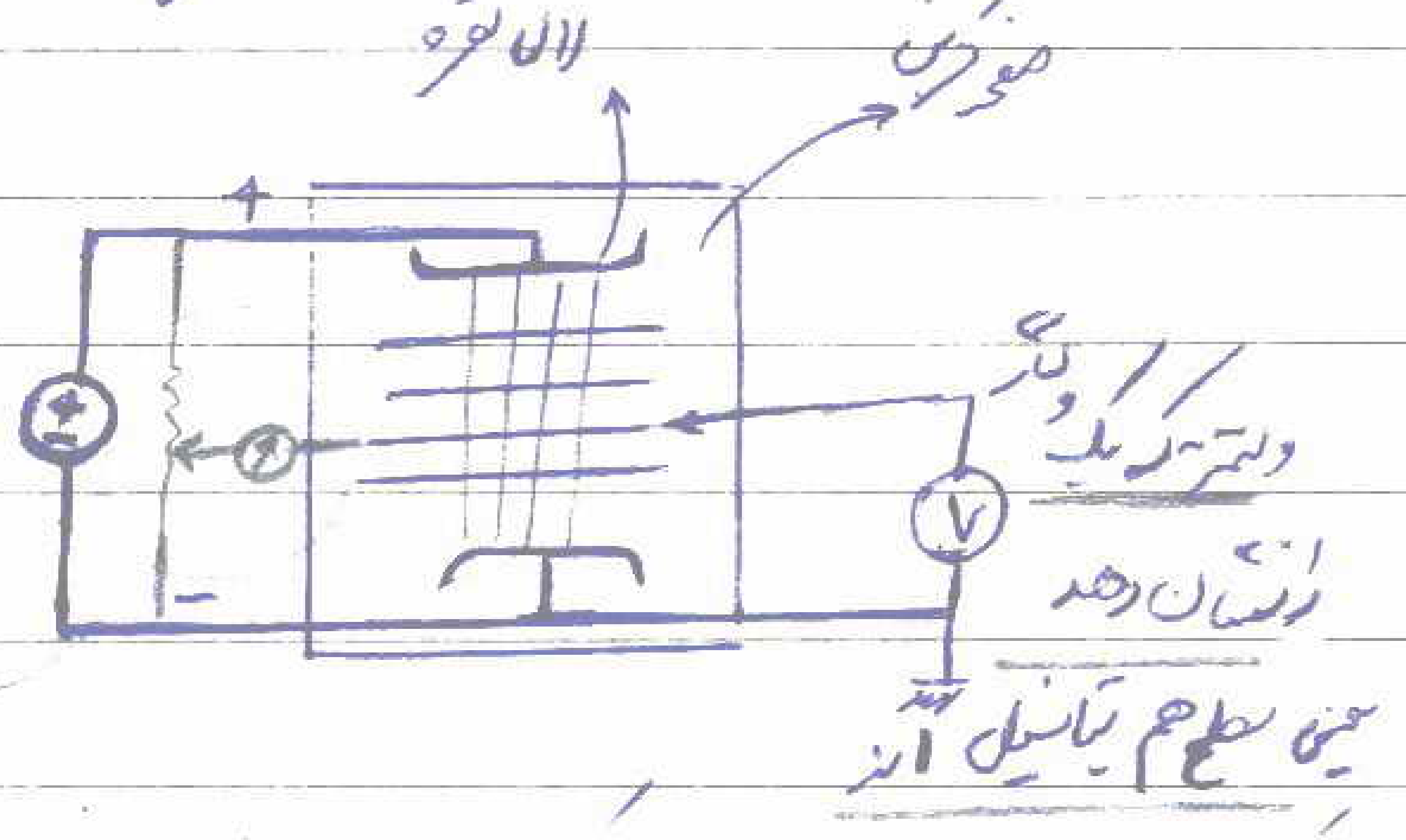
فقط مناسب برای میدان‌های دو بعدی و یا میدان‌هایی که در یک جهت تغییر نمی‌کنند.

برای عایق

$\vec{D}=\epsilon\vec{E}$ $\qquad Q=\int D\cdot dA$ $\qquad \operatorname{div}\vec{D}=0$

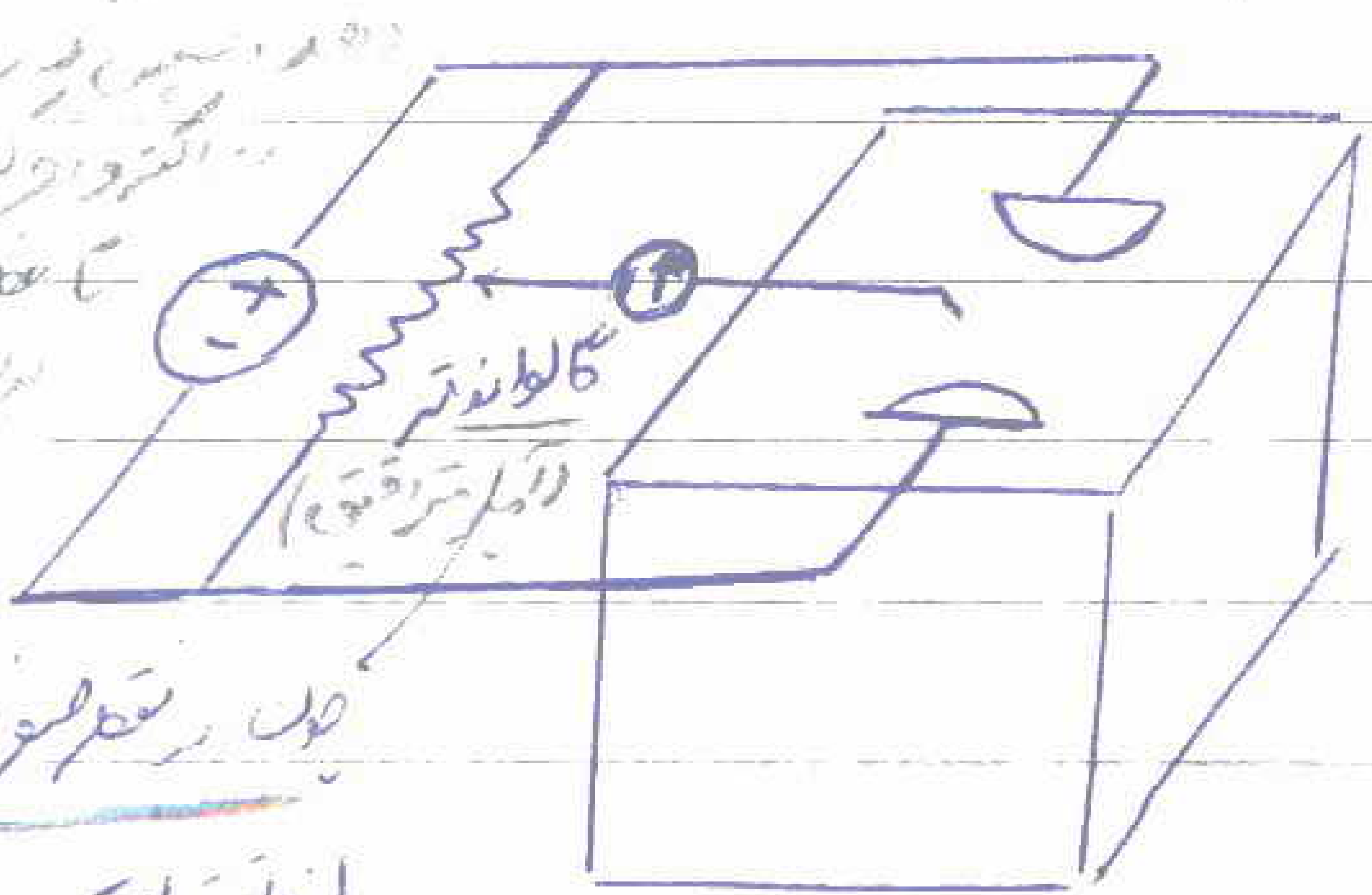
برای هادی

$\vec{J}=\sigma\vec{E}$ $\qquad I=\int J\cdot dA$ $\qquad \operatorname{div}\vec{J}=0$


خطوط قوه
صفحه کربن
+
-
ولتمتر که یک ولتاژ را نشان دهد
یعنی سطح هم پتانسیل آید

جایی که گالوانومتر [illegible] الکترود و الکترود [illegible] آنقدر حرکت می‌دهیم تا جریان صفر را نشان [illegible] تا نقاط هم پتانسیل [illegible]

۲- استفاده از تانک الکترولیت: مناسب برای الکترودهای سه‌بعدی


گالوانومتر (آمپرمتر دقیق)

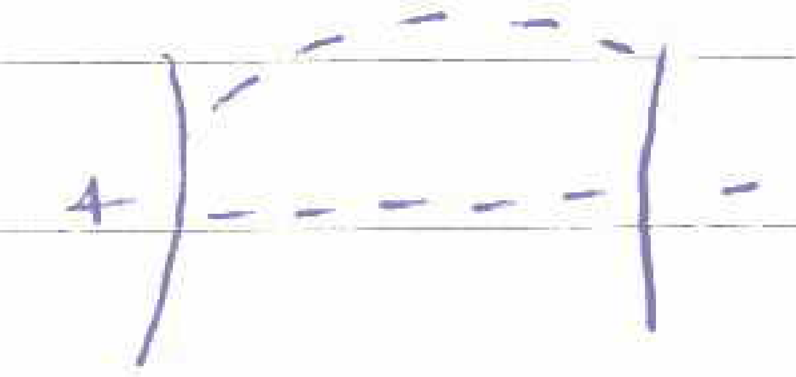
چون در تعیین صفر دقیق‌تر از ولتمتر است

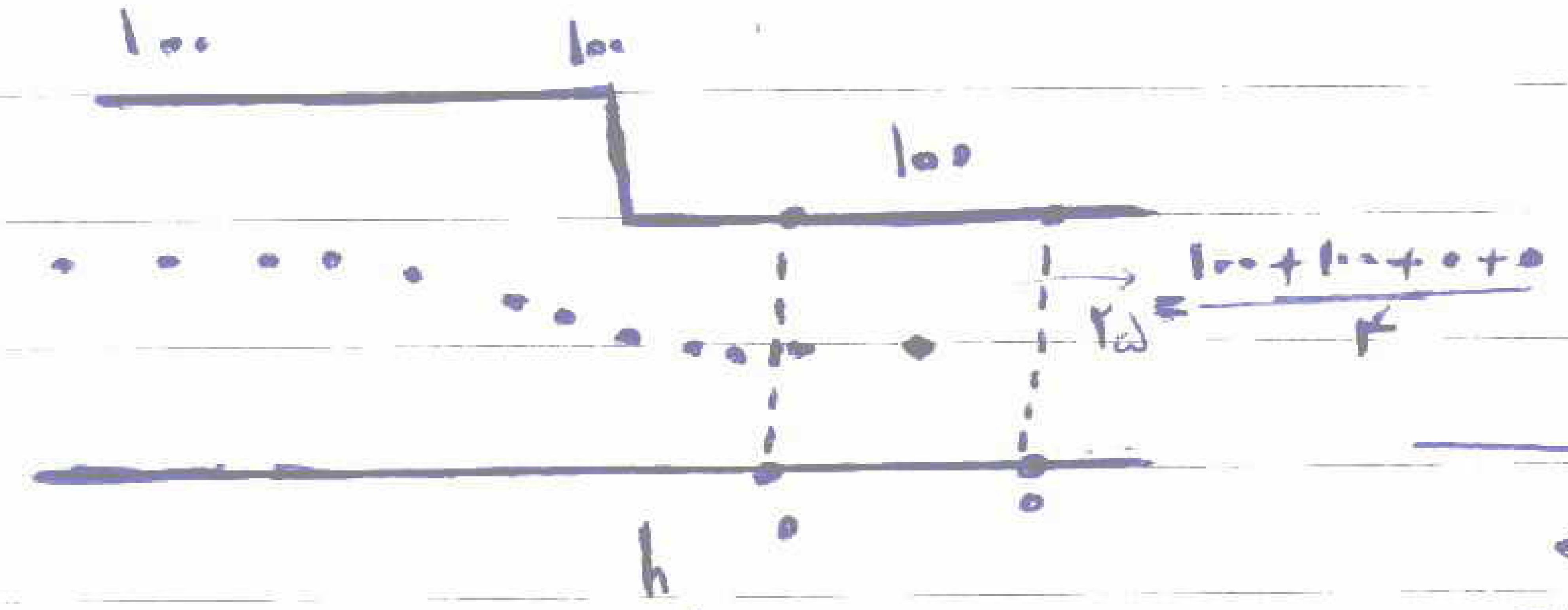
ولی اینجا چون از ته هم وصل داریم گویند چرا → به طور کلی بعد این ماشین ها اینگونه خواهند بود. ✓

سری گویند چرا → در حال این ماشین ها اینگونه خواهند بود. ✗

۳-۱ استفاده از برگاه : وسیله‌ای دو فلزی با وزن کم است

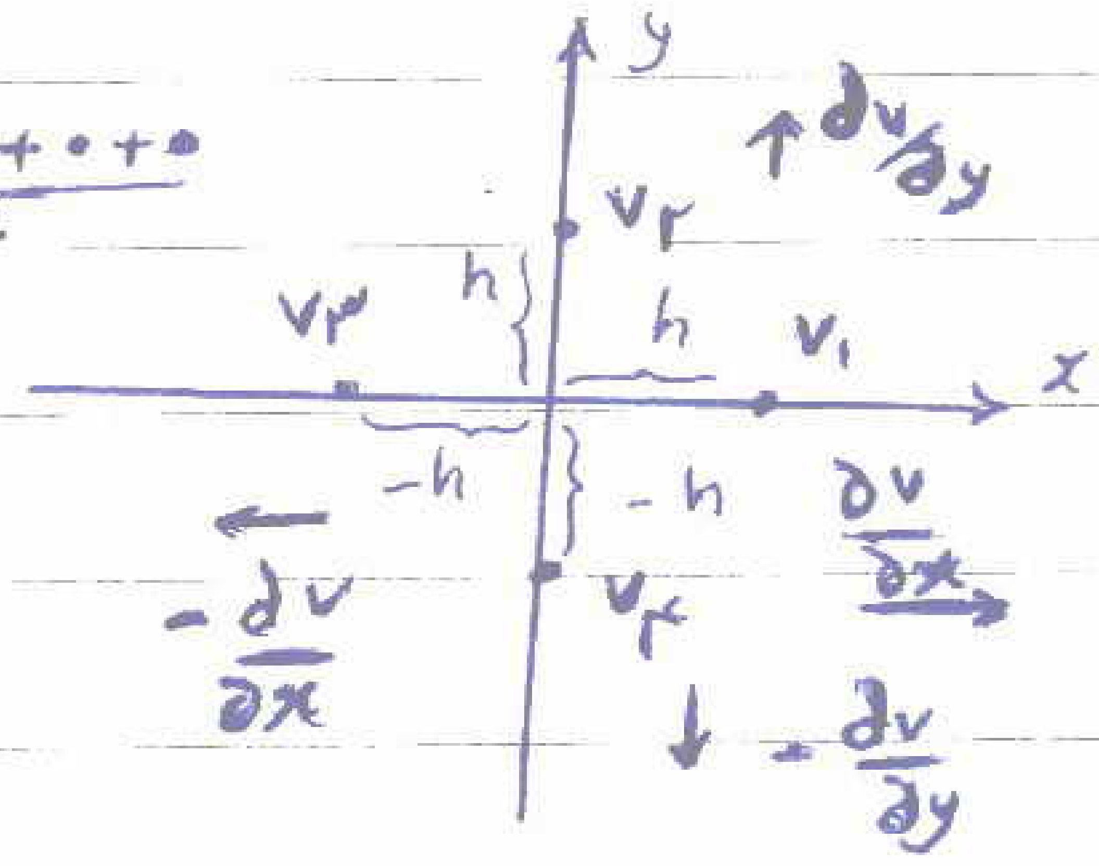
برگاه در استاتیک میدان جهت گیری می‌کند




100
100
100
$25 = \frac{100+100+0+0}{4}$

روش

۴- اجزای محدود


y
x
V_1
V_2
V_3
V_4
h
-h
$\partial v/\partial y$
$\partial v/\partial x$
$-\frac{\partial v}{\partial x}$
$-\frac{\partial v}{\partial y}$

$$V_1 = V_0 + \frac{\partial v}{\partial x}\overbrace{dx}^{h}$$

$$V_2 = V_0 + \frac{\partial v}{\partial y}\overbrace{dy}^{h}$$

این فرمول‌ها وقتی درست است که این فاصله h خیلی کوچک باشد دیگر نباید مشتقات مراتب بالاتر را هم بنویسیم

$$V_3 = V_0 + \frac{\partial v}{\partial x}\overbrace{dx}^{-h}$$

$$V_4 = V_0 + \frac{\partial v}{\partial y}\overbrace{dy}^{-h}$$

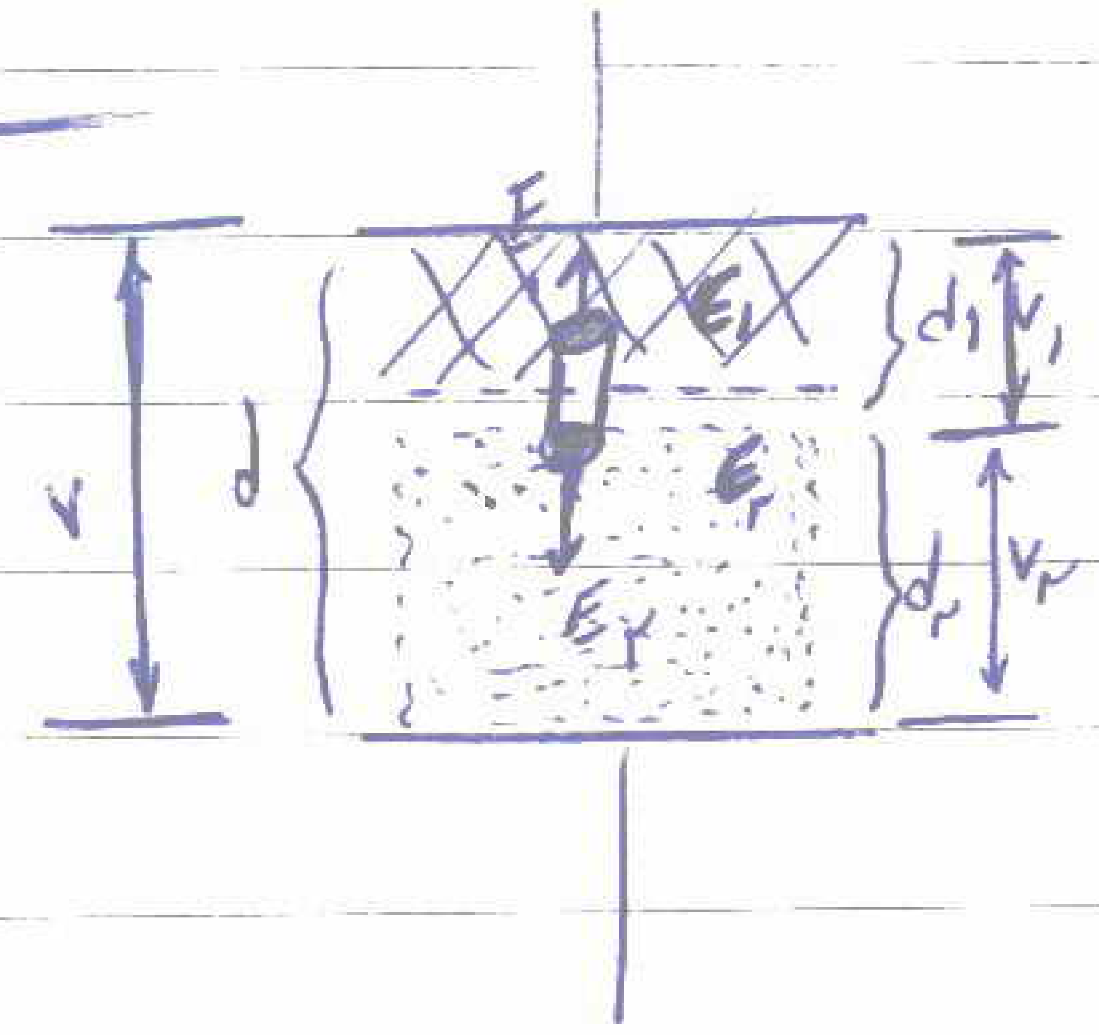
+

$$V_0 = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4}$$

[illegible]

رابطه‌ای که شدت میدان در سطح جدایی عمود است :

میدان الکتریکی در عایق‌های مختلف :


E
E_1
E_2
ϵ_1
ϵ_2
V
d
d_1
d_2
V_1
V_2

عایق ایده آل σ = 0 که هدایت پس عبور جریان صفر است

$$\sigma = 0 \rightarrow \oint D \cdot ds = \sum q = 0$$

در درون عایق ایده آل بار آزاد وجود ندارد.

چون جهت شان مخالف هم است

$$S D_1 - S D_2 = 0$$

$$D_1 = D_2$$

$$\boxed{\frac{\vec{E_1}}{\vec{E_2}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \longleftarrow \epsilon_1 \vec{E}_1 = \epsilon_2 \vec{E}_2$$

ه صفحه با ور بنویش که اگر ۱ دقیقه جلوی چشم ببینید باشد به رنگ عوض شود ، حداکثر ۵ ثانیه در خط ، در طول نگذارید را باور بنویسید

Subject: ۱۵ Date: / /

$$V = V_1 + V_2 = E_1 \cdot d_1 + E_2 \cdot d_2 = E_1 d_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_1 d_2$$

$$E_2 = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_1$$

$$\boxed{E_2 = \frac{V}{d_2 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} d_2}} \quad ①$$

$$\boxed{E_1 = \frac{V}{d_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} d_2}} \quad ②$$

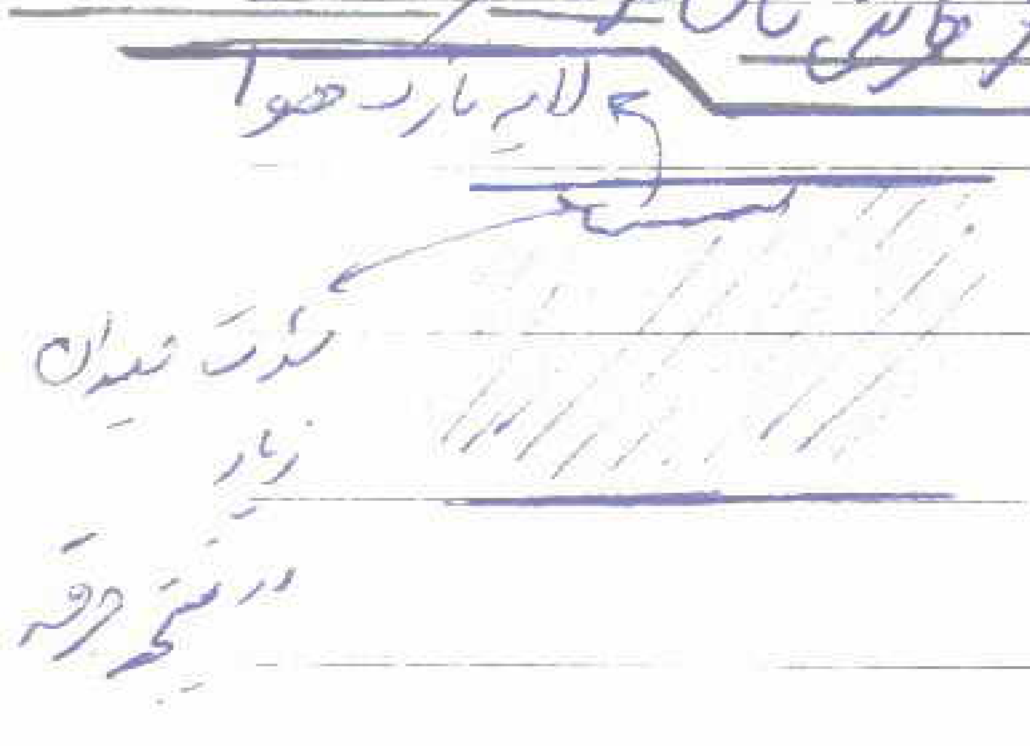
در حالتی که ~~یک~~ فقط عایق باشد : $\boxed{E = \frac{V}{d_1 + d_2}}$

$$\text{if} \quad \epsilon_2 \gg \epsilon_1 \longrightarrow \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \simeq 0 \quad , \quad \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \simeq \infty$$

← ضریب دی الکتریک هیچ ربطی را استقامت عایق ندارد

و عمده ی عایق ها ضریب دی الکتریک نسبی شان بزرگتر از ۱ است و ضریب دی الکتریک شان خیلی بزرگ است

ε هوا و ε عایق خیلی با هم تفاوت دارد پس اگر عایق ها شان یکی باشد شدت میدان در آن بیشتر خواهد شد



با توجه به روابط بالا هم

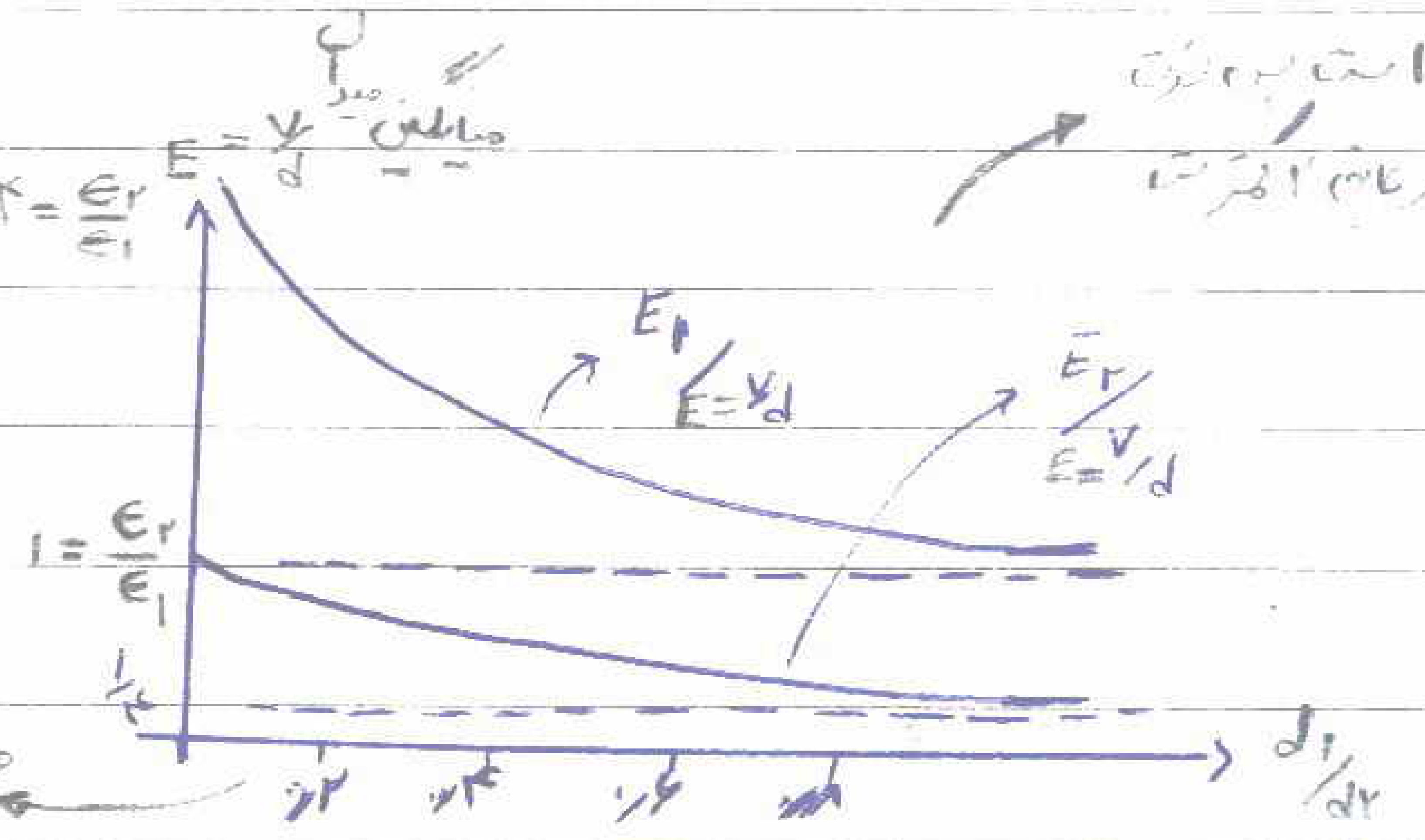
شدت میدان در این لایه نازک هوا خیلی بیشتر از

هوا

شدت میدان هوای کناری که فقط از هوا است

عایق استفاده کرده به همین دلیل در عایق کاری باید دقت کند هوا نگیرد!

کابل شوکا مسی که از کل اش اکسید شده بوده و اکسید مس عایق است در نتیجه در مقابل عبور جریان مقاومت نشان می داد در حرارت زیاد می شده و می سوخته است .



ϵ_1, ϵ_2 است به شرط میدان در تمام الکتریک

هر چقدر $\frac{d_1}{d_2}$ کوچکتر شود شدت میدان ... بیشتر می شود

نکته: هر چقدر d_1 کوچکتر باشد شدت میدان در d_1 بیشتر خواهد بود

$E\uparrow \leftarrow$ [illegible]

Shamime Danesh

$E\downarrow \leftarrow \epsilon\uparrow$

در عایقی که ε بزرگ است شدت میدان کمتر است.

$D_1 = D_2 \rightarrow$

اگر دو عایق را بصورت مخلوط دربیاوریم تا زمانی که در سطح ماکروسکوپی مخلوط شده باشند روابط قبلی را خواهیم داشت

ولی اگر خیلی خوب مخلوط شده باشند که بتوان گفت یک پارچه است می توان گفت : $D = \overset{\text{منتجه}}{\overset{\uparrow}{\epsilon_{res}}} E$

$$\overset{D_1 = D_2}{D = \epsilon_{result} E = \epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2} \quad ②$$

$$\epsilon_{res} \cancel{E} = \frac{1}{\frac{(d_1/d)}{\epsilon_1} + \frac{(d_2/d)}{\epsilon_2}} \overset{\cancel{E}}{\frac{V}{d}}$$

d_1 میزانی که از عایق ۱ داریم

d_2 میزانی که از عایق ۲ داریم

$$\epsilon_{res} = \frac{1}{\frac{V_1}{\epsilon_1} + \frac{V_2}{\epsilon_2}}$$

→ حجم نسبی عایق با ضریب ϵ_1

بنا به استقرا داریم :

$$\boxed{\epsilon_{res} = \frac{1}{\frac{V_1}{\epsilon_1} + \frac{V_2}{\epsilon_2} + \frac{V_3}{\epsilon_3} + \dots + \frac{V_n}{\epsilon_n}}}$$

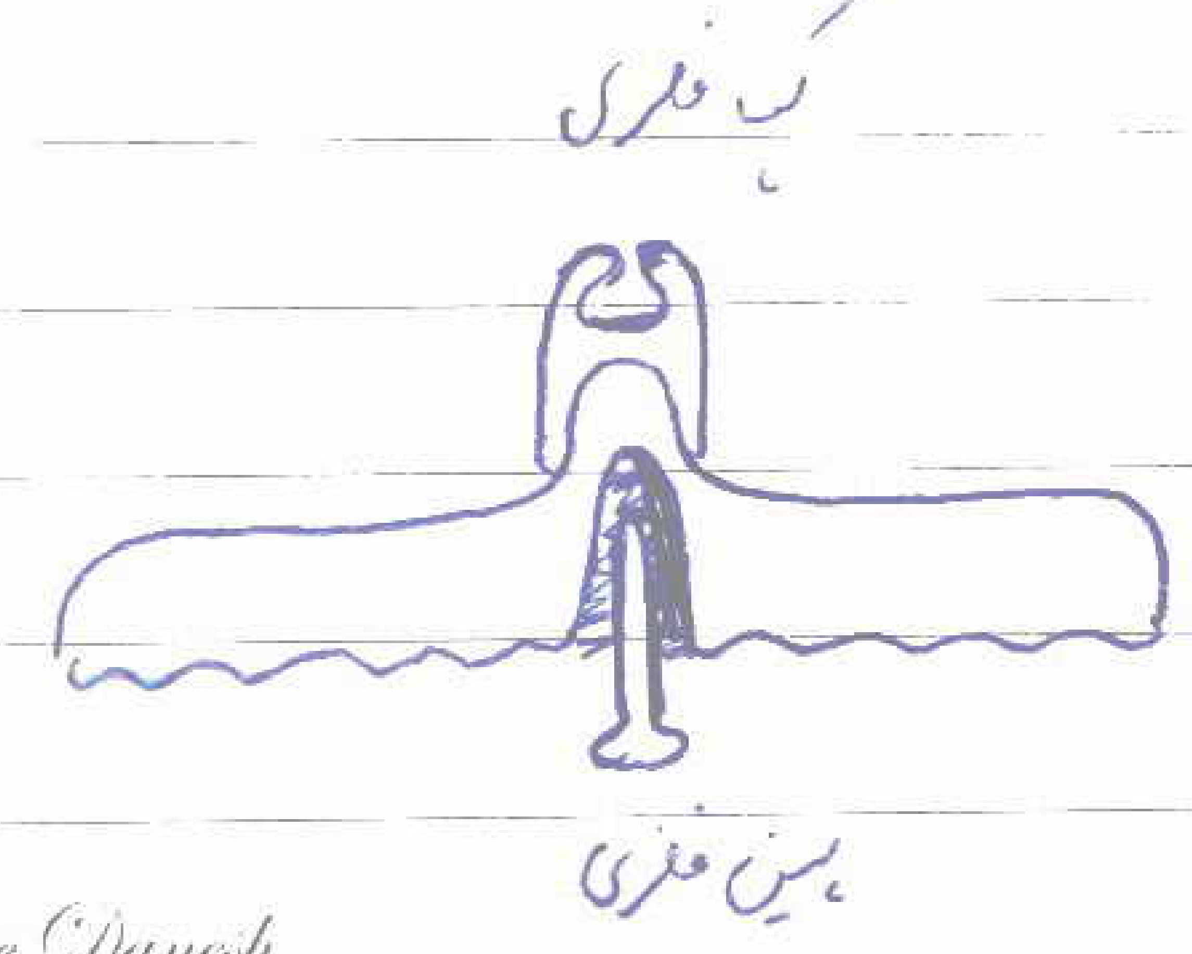
V_1 و V_2 و V_3 و ... و V_n حجم نسبی عایقهای با ضرایب دی الکتریک ϵ_1، ϵ_2، ϵ_3، ...، ϵ_n می باشند.

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = 1$$

$$\boxed{\sum V_i = 1}$$

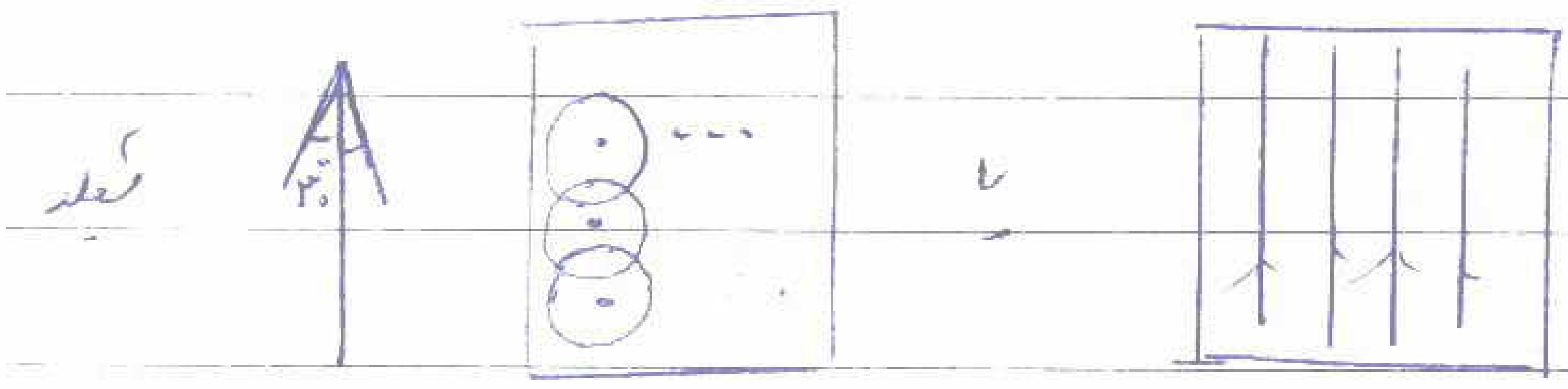
دلیل استفاده از مخلوط عایق : چون عایق ها خواص مختلفی دارند مثلاً بعضی شان استقامت مکانیکی خوبی دارند

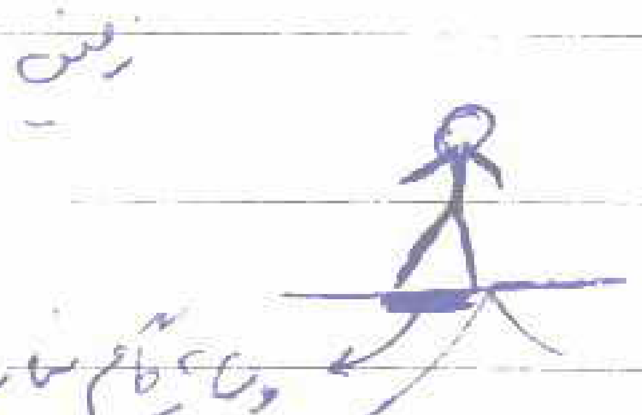
مثلاً بعضی شان استقامت الکتریکی خوبی دارند و ...

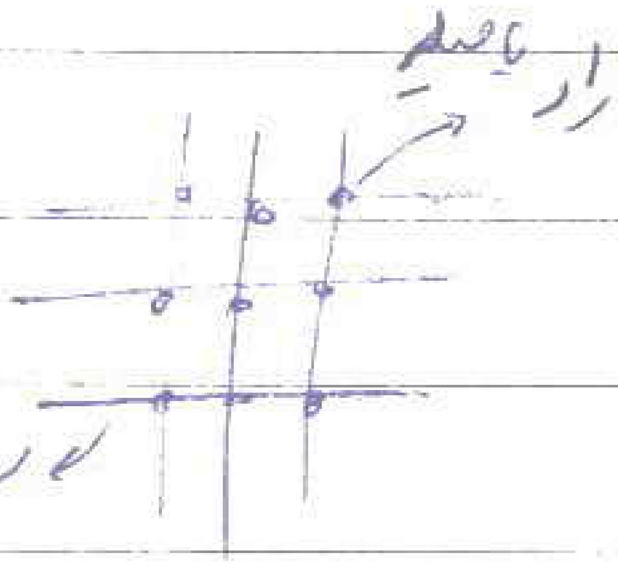


برای قابلیت اطمینان

– هر مقره ۲۰^{KV} ، کرشنگ در پست ۲۳۰^{KV} : ۱۵-۱۶ = $\frac{۲۳۰}{۲۰} + ۵$

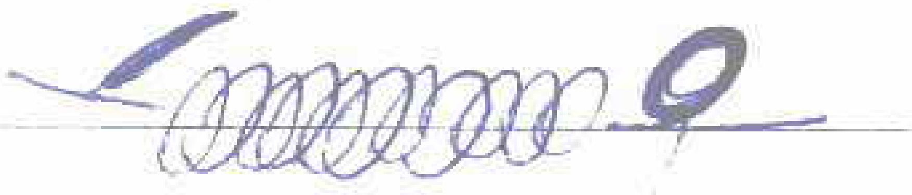






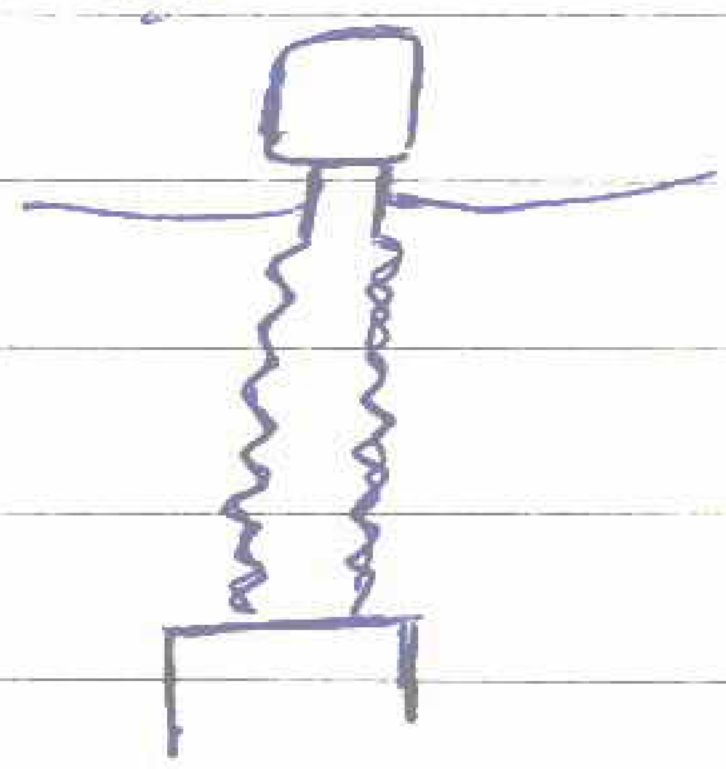
ولتاژ گام نباید از حدی زیادتر باشد که ما با گام بلند هم اصلاً آسیب نبینیم

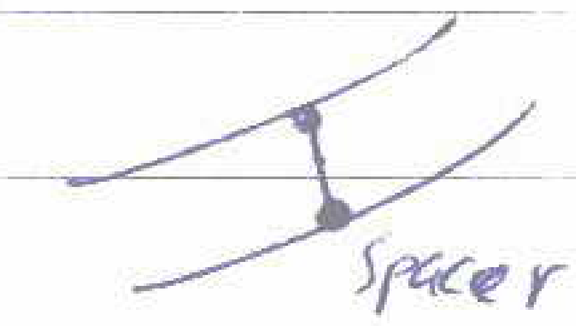
برای این است که اگر هم فاصله‌های کل شکل رینگ این حلقه قرار گیرد.



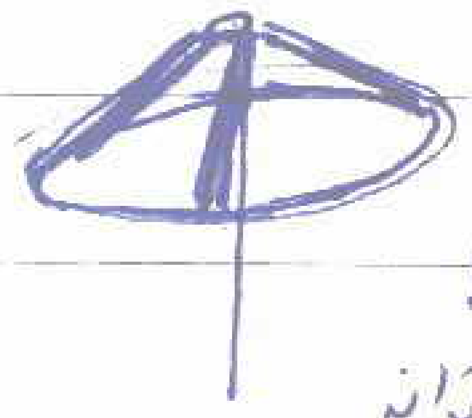
این حلقه برای این است که میدان یکنواخت‌تر باشد و ولتاژ روی مقره‌ها یکسان باشد

CT است چون سری است



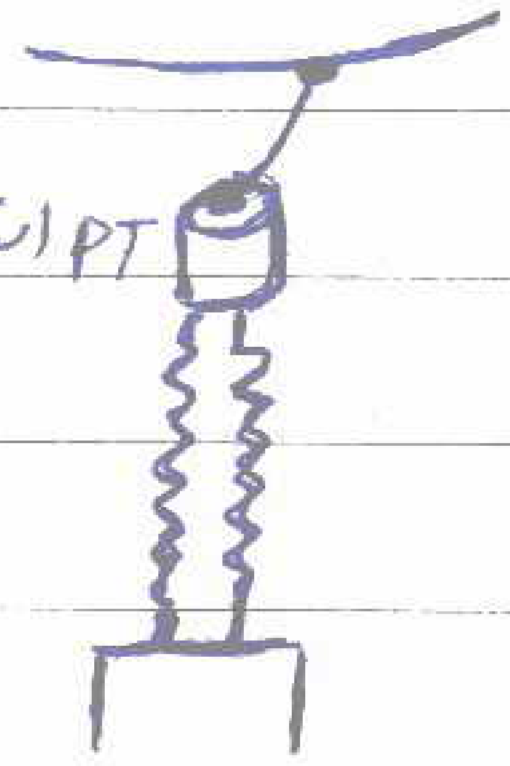


– مقره‌ها چین دار و چتری اند تا اگر باران بیاید یک سطح خیس و یک سطح خشک خواهد بود.

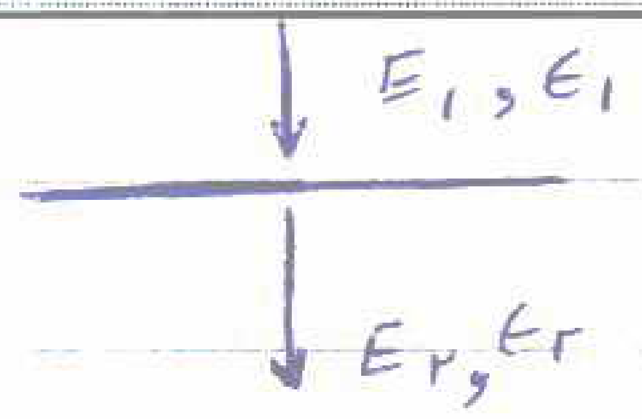


هم برق گیر هم
ترانس ولتاژ می‌تواند
این حالت را داشته باشد برای حذف کرونا ست
خواهد شد

PT است چون موازی است



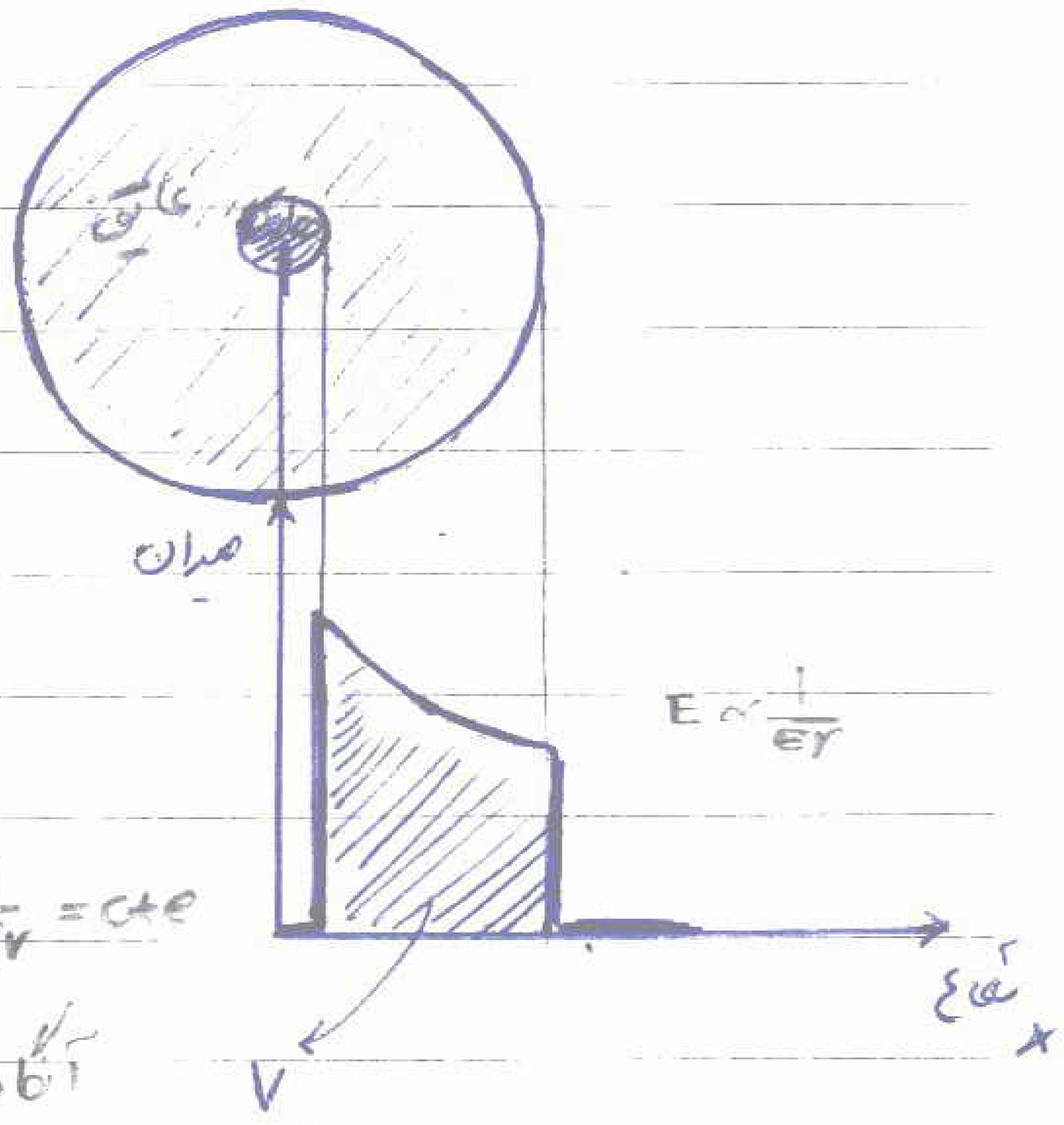
باید در هر چند جایی یک اتصال به زمین داشته باشیم چون اگر اتصال به زمین نداشته باشیم اگر یک فاز اتصال کند ولتاژ دو فاز دیگر $\sqrt{۳}$ برابر
به همین خاطر است که ترانس را زمین می‌کنند.


E_1, ϵ_1
E_2, ϵ_2

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

داخل هادی که رساناست میدان صفر است.

اگر شیلد داشته باشیم در بیرون هم میدان صفر است.

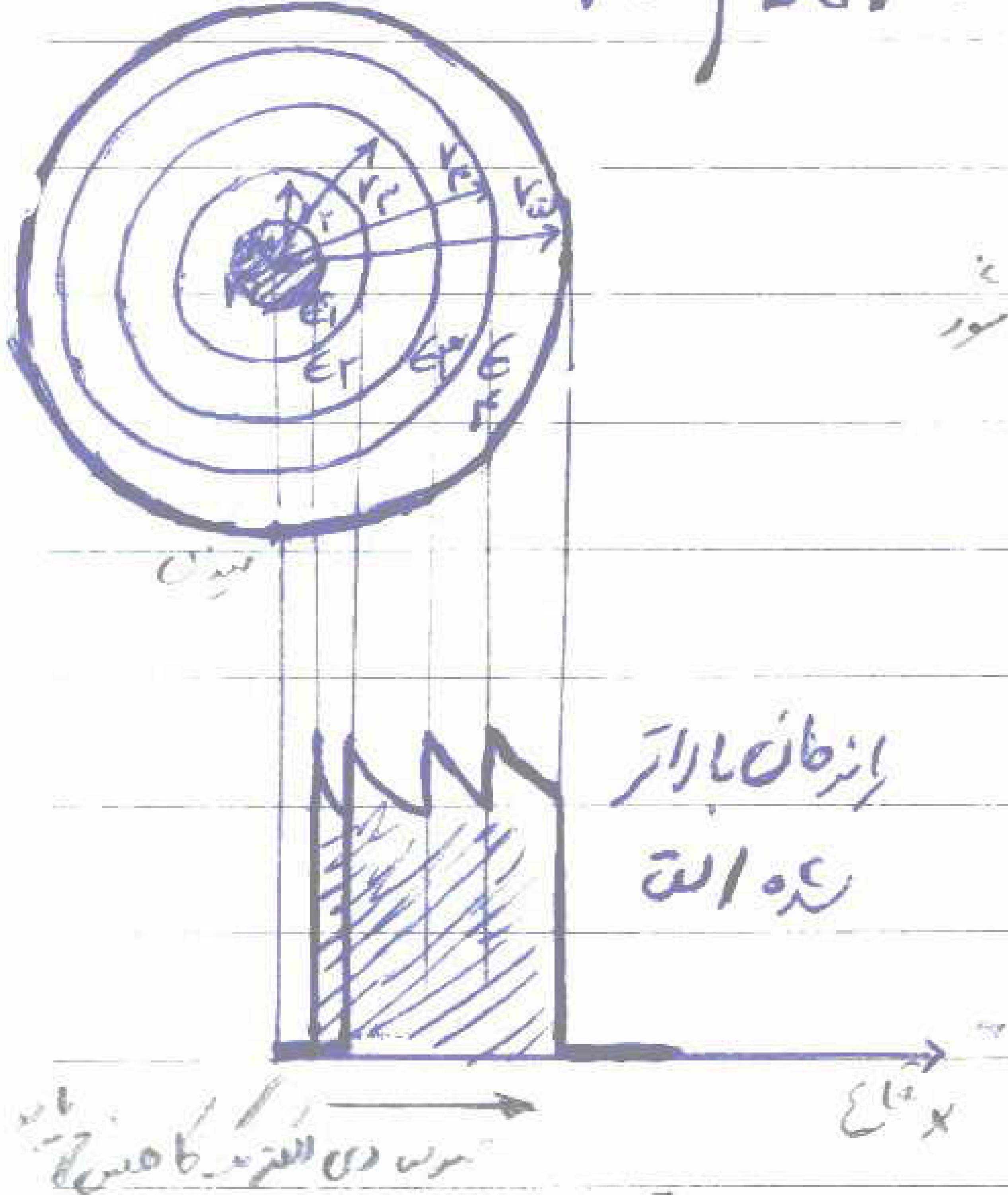

عایق
میدان
$E \propto \frac{1}{\epsilon r}$
شعاع x
V

$V = \int E\,dr$ مساحت زیر نمودار

$$E \begin{cases} \propto \frac{1}{r} \uparrow \\ \propto \frac{1}{\epsilon} \downarrow \end{cases} \Longrightarrow \frac{1}{\epsilon r} = cte$$

آنگاه مقدار ماکزیمم میدان‌ها با هم برابر می‌شود

بهترین حالت این است: $\epsilon_1 r_1 = \epsilon_2 r_2 = \epsilon_3 r_3 = \cdots = \epsilon_n r_n$


r_1
r_2
r_3
r_4
ϵ_1
ϵ_2
ϵ_3
ϵ_4
میدان
انحنای بالاتر
شده الف
شعاع x
ضریب دی الکتریک کاهش می‌یابد

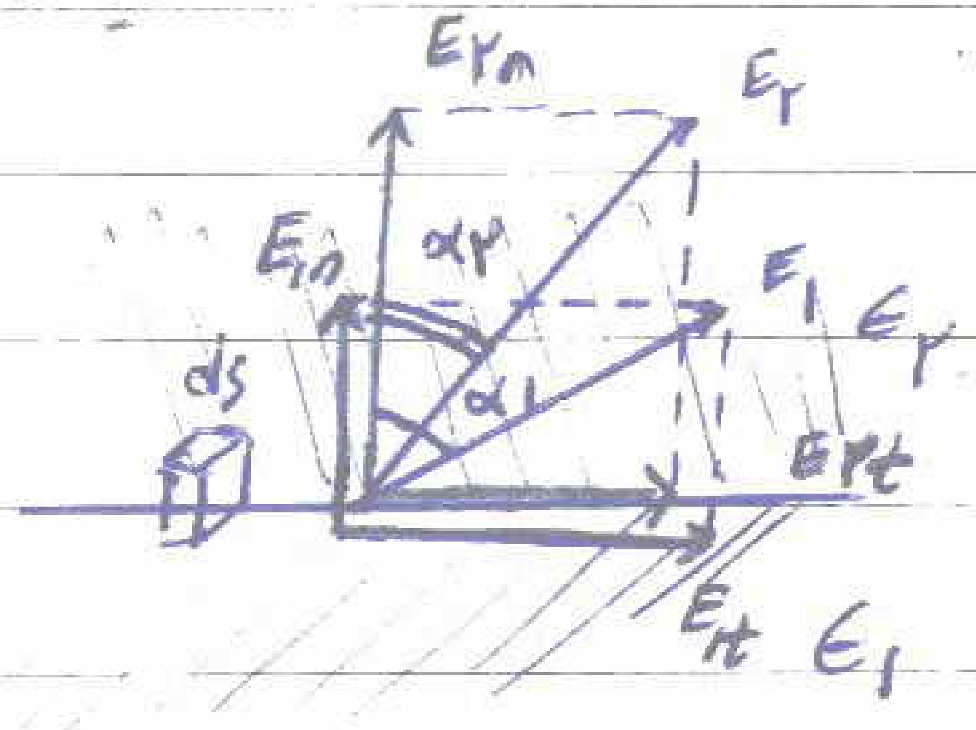
یعنی هر چه به سمت شعاع‌های بالاتر می‌رویم، ϵ را کوچکتر در نظر می‌گیریم

هرچه تعداد لایه‌ها بیشتر شود، نقطه‌های تیز کمتر می‌شود.

$$E(x) = \frac{V}{\epsilon_x x \sum_{n=1}^{n} \left(\frac{1}{\epsilon_n} \ln \frac{r_{n+1}}{r_n} \right)}$$

$\frac{1}{\epsilon r}$

رفتار میدان در سطح جدایی دو محیط:


E_{2n}
E_2
E_{1n}
α_2
α_1
E_1
ϵ_2
ds
E_{2t}
E_{1t}
ϵ_1

افت ولتاژ روی مسیر بسته

$\oint E \cdot dx$

اصلاً به مسیر بستگی ندارد

$$E_{1t}\,dx = E_{2t}\,dx \longrightarrow \boxed{E_{1t} = E_{2t}}$$

مولفه‌های عمودی میدان!

$\oint D \cdot ds = \sum q = 0 \longrightarrow D_{1n}S - D_{2n}S = 0 \longrightarrow D_{1n} = D_{2n}$

چون باری روی سطح نیست

$\rightarrow \epsilon_1 E_{1n} = \epsilon_2 E_{2n}$

$$\left(\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right)$$

یعنی زاویه با سطوح قائم باشند ضریب دی الکتریک را لحاظ دارد ←

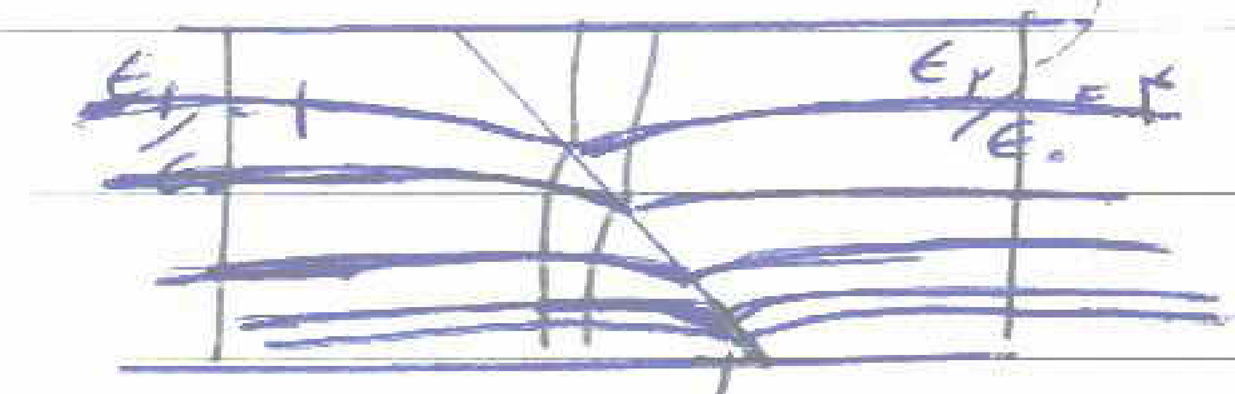
$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}=\frac{E_{2n}}{E_{1n}}=\frac{\frac{E_{1t}}{E_{1n}}}{\frac{E_{2t}}{E_{2n}}}=\frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2}=\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$

شکل هایی که در آنها کار می‌کنیم که خطوط از هم باز تر می‌شود

مثال

این حالت بهتر است چون می‌دانیم که شدت میدان در اطراف هادی داخلی بیشتر است پس در این حالت که سطوح هم‌پتانسیل در اطراف هادی کمتر هستند، شدت میدان هم کمتر است

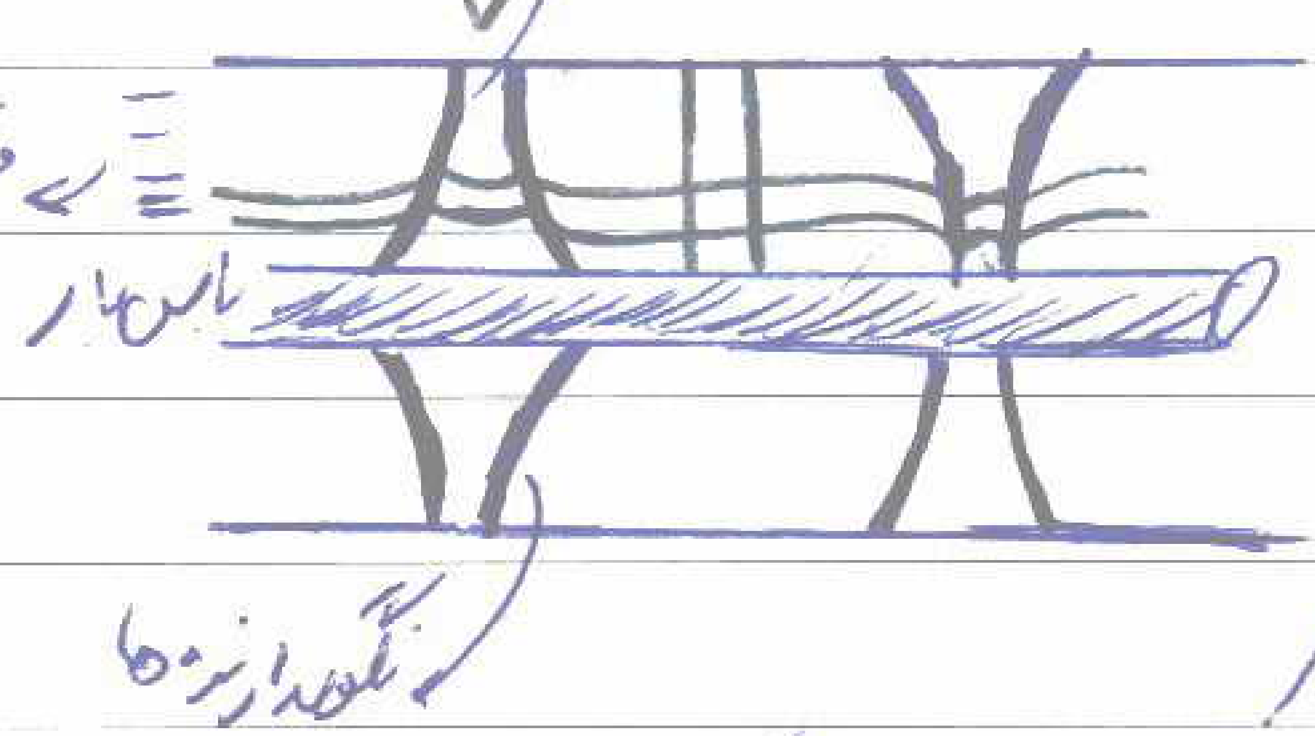
خطوط میدان


ϵ_1
ϵ_2
ϵ_3
ϵ_0
سطوح هم پتانسیل

نگهدارنده‌ها

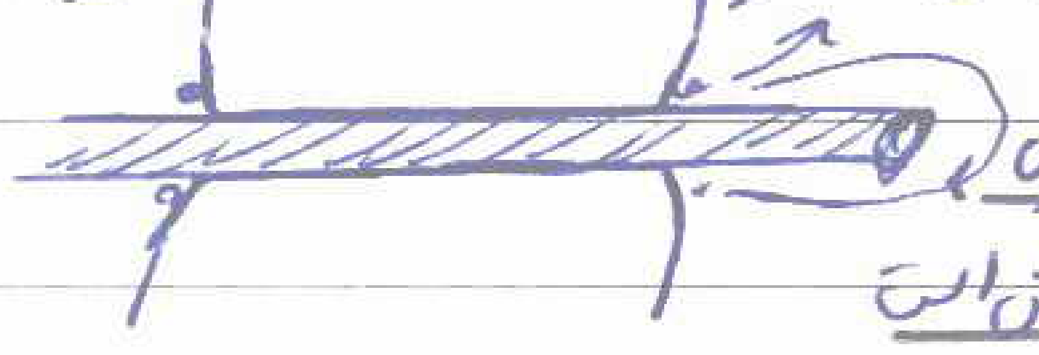
شدت میدان در این نقطه بیشترین مقدار را دارد | ← فشردگی خطوط هم پتانسیل

چون در زاویه حاده سطوح هم پتانسیل و در نتیجه خطوط میدان فشرده‌تر خواهند شد ولی اگر به صورت محوری برش می‌زدیم عایق محل اثرش بیشتر بود


باس بار
نگهدارنده‌ها

پست‌های GIS پست‌هایی هستند که باس بار فشار قوی در درون لوله‌ای از گاز SF6 که بسته است قرار دارد.

شدت میدان در این جا زیاد تر است و هوا در این جاها یونیزه خواهد شد

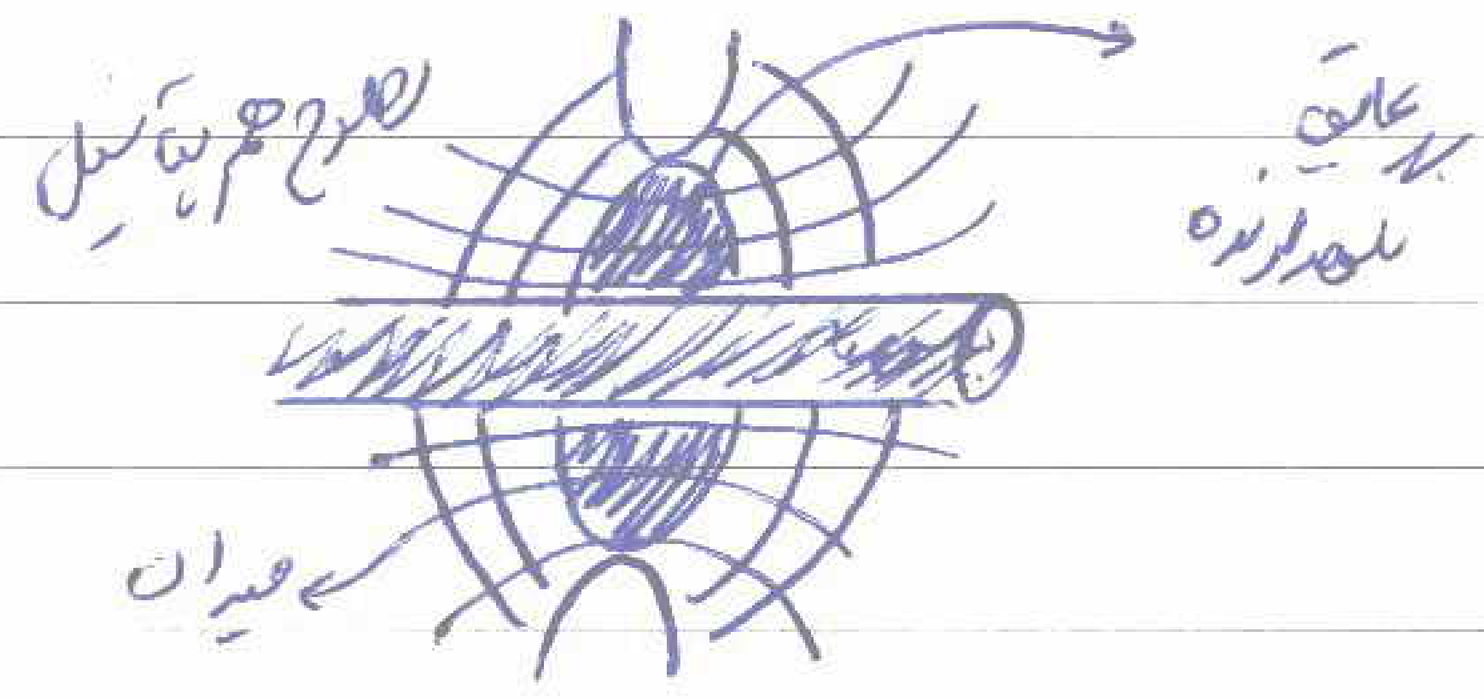


تخلیه ای ممکن است اتفاق بیفتد

برای همین روی الکترود را طولی تر از عایق در نظر می‌گیرند ←

نگهدارنده در شکل بالا

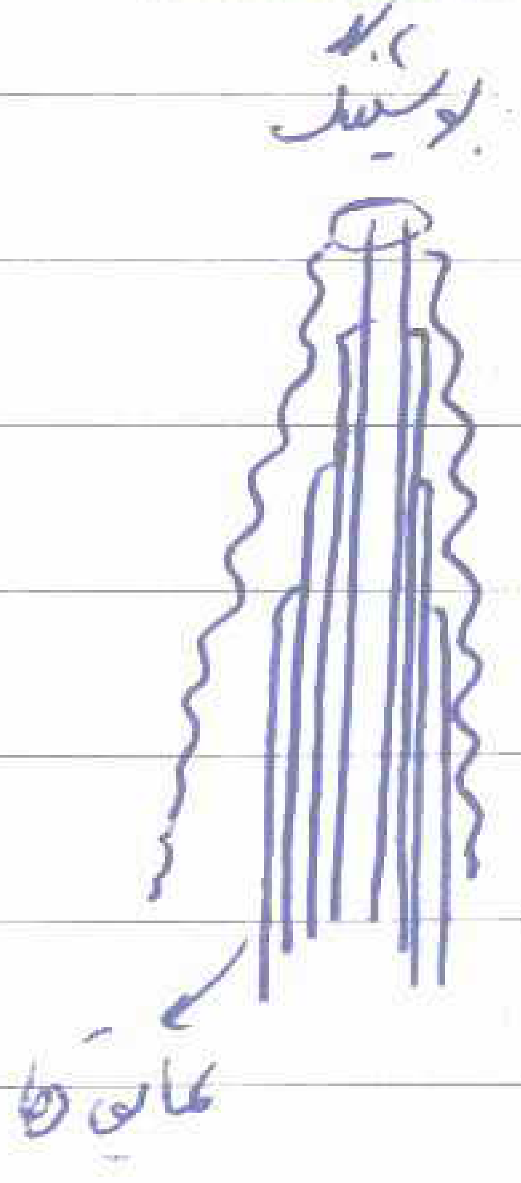
- عایق را طوری برش زده‌ایم که خطوط میدان عمود بر سطح جدایی باشند در این حالت روی شدت میدان و خاصیت عایقی تأثیری نخواهد گذاشت.

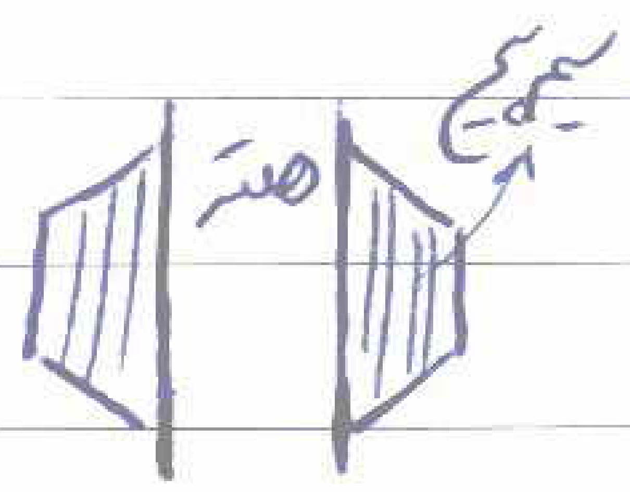

سطوح هم پتانسیل
عایق نگهدارنده
میدان

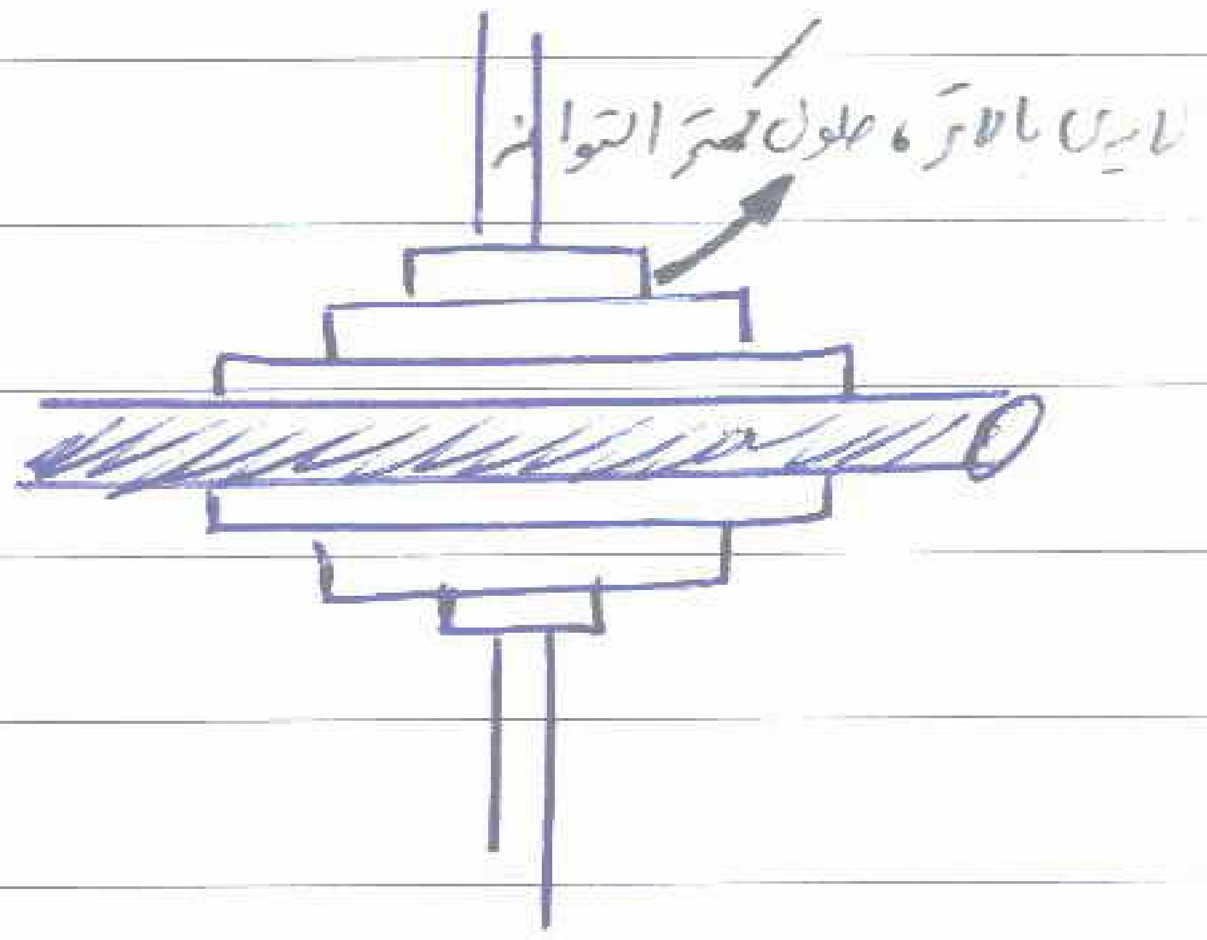
استوانه های تو در تو مثل خازن های اند که با هم سری شده اند $C = \epsilon \frac{A}{d}$ و $A = 2\pi r l$

$r\uparrow \; l\downarrow$

که اگر طول هر آنها برابر باشد ظرفیت لایه های بالایی بیشتر می شود ولی اگر طول هر لایه که بالاتر است را کم تر طراحی کنیم معمولا ظرفیت این خازن ها با هم برابر شود خاصیت عایقی بالاتر خواهد شد که در سیم پیچی ترانس ها و هم چنین بوشینگ ترانس ها از این نکته استفاده شده است و ولتاژ عایقی را مناسب تر کرده اند.



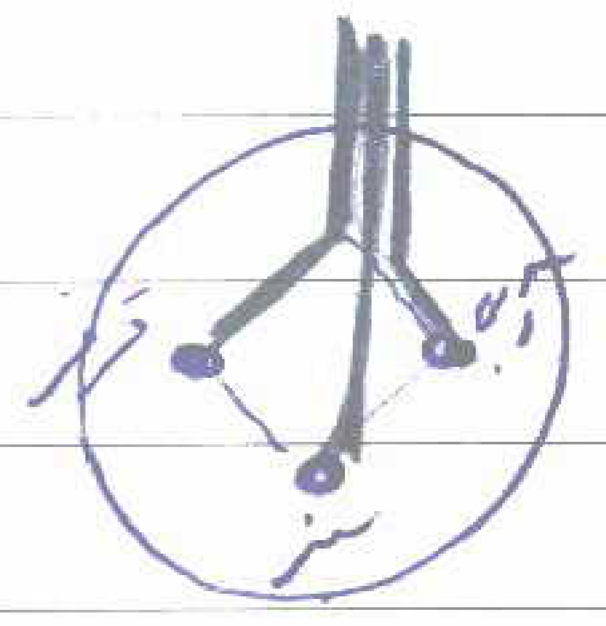


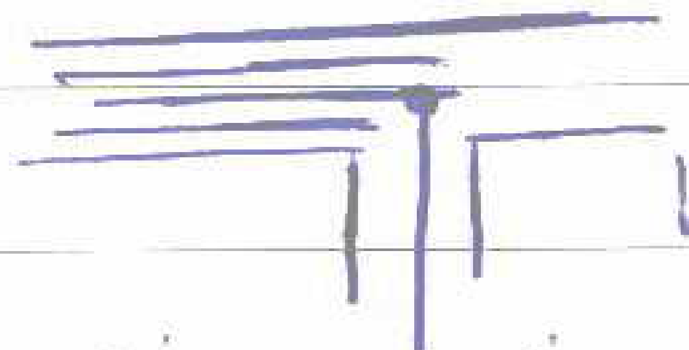


$2\pi r_1 l_1 = 2\pi r_2 l_2 = \cdots$

در پست های GIS:

به جای قرار دادن سه فاز را روی سه رأس مثلث روی سه رأس یک مربع قرار می دهند.

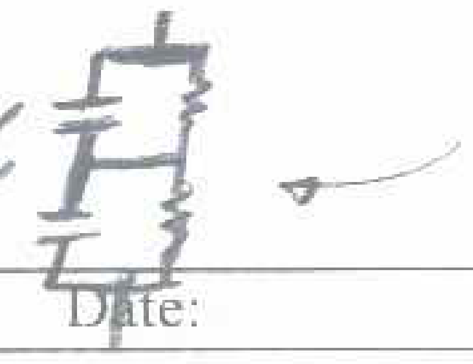




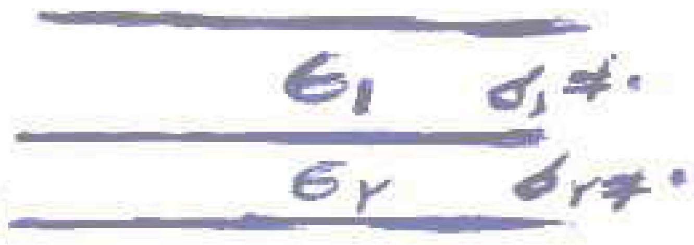
در انشعاب گیری ها

با این کار فاصله ی سه فاز متناسب خواهد بود

ص ۱۷ و ۱۸ جزوه امیر



یک مدار RC است.


ϵ_1 $\sigma_1\neq0$
ϵ_2 $\sigma_2\neq0$

در حالتی که σ۱ و σ۲ صفر نباشد
یعنی اینکه آن نباشد دیگر
$\frac{E_2}{E_1}=\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$ نخواهد بود

عایق های گازی :

تخلیه الکتریکی در گازها :

هوا یک عایق خوبی است.

اگر عایق جامد تخلیه الکتریکی صورت بگیرد دیگر خراب خواهد شد (سوراخ خواهد شد) ولی در عایق های گازی و مایع نه!

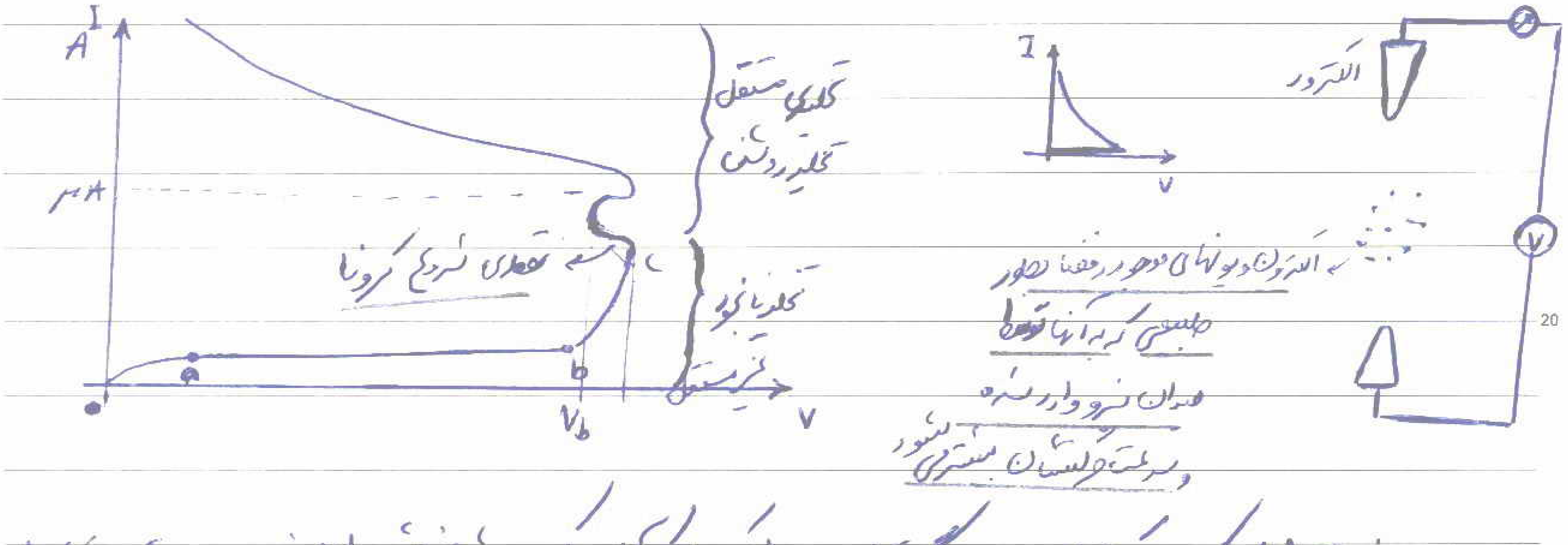
عامل هدایت در فلزات فقط الکترونهای آزاد هستند.

عامل هدایت در مایعات ، اتم ها و یونهایی که یک چند الکترون خود را از دست داده اند همچنین الکترونها

عامل هدایت در گازها ، الکترون ها و یونهای آزاد شده

عایق خوب : ۱- هدایت الکتریکی اش کم باشد ۲- استقامت الکتریکی اش هم زیاد باشد (همراه از مورد ۱)

خلاء هدایت الکتریکی کم هست اما استقامت الکتریکی اش بعد از حدی کم می شود و به همین دلیل هوا از خلاء عایق بهتری است.


I
A
V
V_b
a
b
c
o
تخلیه مستقل
تخلیه درخشان
تخلیه تاریک
غیر مستقل
نقطه شروع کرونا
I
V
الکترود
V
الکترون و یونهای موجود در فضا بطور طبیعی که به آنها توجه
میدان نیرو وارد شده
و سرعت و انرژیشان بیشتر میشود

* هوا این خاصیت را دارد که از یک حدی به بعد دیگر تعداد یون و الکترونی که آزاد می کند بیشتر نمی شود و از اینجا به بعد هر چقدر ولتاژ را بالا ببریم دیگر تعداد یون و الکترونهایی که آزادی شود ثابت خواهد بود و سرعت فعلاً شان افزایش می یابد و به همین دلیل جریان ثابت می شود.

از a تا b : افزایش ولتاژ ← افزایش میدان ← افزایش نیرو ← افزایش سرعت الکترونها و یونهایی که بطور طبیعی در فضا وجود دارند ← یونها و الکترونها زمان کمتری برای ترکیب مجدد و خنثی شدن دارند ← افزایش جریان تا b که همه الکترونها و یونها می رسند

در رطوبت باید به این توجه داشت
که قطرات زیر آب مسیر تولی کوتاه‌تر
عایق نخواهد بود

Subject:
Year: - Month: Date: ( )

← ولتاژ شکست به حجم عایقی که تحت ولتاژ قرار دارد بستگی دارد

در شرایط عادی در فضا آزاد می‌شوند به آند و کاتد می‌رسند.

از a تا b: افزایش ولتاژ تاثیری را افزایش جریان ندارد. کلیه الکترون‌ها و یون‌های آزاد که به الکترودها می‌رسند و ★

از c تا b: افزایش ولتاژ ← افزایش میدان ← افزایش نیرو ← افزایش سرعت تا حدی که بعضی از این یون‌ها انرژی شان در برخورد با ذرات دیگر منجر به تولید یون‌ها و الکترون‌های جدید می‌شود ← ایجاد شدن ذرات باردار جدید ← افزایش جریان

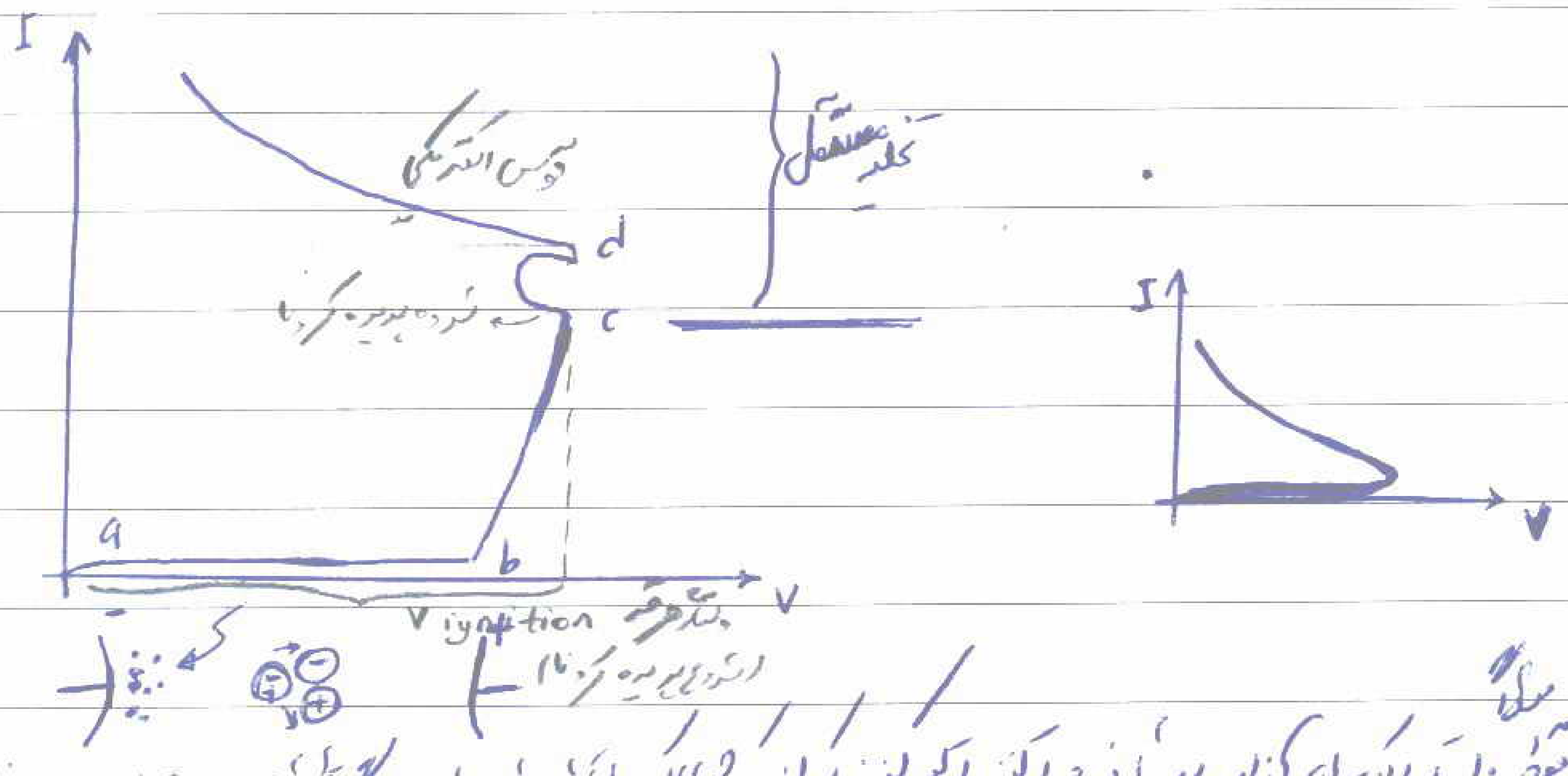
از ۰ تا c را تخلیه ناخود یا غیر مستقل یا Non-self sustained Breakdown

از نقطه c به بعد یعنی بعد ولتاژ کاهش (که باید) مقدار V را کرونا

تخلیه مستقل: یعنی اگر الکترون آزادی هم در هوا نداشته باشد تخلیه صورت می‌گیرد.
یا تخلیه روشن

این نوع تخلیه از جایی شروع می‌شود که سرعت الکترون‌ها به حدی می‌رسد که در برخورد با ذرات دیگر هر کدام به طور متوسط یک الکترون آزاد می‌کنند

شکل تخلیه



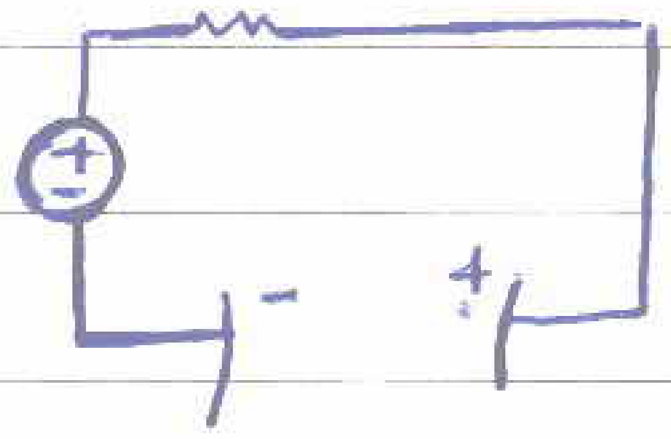
★ عوامل مسیر یعنی فقط ۱۰ تا الکترون آزاد در ثانیه می‌توانند تولید کنند که از بین رفتن مثلاً که ولتاژ بیشتر شود دیگر تاثیری در مقدار جریان ندارد
چون تمام هر ۱۰ الکترون راهی می‌رسانند به الکترودها

PARSCO

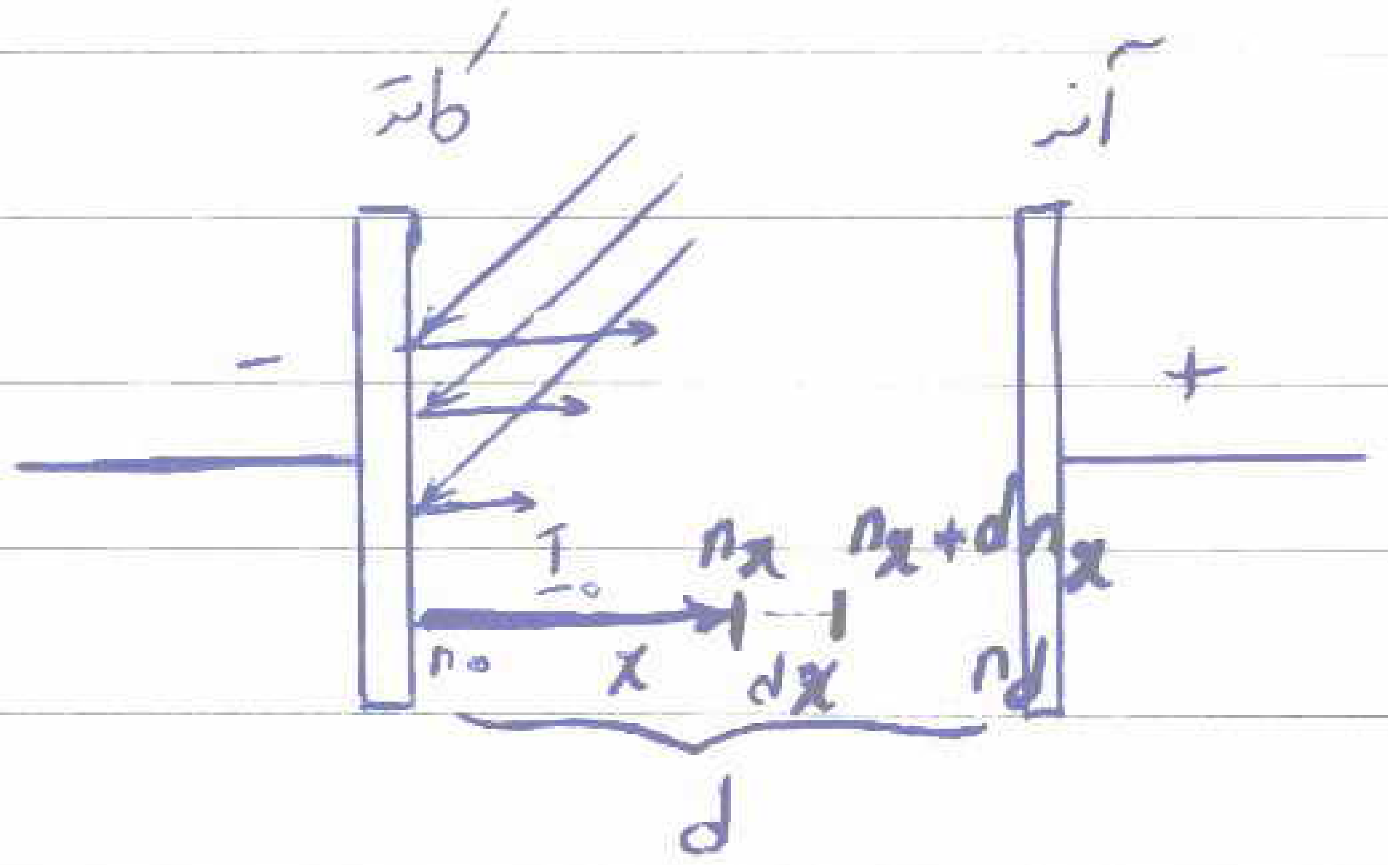
- ولتاژهایی از کابل‌های فشار قوی که آچار زدن در آنجا ایجاد کرده‌اند کرونا بیشتر خواهد بود و سر و صدا خواهند داشت که در شب‌ها می‌زنند

یک الکترون در مسیر حرکت اش آنقدر یون تولید بکند که

اگر منبع یک مقاومت اهمی خیلی بزرگ داشته باشد به محض اینکه بخواهد جرقه بزند جریان زیاد می‌شود و افت ولتاژ روی آن می‌افتد و ولتاژ دو الکترود کم می‌شود و جرقه خاموش می‌شود.



پس برای اینکه بخواهیم تونل الکتریکی داشته باشیم باید مقاومت اهمی منبع کم باشد.



α = تعداد برخوردهای یونیزه کننده به ازای حرکت یک الکترون در طول یک سانتی‌متر مسیر

اگر یک الکترون یک سانتی‌متر حرکت کند می‌شود: α
2α: دو " " "
اگر دو الکترون یک سانتی‌متر حرکت کند می‌شود: 2α

α = ثابت یونیزاسیون تاونزند.

$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$: ثابت یونیزاسیون ثانویه تاونزند.

α به E و P بستگی دارد.

S = فاصله متوسط آزاد
میانگین فاصله‌ای که یک الکترون بدون برخورد طی می‌کند

هرچه E↑ افزایش یابد ← سرعت حرکت الکترون زیاد می‌شود
بالطبع انرژی الکترون هنگام برخورد اضافه می‌شود
تعداد برخوردهای یونیزه کننده بیشتر می‌شود (α↑)
S هم زیاد می‌شود ↑
زمان حضور الکترون فاصله بدون برخورد کم خواهد بود و فاصله بدون برخورد بیشتر خواهد بود

P فشار زیاد یعنی تراکم ذرات زیاد باشد. پس هرچه P↑ بیشتر باشد ← تراکم ذرات بیشتر است ← فاصله متوسط آزاد کم باشد و انرژی (S↓) الکترون‌ها کم خواهد بود
↓ احتمال برخورد بیشتر است
احتمال برخورد با ذرات رابطه مستقیم دارد

$$\boxed{\alpha = P f\left(\frac{E}{P}\right)}$$

تأثیر یونیزه کنندگی E و P عکس هم است.

$$\alpha = P \times f\left(\frac{E}{P}\right)$$

$$\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right)$$

n_x : تعداد الکترون آزاد در فاصله‌ی x از کاتد

n_0 : 〃 〃 〃 0 〃 〃

تعداد برخوردهای یونیزه کننده برای حرکت یک الکترون در طول یک سانتی متر

$$\boxed{dn_x = n_x \cdot \alpha \cdot dx} \longrightarrow \int_{n_0}^{n_x} \frac{dn_x}{n_x} = \int_0^x \alpha\, dx \longrightarrow \ln\frac{n_x}{n_0} = \alpha x$$

$$\boxed{n_x = n_0 e^{\alpha x}} \longleftarrow \frac{n_x}{n_0} = e^{\alpha x} \longleftarrow e^{\ln\frac{n_x}{n_0}} = e^{\alpha x}$$

$$x = d \downarrow \quad n_d = n_0 e^{\alpha d}$$

تعداد الکترون‌هایی که با طی مسیر d آزاد می‌شوند

تعداد نسبی الکترون‌هایی که آزاد شده اند

$$\boxed{\frac{n_d - n_0}{n_0} = \frac{n_0 e^{\alpha d} - n_0}{n_0} = e^{\alpha d} - 1}$$

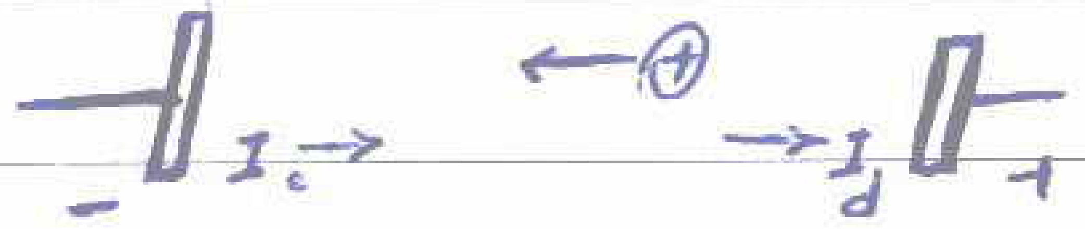
یا تعداد الکترون‌های آزاد نسبی

ناقض با قوانین مداری

$$n_d = n_0 e^{\alpha d} \longrightarrow \boxed{I_d = I_0 e^{\alpha d}}$$

جریان ناشی از الکترون‌ها در x=0 هست I_0

$I_d > I_0$ در x=d هست I_d که I_d از I_0 بزرگتر است که این برای این طریق ممکن است که یون‌های مثبتی که تولید می‌شود به سمت کاتد می‌روند



که جمع جبری این جریان‌ها صفر خواهد بود.

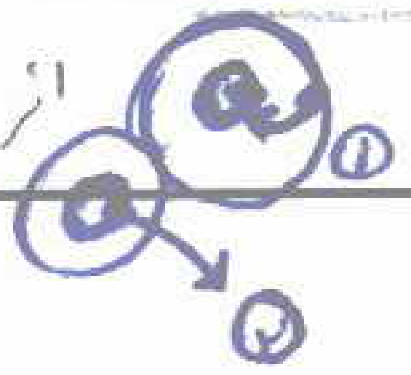
پروسه ثانویه: Secondary Process

γ_1 (i) یون‌های مثبت ممکن است انرژی کافی برای آزاد کردن الکترون داشته باشند یون‌های آزاد شده در سر حرکت هم ممکن است برخورد آزاد کننده داشته باشند

γ_2 (ii) اتم‌های تحریک شده در اثر فوتو یونیزاسیون ممکن است الکترون آزاد کنند

γ_3 (iii) ذرات ناپایدار ممکن است انرژی آزاد کننده‌ی الکترون آزاد شود. الکترون‌های آزاد شده‌ی ثانوی

Pening از



$$f(E,P) \longleftarrow \gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$

تعداد الکترون های آزاد شده در اثر پدیده‌ی ثانوی که در اثر برخورد یون‌ها با کاتد رخ ... یا الکترون های آزاد ثانوی

نظر می‌گیریم

تعداد کل الکترون های صادر در کاتد: n''

$$n'' = n_0 + n_0'$$

تعداد کل الکترون هایی که به آند می‌رسند.

$$\boxed{n = n'' e^{\alpha d} = (n_0+n_0')e^{\alpha d}} \quad ①$$

$$\overset{\text{در محل آند}}{n} - \overset{\text{در محل کاتد}}{n''} = n - \underbrace{(n_0+n_0')}_{}$$

تعداد e آزاد شده در حرکت اولیه به سمت آند

برای هر الکترون که آزاد شده γ (ضریب ثانوی گاما) برابر الکترون آزاد می‌شود پس: (در مرحله اولیه)

n_0' در دو طرف

$$\boxed{n_0' = \gamma[n-(n_0+n_0')]} \quad ②$$

(در این حالت هر الکترون که آزاد شده است چند یون مثبت ایجاد می‌کند که در جهت مخالف حرکت می‌کند)

از حذف n_0' بین ① و ②

رابطه‌ی تانزند:

$$\boxed{n = \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1-\gamma[e^{\alpha d}-1]}}$$

۲۷-۱۳ کتاب کمیسی

$$\boxed{I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1-\gamma(e^{\alpha d}-1)}}$$

$$1-\gamma[e^{\alpha d}-1]=0$$

$$1-\gamma(e^{\alpha d}-1) \leq 0$$

شرط تخلیه تانزند: $1 \leq \gamma(e^{\alpha d}-1)$

یعنی اگر در اثر پدیده ثانوی حداقل یک الکترون آزاد شود آنگاه بدون عوامل دیگر از قبیل نور، جریان اولیه و ... جریان برقرار می‌ماند.

$$\overset{\text{کاتد}}{\text{۱ الکترون}} \longrightarrow \overset{\text{آند}}{e^{\alpha d}}$$

الکترون می‌شود

پس الکترون های آزاد شده $e^{\alpha d}-1$ تا می‌شود

که هر الکترون آزاد شده γ تا الکترون ثانوی آزاد می‌کند

$$\gamma(e^{\alpha d}-1)$$

در بالای صفحه:

حال این الکترون ها در مسیر حرکتشان تا آند با الکترون های ثانوی یکی می‌شوند

که حالا این تعداد الکترون را معادل کردیم با الکترون‌ها که به خاطر عامل های خارجی ایجاد می‌شد

در کنار کاتد به خاطر عامل های خارجی الکترون آزاد می‌شد که این الکترون ها ممکن کاملاً به آند برسند.

قانون پاشن :

فشار × فاصله دو الکترود

ولتاژ شروع تخلیه تابعی از pd است.

شرط تخلیه پایدار: تعداد الکترون هایی که در اثر حوزه ثانویه ایجاد می شوند باید حداقل یک الکترون باشد

$$\gamma[e^{\alpha d}-1] \geq 1$$

min

$$\boxed{\gamma[e^{\alpha d}-1]=1} \text{①}$$

$$\frac{\alpha}{P}=f_1\left(\frac{E}{P}\right) \longrightarrow \boxed{\alpha = P f_1\left(\frac{E}{P}\right)} \text{②}$$

نکته

چرا در رابطه γ ، P نداریم؟

$$\boxed{\gamma = f_2\left(\frac{E}{P}\right)} \text{③}$$

چون γ خودش از α مشخص می شود و حضور P در α لحاظ شده است

$$E=\frac{V}{d}$$

$$\text{③,②,①} \longrightarrow f_2\left(\frac{E}{P}\right)\left[e^{Pd\, f_1\left(\frac{E}{P}\right)}-1\right]=1$$

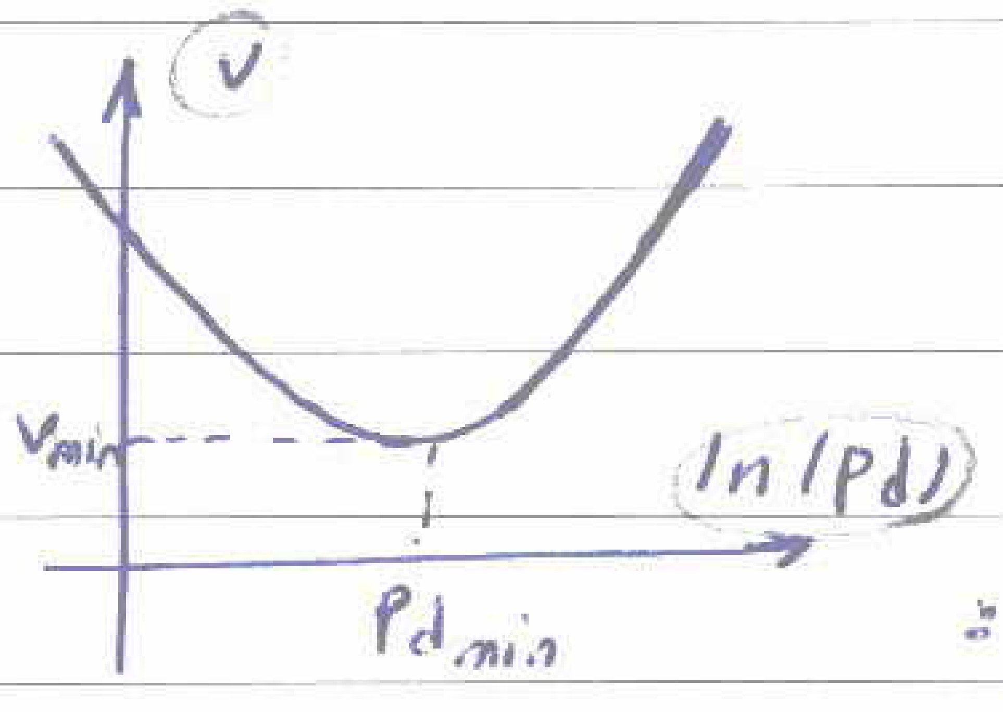
$$\underbrace{f_2\left(\frac{V}{Pd}\right)\left[e^{Pd\, f_1\left(\frac{V}{Pd}\right)}-1\right]=1}_{\text{رابطه بین V و pd}}$$

V ولتاژ شکست (ولتاژ شروع تخلیه)

d فاصله بین دو الکترود

P فشار

$$V=f(pd)$$



تعبیر فیزیکی برای شرایط Pd < Pdmin :

یا P کوچک است ← فشار کم شده است ← غلظت مولکول ها کم می شود ← احتمال برخورد کم می شود

یا d کوچک است ← فاصله کم شده است ← مسیری که الکترون ها می پیمایند کوتاه می شود ← احتمال برخورد کم می شود

پس ولتاژ شکست افزایش می یابد

تعبیر فیزیکی Pd > Pdmin :

یا P بزرگ است ← فشار زیاد شده است ← آنقدر فاصله مسیرهای آزاد کم می شود که الکترون ها برخوردهایشان انرژی کافی را برای یونیزاسیون ندارند یعنی قبل از این که سرعت بگیرند برخورد می کنند

یا d بزرگ است ← فاصله زیاد شده است ← احتمال هدر رفت الکترون در حین حالت های زیادی می شود

Subject: ۲۱

Year: Month: Date: ( )

در $\begin{cases} P = 760\,mmHg \\ T = 293^{\circ}K \end{cases}$

$$V = 24.22\,d + 6.08\sqrt{d} \longrightarrow E = \frac{V}{d} = 24.22 + \frac{6.08}{\sqrt{d}}$$

راه‌حلی که برای هوا بدست آورده‌اند بصورت تجربی :

فشار برحسب mm Hg

cm

ولتاژ شکست هوا برای فاصله‌ی d

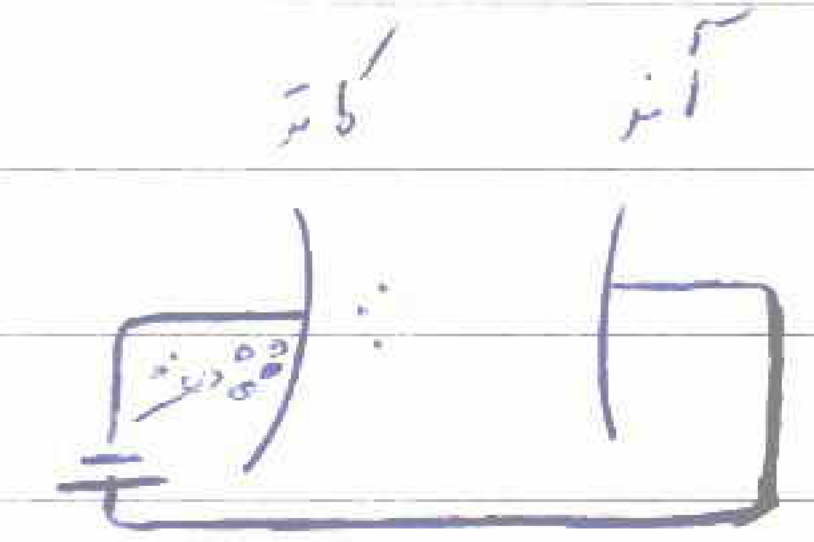
$$\boxed{V = 24.22\left[\frac{293\,Pd}{760\,T}\right] + 6.08\left[\frac{293\,Pd}{760\,T}\right]^{\frac{1}{2}}}$$

kV

درجه حرارت بر کلوین

ولتاژ شکست هوا برای یک سانتی متر ۳۰ kV است.

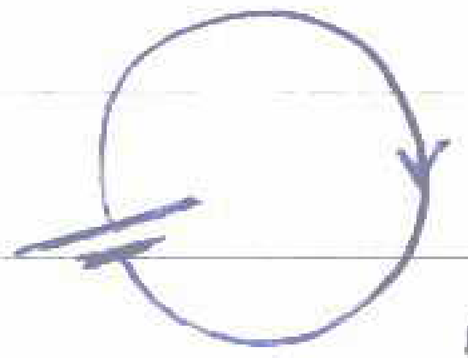
۳۰ kV/cm



اگر کاتد گرم شود باعث می‌شود الکترون راحت‌تر از سطحش جدا شود.

-۲۷۳ °C

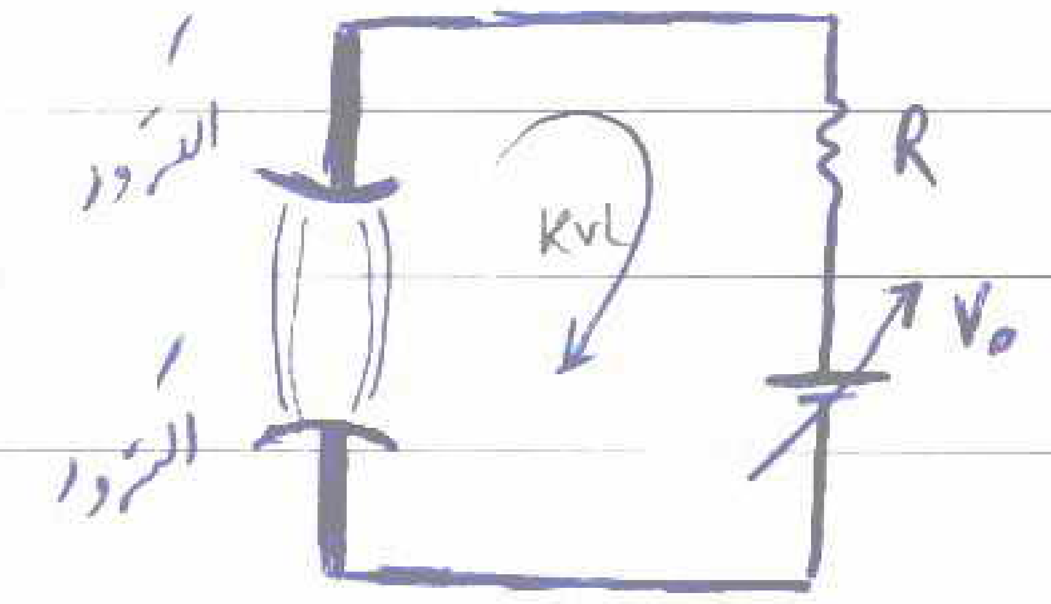
الکترون‌ها از سطح کاتد آزاد می‌شوند البته اگر درجه حرارت کاتد از صفر مطلق بیشتر باشد که در اثر این الکترون‌های آزاد روی کاتد حفره‌ای ایجاد می‌شود که در اثر جاذبه‌ی آند الکترون‌ها به سمت آند می‌روند و دوباره ممکن است به حفره‌های کاتد باز گردند.

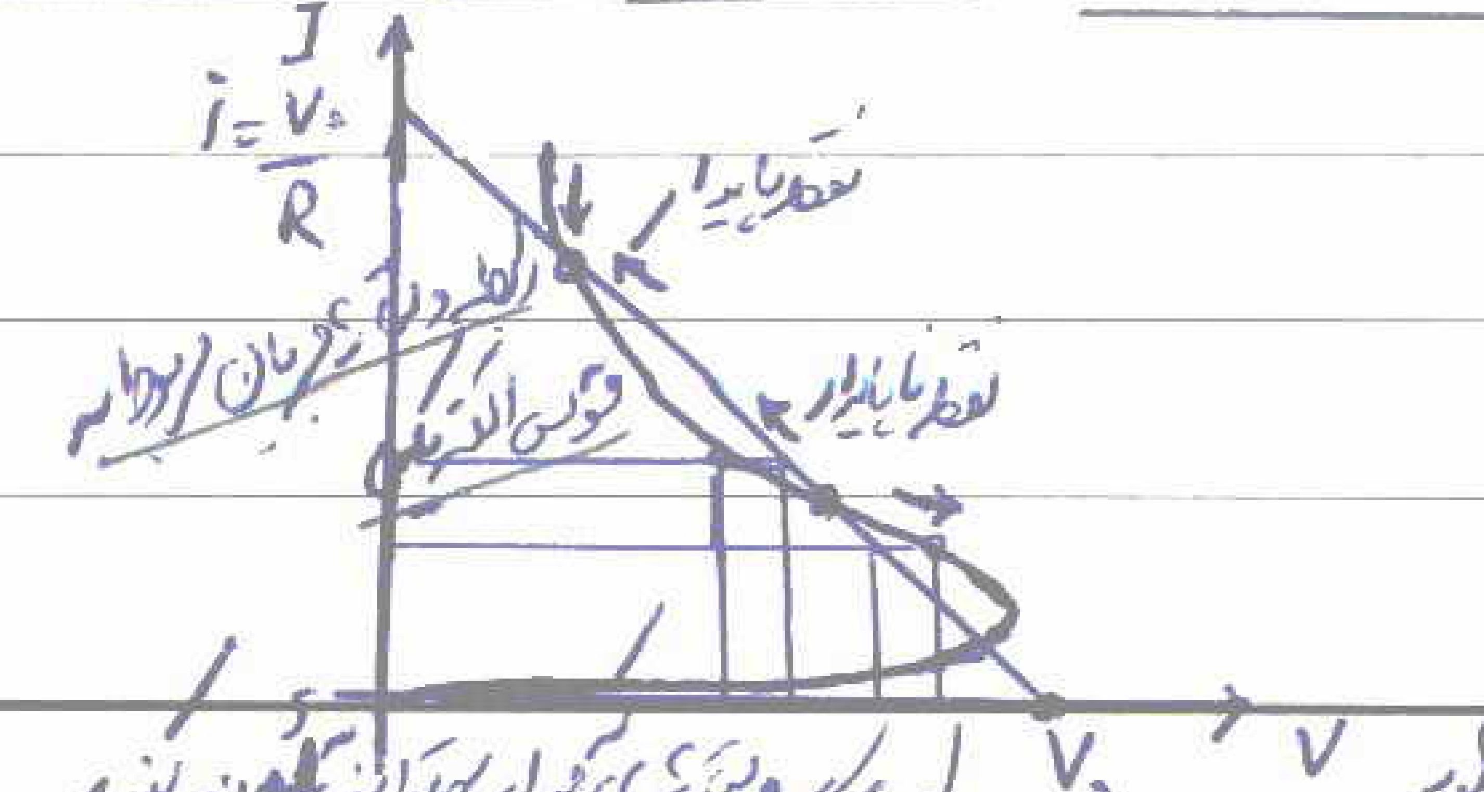


جریان جاری شده در اطراف میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند که این میدان نیرویی به سمت خارج وارد می‌کند و در هر حال جرقه‌ها میل به گسترده و باز شدن را دارند.

جرقه‌های [illegible]
نوک کنتاکت‌ها
طول قوس زیاد می‌شود

جاهایی که بخواهند استقامت الکتریکی را افزایش دهند فشار را افزایش می‌دهند که کاهش حجم تجهیزات پست‌های GIS.





V = f(i)

$i = \frac{V_0}{R} - \frac{V}{R}$ ← $V = V_0 - Ri$: KVL

تا یک ولتاژی که قرار می‌تواند تأمین کند

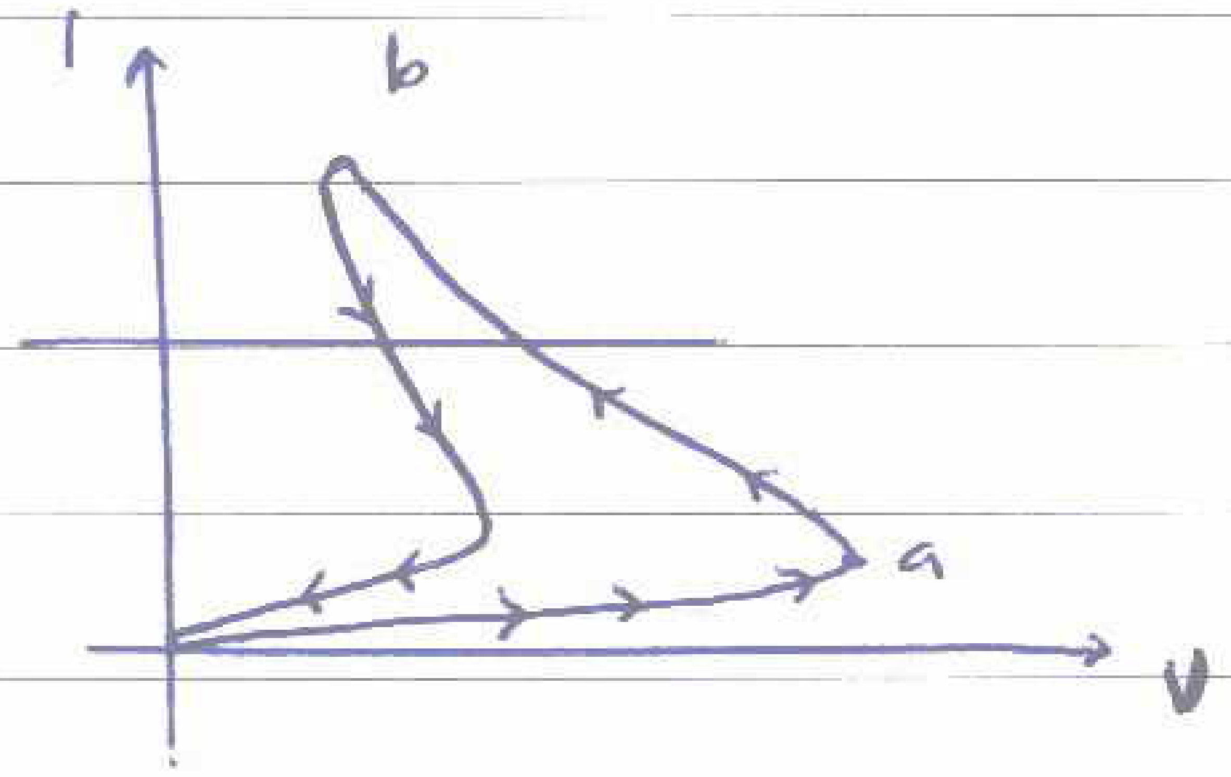
ولتاژی که برای این جریان، قوس نیاز دارد

⟹ منحنی قوس خاموش می‌شود

کم ←

مشخصه ی دینامیکی قوس :

اگر آرام ولتاژ را کاهش دهیم روی همان مسیر رفتار برگردیم ولی اگر سریع و نامنظم ولتاژ را کاهش دهیم روی مسیری دیگر برمی گردیم



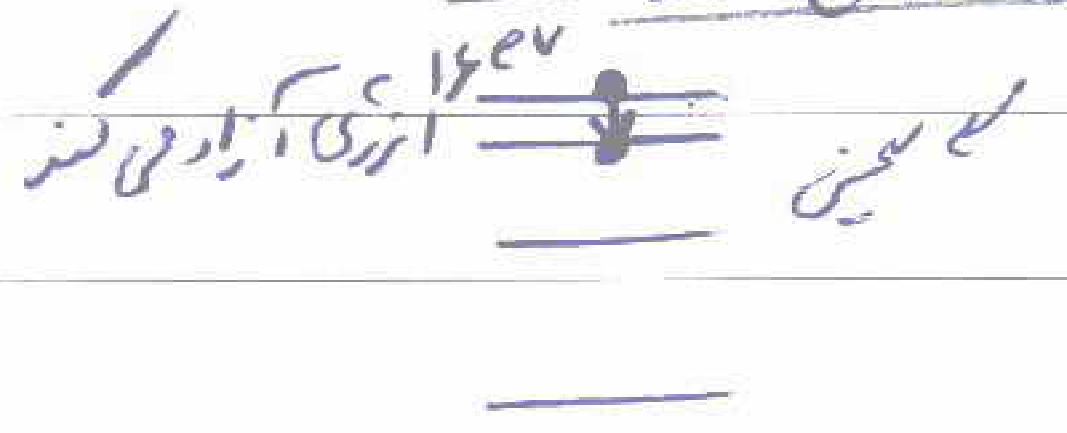
یعنی می توان گفت در برگشت چون جسم گرم شده است ولتاژ کمتری مورد نیاز است.

اثر Pening :

مخلوط آرگون و نئون

آرگون ← سطح یونیزاسیون آن ۱۵ ev است.

نئون ← کوچکترین سطح نیمه پایدار نئون ۱۶ ev انرژی دارد.



انرژی یونیزاسیون < کوچکترین سطح نیمه پایدار نئون

وقتی مقدار کمی نئون در آرگون بریزید باعث آزاد شدن الکترون های آرگون خواهد شد.

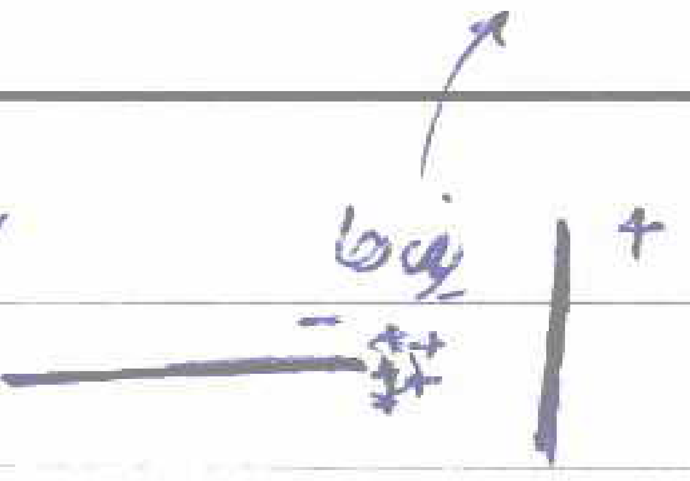
استقامت الکتریکی مخلوط این دو از هر دوی آنها پایین تر است و قانون پاشن هم برای مخلوط صادق نیست.

توده‌ی یون باعث می‌شود این نوک تیزی نرم‌تر شود یعنی به نظر بیاید و شدت میدان کمتر شود در این ناحیه

Subject:
Year: ۲۲ Month: Date: ( )

کرونا:

کرونای منفی



الکترود سوزنی شکل منفی باشد. در این حالت شکست الکتریکی دیرتر از حالت کرونای مثبت رخ می‌دهد.

کرونای مثبت

بیشتر اتفاق‌های ثبت شده در خطوط انتقال در نیم سیکل مثبت است به همین دلیل بالا می‌باشد و شکست در کرونای مثبت کمتر است

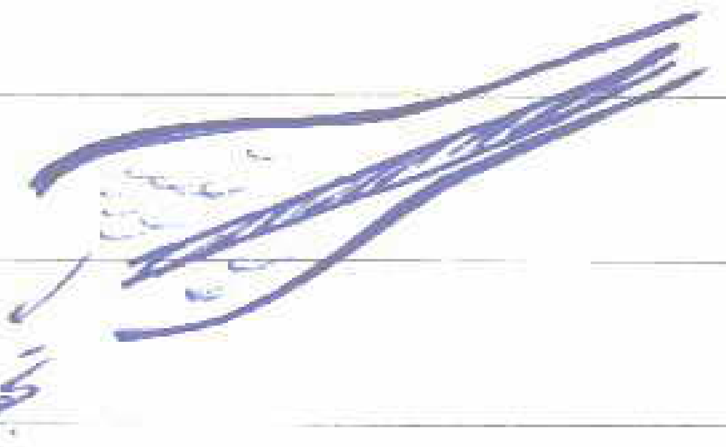
کرونای منفی: بصورت جریان‌های پالسی Trichel Pulses می‌باشد و نور آن تقریباً متمایل به قرمز است.

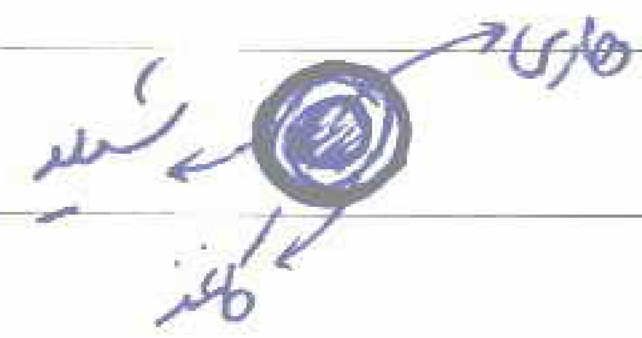
کرونای مثبت: بصورت نور سفید رنگ پیوسته مشاهده می‌شود

در کرونای AC: یک چیزی بین سفید و قرمز خواهد بود

هدایت و شکست الکتریکی در عایق‌های مایع:

کاربردها: ۱- کابل‌ها که البته تعمیرات و نگهداری آنها سخت خواهد بود. معمولاً اگر در شیب استفاده شوند





۲- ترانسفورماتورها

۳- کلیدهای روغنی
۴- خازن‌ها

وظایف روغن:

۱- عایقی ۲- خنک کردن ۳- خاموش کردن قوس الکتریکی در کلیدهای فشار قوی از طریق تجزیه روغن و تولید گاز هیدروژن

معمولاً از نفت بدست می‌آیند؛ از هیدروکربن‌ها هم می‌توان روغن تولید کرد، از گیاهان هم می‌توان روغن تولید کرد.

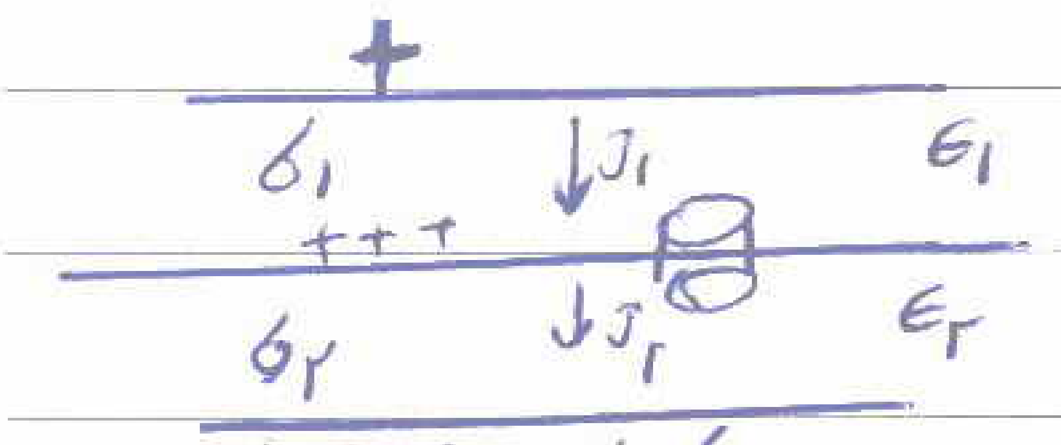
در درجه حرارت‌های بالا از هیدروکربن فلوئورا استفاده می‌کنند.

- در درجه حرارت‌های بالا ← از هیدروکربن‌های فلوئوردار و روغن سیلیکونی استفاده می‌شود

PARSCO

روغن سیلیکونی تحمل حرارتی بالاتری دارد.

اگر $J_1 > J_2$ باشد بار در مرز جمع شده با اختلاف پتانسیل [illegible] کاسته بیشتر خواهد شد پس J_2 بیشتر خواهد شد و این ادامه خواهد داشت تا $J_2 = J_1 = J$ شود



در شرایطی جریان عبوری که [illegible] مقاومت الکتریکی آنها بی‌نهایت باشد.

$$\oint D\,ds = \sum q = 0$$

$$(\epsilon_1 E_1 - \epsilon_2 E_2)S = 0$$

$$\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$$

$$J_1^\infty = J_2^\infty$$

$$\sigma_1 \vec{E_1} = \sigma_2 \vec{E_2}$$

برای DC از حالت شرط

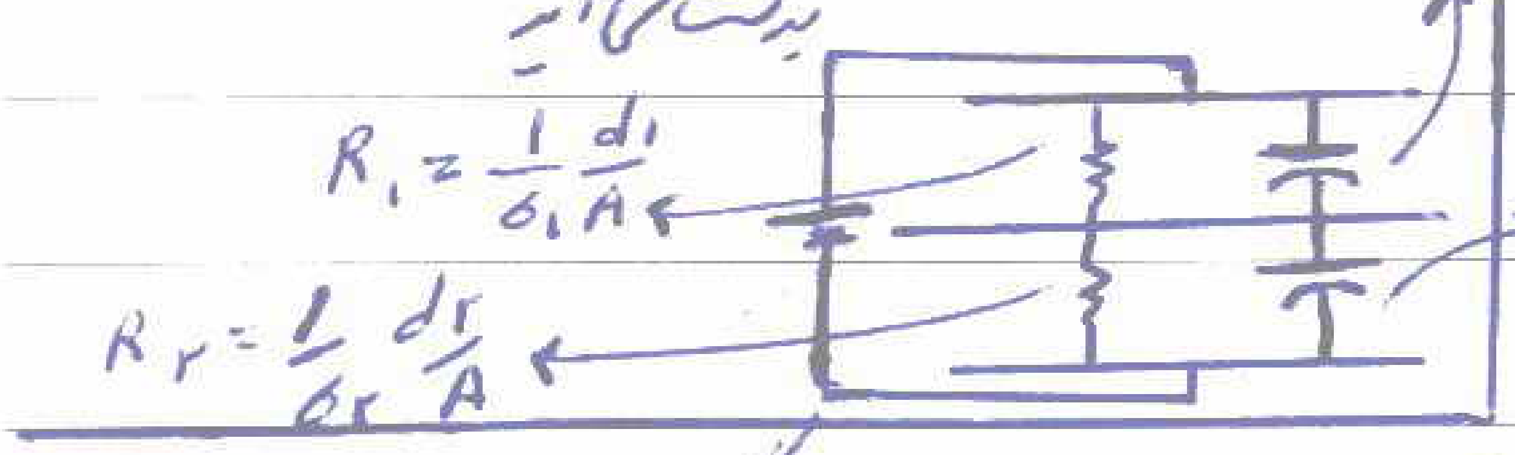
$$\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

میدان در حالت نهایی حاصل شود:

برای مدل [illegible] در حالت گذرا [illegible]:

یک مدار RC است که اگر در $t = 0$ آن این رو [illegible] بگذاریم این مقدار $t = \infty$ بدست می‌آید

$C_1 = \epsilon_1 \frac{A}{d_1}$


$R_1 = \frac{1}{\sigma_1}\frac{d_1}{A}$
$R_2 = \frac{1}{\sigma_2}\frac{d_2}{A}$
$C_2 = \epsilon_2 \frac{A}{d_2}$

حضور کمی ناخالصی مانند آب و ... می‌تواند استقامت عایق را کاهش دهد.

از خصوصیات مهم عایق مایع:

ناخالصی‌ها به شکل الیافی هم شده [illegible] اگر استقامت الکتریکی را کاهش می‌دهند چون الیاف حالت زنجیر [illegible] قرار می‌گیرند

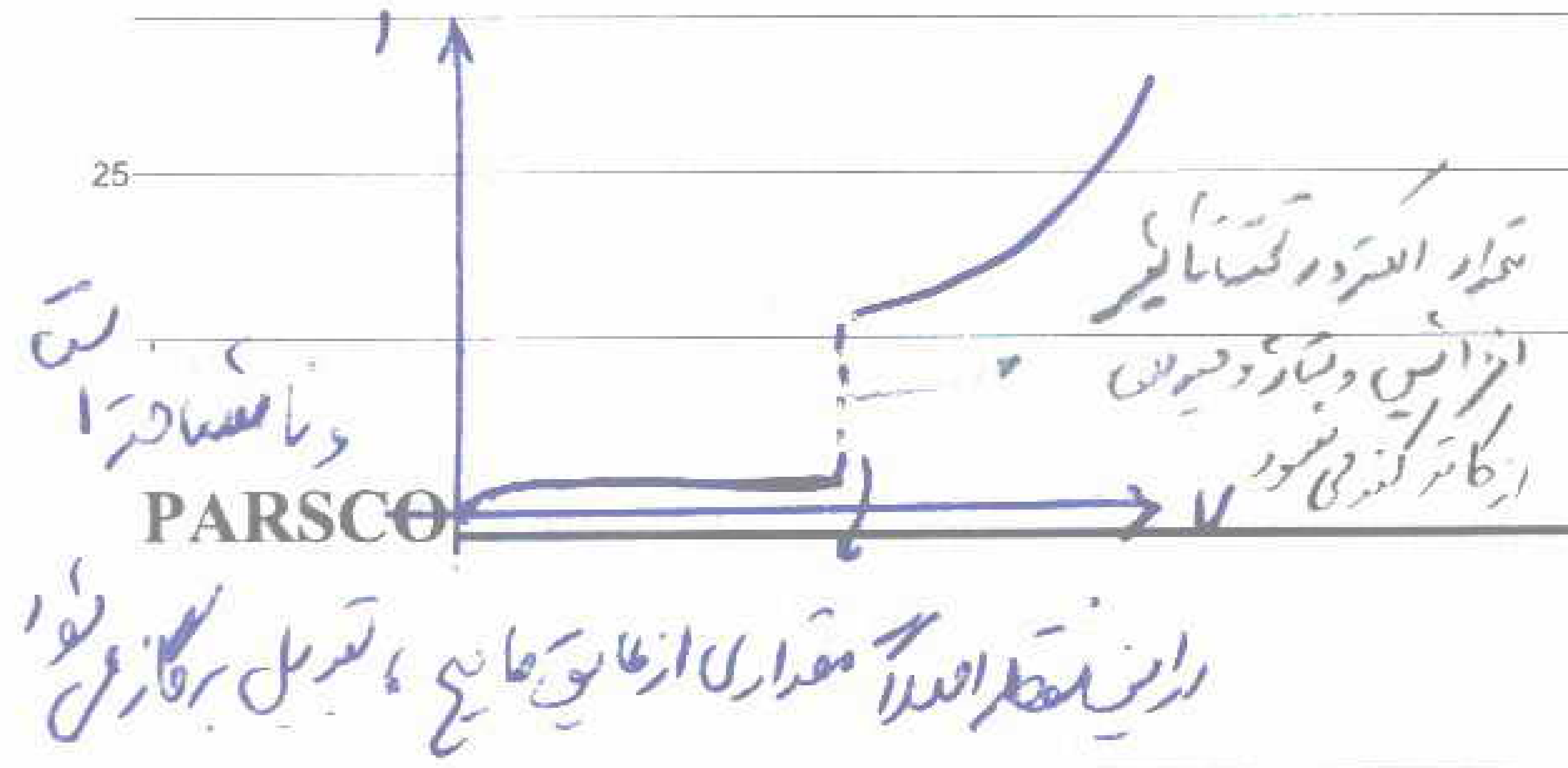
- هدایت الکتریکی باید کم باشد.
- ثابت دی‌الکتریک ϵ فرض می‌شود تقریباً با عایق کناری هم نزدیک به هم باشد.
- استقامت دی‌الکتریکی باید زیاد باشد.
- ویسکوزیته باید زیاد باشد در ترانس ولی در کابل‌ها باید کم باشد
- پایداری شیمیایی باید زیاد باشد.
- پایداری حرارتی باید زیاد باشد
- وزن مخصوص باید کم باشد.
- عاری از ناخالصی باشد
- گرانی
- کاربردهای متعدد

- خواص شیمیایی، پایداری شیمیایی
پایداری حرارتی - ویسکوزیته (انعطاف)
- وزن مخصوص

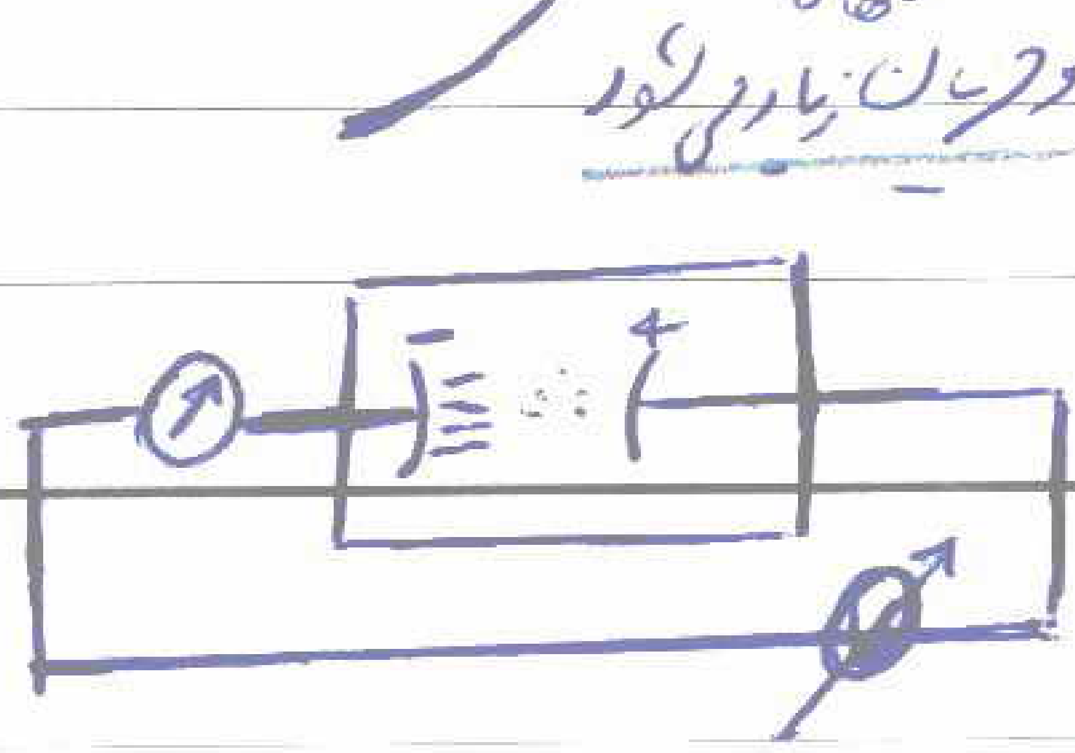
مهمترین معیار انتخاب، پایداری شیمیایی است.

- خصوصیات عایق مایع حالت در مقابل عایق‌های گازی مقداری ناشناخته است چون در عایق گازی می‌توان چند بار در شرایط یکسان در آن تخلیه ایجاد کرد ولی روی عایق جامد با انجام تخلیه از بین خواهد رفت و عایق مایع هم در هر بار تخلیه ناخالصی‌های آن افزایش می‌یابد

- در عایق‌های مایع الکترون معمولاً خنثی هم است و در مولکول‌های عایق اندکی یونیزه می‌شوند اما بعد از اینکه سطح ولتاژ از مقداری بالاتر می‌رود از سطح الکترود الکترون کنده می‌شود و جریان ناگهانی زیاد می‌شود

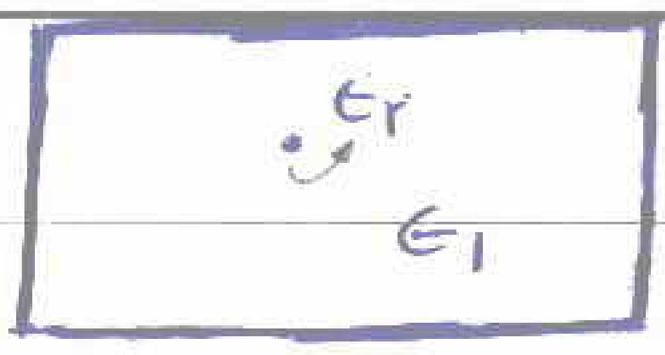


در این نقطه ابتدا مقداری از عایق مایع به تبدیل به گاز می‌شود



یکی از تئوری های که بیان می شود

الف) تئوری ذرات معلق در مایع:



چون ضریب دی الکتریک ذره با مایع متفاوت است میدان در اطراف ذره تغییر پیدا خواهد کرد و به ذره نیرو وارد خواهد شد.

ذرات پراکنده نمی شوند بلکه شکل می گیرند و یک زنجیره را تشکیل می دهند

و ممکن شکست در این حالت رخ دهد اگر هدایت ذرات از هدایت مایع بیشتر باشد

$\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ باشد نیرو در سمت شدت میدان قوی تر است.

$\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ باشد در 〃 〃 〃 〃 ضعیف تر است.

با توجه به جریان

$$f = r^3 \frac{\varepsilon_2-\varepsilon_1}{\varepsilon_2+2\varepsilon_1} E \,\mathrm{grad}\, E$$

r شعاع ذره

ب) تئوری حباب های هوا و گاز

شدت میدان در اطراف ذره زیاد خواهد شد و تخلیه ای رخ می شود

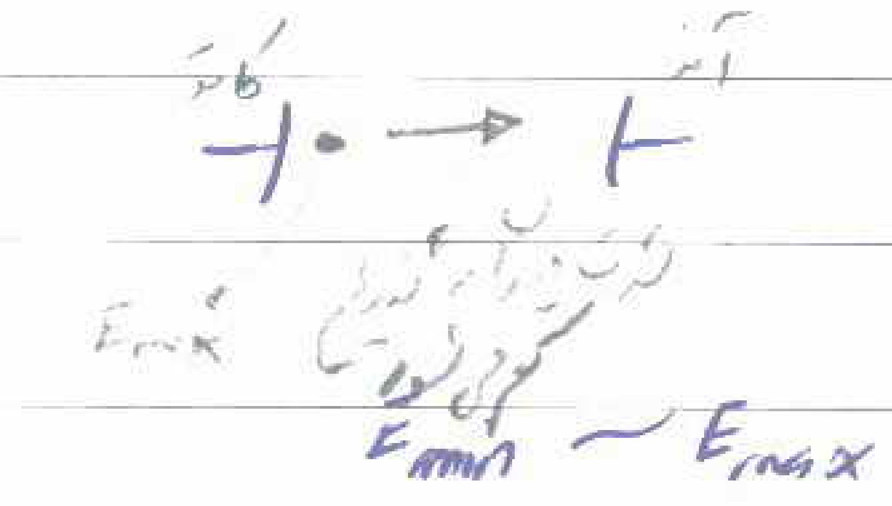
در ضمن روغن هم تجزیه شده و گاز تولید می شود

E

$E_1 >> E_2$

ج) تئوری حجم مایع تحت فشار الکتریکی

ضمناً مهم است که در چند درصد مایع شدت میدان ماکزیمم وجود دارد



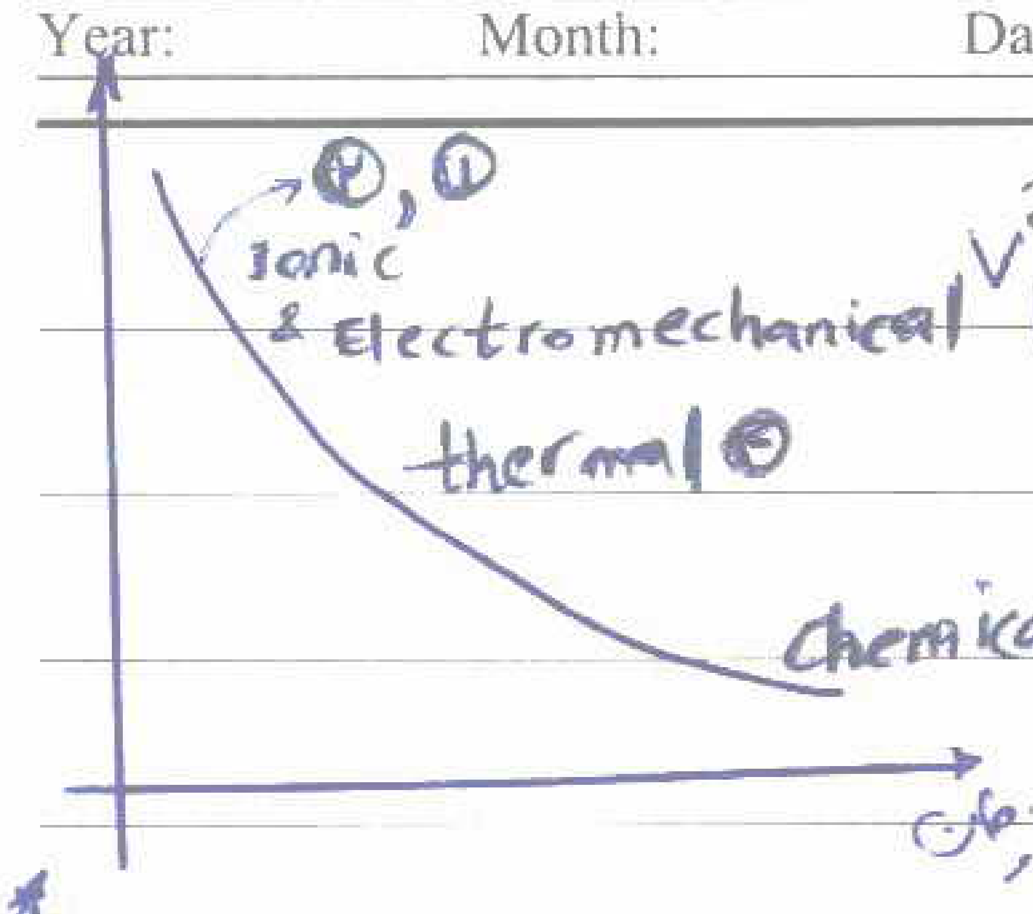
در واقع حجم مایعی که شدت میدان در آن زیاد که با شدت تخلیه زودتر صورت می گیرد

تعریف مایع تحت فشار: $0/9\, E_{max}$ تا E_{max} – عبارت است از قسمتی از مایع که شدت میدان در آن از ۰/۹ شدت میدان ماکزیمم بیشتر است

ولتاژ شکست بطور معکوس متناسب است با حجم مایع تحت فشار الکتریکی

هرچه حجم مایع تحت فشار الکتریکی بیشتر ↑ ، ولتاژ شکست ↓

– گرمایی که در اثر افزایش شدت جریان ایجاد شده است نیز نقش دارد.



نکات مهم:

$$V_{breakdown} = A\,d^{n}$$

ولتاژ شکست

A: ثابت

d: فاصله دو الکترود

n: کوچکتر از ۱

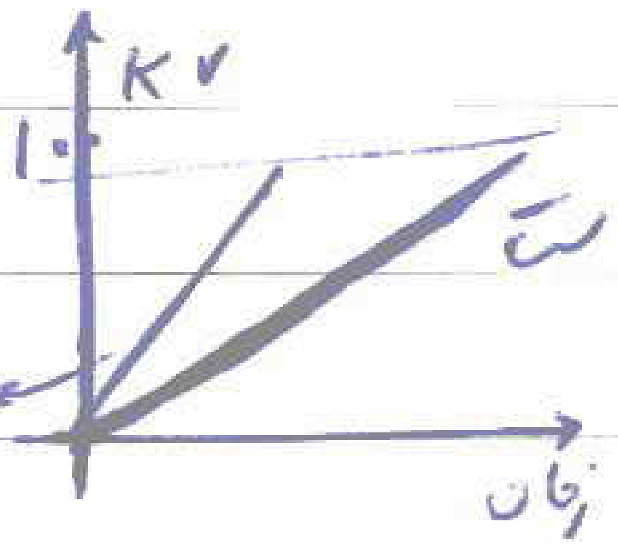
۱- رابطه ولتاژ شکست و فاصله‌ی دو الکترود (d) خطی نیست

۲- ولتاژ شکست به شکل الکترود بستگی دارد.

۳- شکل فشار هم روی ولتاژ شکست تأثیر دارد.

ولتاژ شکست DC < ولتاژ شکست AC < ولتاژ شکست ضربه

چون بالا رفتن یونیزاسیون زمان نیاز دارد



۴- سرعت بالا رفتن ولتاژ در شکست موثر است

- اگر سرعت افزایش ولتاژ کم باشد شکست در ولتاژ کمتری رخ می‌دهد

وقتی ولتاژ را سریع بالا می‌بریم چون برای یونیزاسیون زمان کافی نداریم ولتاژ شکست بالاتر خواهد بود

۵- پیچیدن کاغذ دور سیم باعث می‌شود استقامت عایق مایع زیادتر شود چون جلوی مقدار زیادی از ذره‌های معلق تشکیل را می‌گیرد مثل پل هم بشد.

مثلاً: پل برقرار نمی‌شود چون مایع را داشته‌ایم

عایق‌های جامد:

اگر شکست الکتریکی در عایق جامد اتفاق بیفتد از بین خواهد رفت ولی عایق مایع تقریباً و عایق گازی ۱۰۰ درصد به حالت اولیه‌اش برمی‌گردد.

عایق جامد خوب باید ۱- استقامت مکانیکی بالایی داشته باشد ۲- تلفات دی‌الکتریکی کم ۳- خالص بودن

۴- وزن مخصوص کم ۵- مقاومت در برابر تأثیرات شیمیایی

مکانیزم‌های شکست الکتریکی در عایق‌های جامد: ۱- intrinsic یا Ionic

یکدفعه ولتاژ را داشته باشد

ولتاژ زیاد هم نیست ولی مدت زمان زیادی وصل است

۲- Electromechanical ۳- شکست به علت Tracking و treeing ۴- شکست حرارتی ۵- شکست شیمیایی (الکتروشیمیایی یا یونیزاسیون)

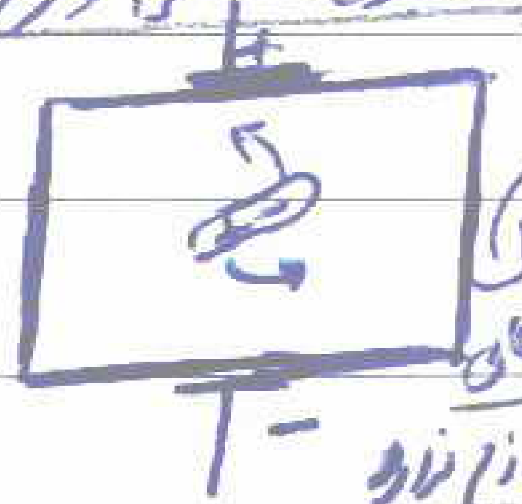
در مورد کریستال‌ها که مولکول‌های قطبی دارند

به خاطر عبور جریان نشتی و گرم شدن

۶- شکست تخلیه جزئی داخلی - در جاهایی که هوا داشته باشد

داخلی

یا شکست در اثر حباب‌های هوا و گاز

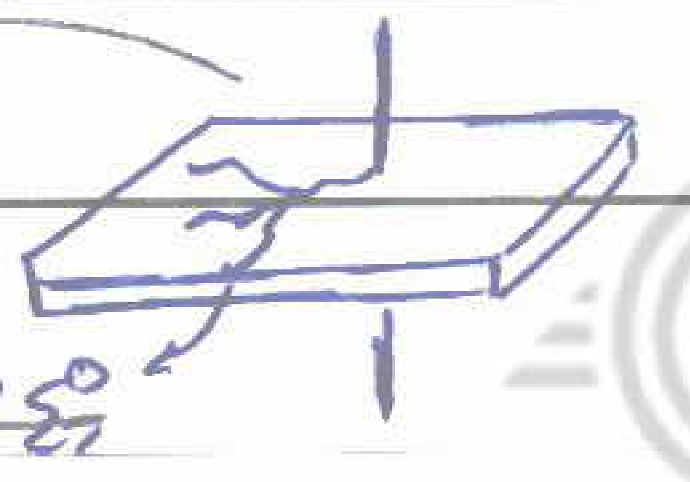


زمان زیاد لازم دارد

زمان لازم ندارد

③ این نوع از سطح عایق شروع شود درست می‌شود و در طولی بر خلاف عایق

نفوذ در خلاف به صورت درخت



هیچ دو شاخه‌ای به هم وصل نمی‌شود

معمولاً عایق‌ها تا پتانسیل مشخصی با منفی دوام عایق را می‌آورند

دارای اثرات شیمیایی خواهد شد و اگر این پدیده زمان طولانی ادامه یابد