بسم الله الرحمن الرحیم

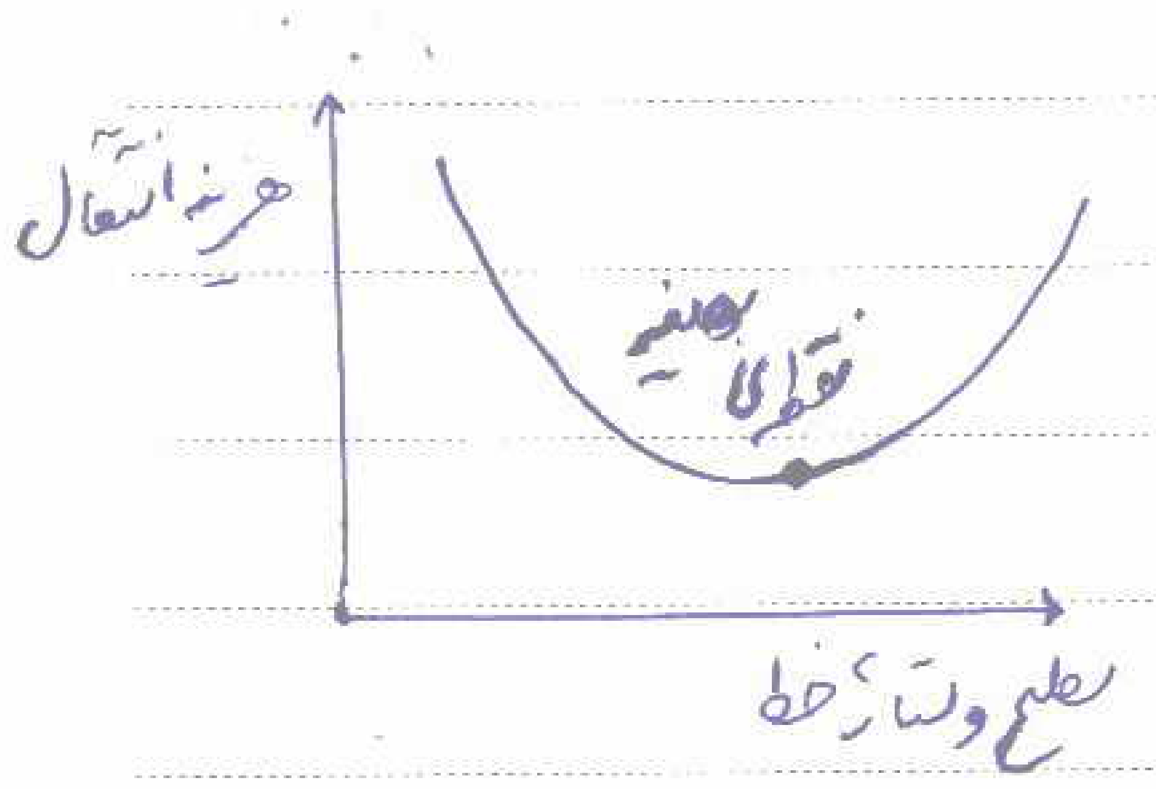
عایق ها و فشار قوی

مدرس: دکتر محمدحسین جاویدی دشت بیاض

نیم سال اول ۹۰–۱۳۸۹
دانشگاه فردوسی مشهد – دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق

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

این 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. بررسی 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 و قابلی 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 ۵۰Hz)

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

۱. ولتاژ ناشی از رعد و برق 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 شبکه‌هایی که ولتاژ نامی‌شان پایین‌تر است ولتاژ رعد و برق خطرناک‌تر است.

ولتاژهای سوئیچینگ چندین برابر ولتاژهای رعد و برق اند.

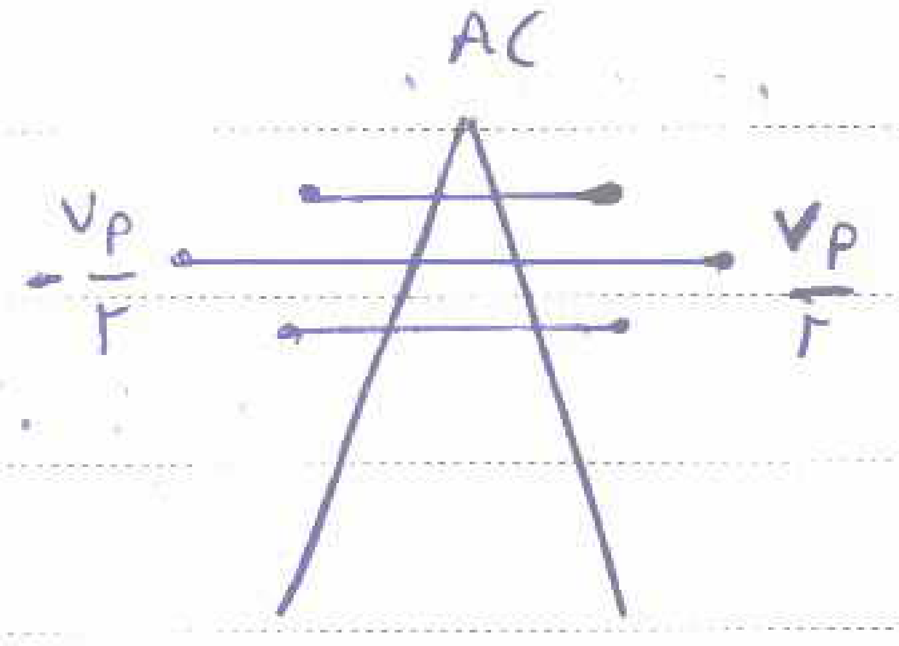
ولتاژ سوئیچینگ این خط

۲۰ kV خط → ۴۰ kV

۲۰۰ هزار ولت
ولتاژ رعد و برق

پس ولتاژ رعد و برق در شبکه‌های که سطح ولتاژ نامی‌شان پایین‌تر است، خطرناک‌تر است

۳. ولتاژهای DC :



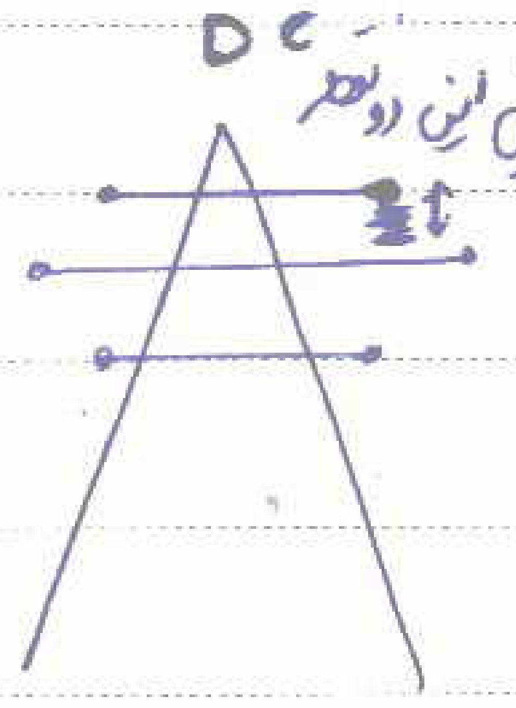
مدار

$2 \times \sqrt{3} V_L I_L \frac{1}{\cos\varphi}$

$2\sqrt{3} \times \sqrt{3} V_{Pn} I_P$

مقدار موثر است

ماکزیمم قدرتی که
می‌توان با این خط AC
انتقال داد



rms

$\sqrt{2} V_{Pn} = \frac{V_{DC}}{2} = V_{max}$

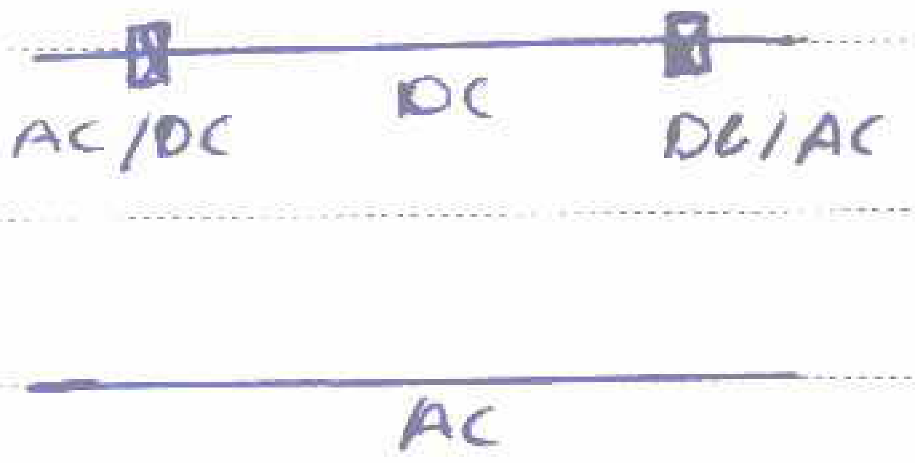
$3 V_{DC} I_{DC}$

۳ تا فاز

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

PAPCO

$$\frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{3\,\cancel{V_{DC}}^{\,2\sqrt{3}\,V_{pn}}\;\cancel{I_{DC}}}{6\,V_{pn}\,\cancel{I_{AC}}} = \sqrt{2} = 1{,}44 \qquad P_{DC} = \sqrt{2}\,P_{AC}$$



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

جاهایی که خط های DC استفاده می‌شوند:

۱- جاهایی که خط خیلی طولانی باشد.

۲- ژاپن که نصف اش 60^{Hz} و نصف اش 50^{Hz} است.

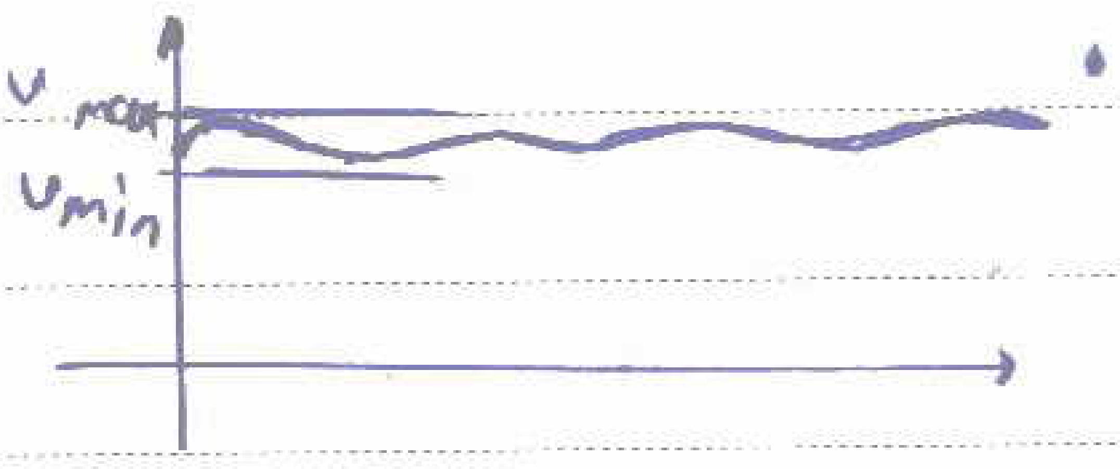
۳- جاهایی که می‌خواهیم با یک شبکه‌ی پرنوسان برق مبادله کنیم و این نوسان به شبکه‌ی ما نباید انتقال یابد (تورنتو و نیویورک)

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



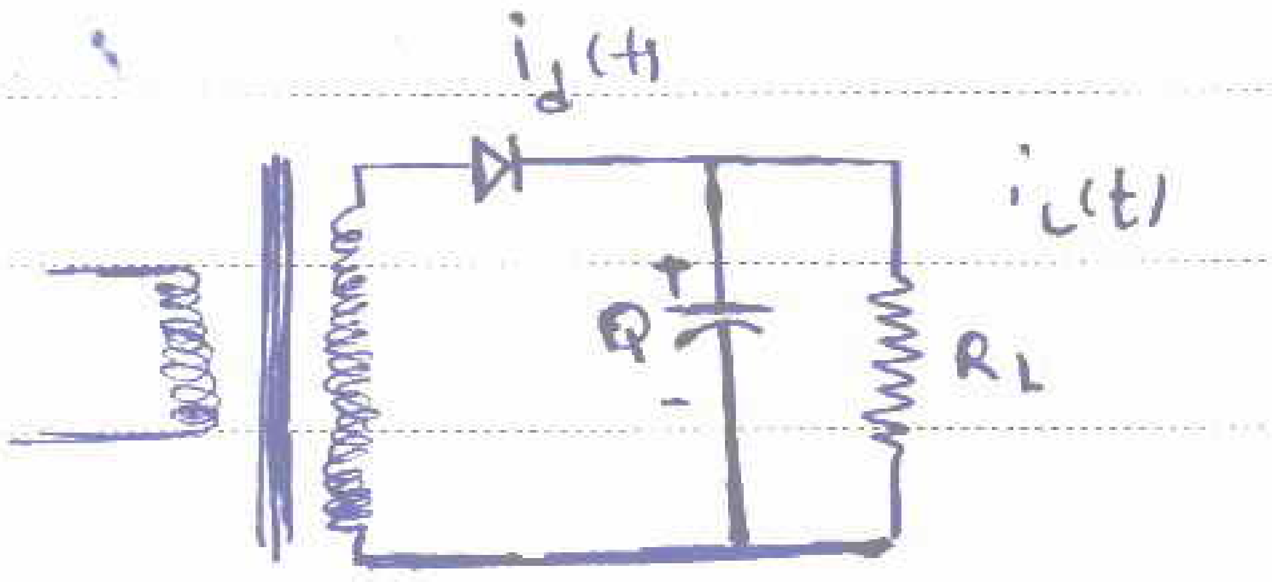
↓

دامنه ولتاژ ریپل $\boxed{\delta V = \frac{1}{2}(V_{max} - V_{min})}$

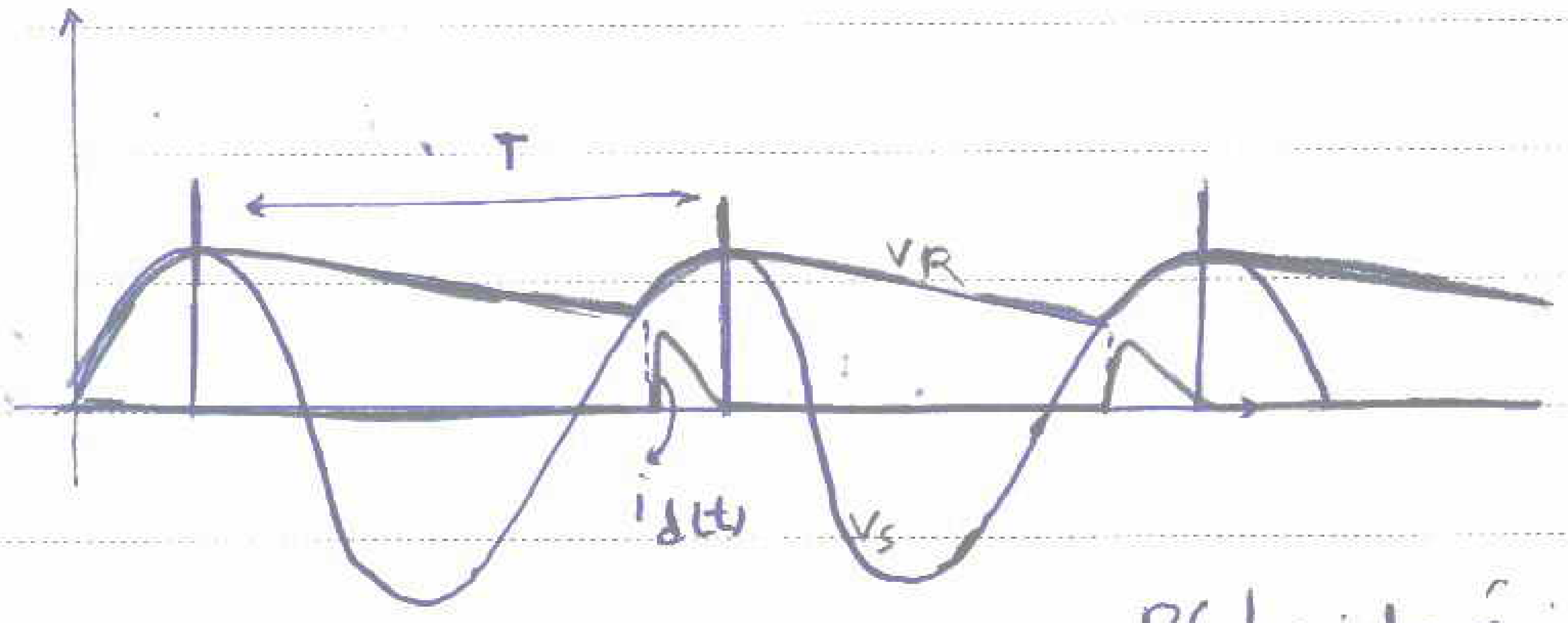
ripple factor $\boxed{\frac{\delta V}{\bar{V}} < 5/100} \longrightarrow$ مثلاً روی 100^{kV}، $95^{kV}-105^{kV}$

روش های تولید ولتاژ DC :

۱- یکسو ساز نیم موج :



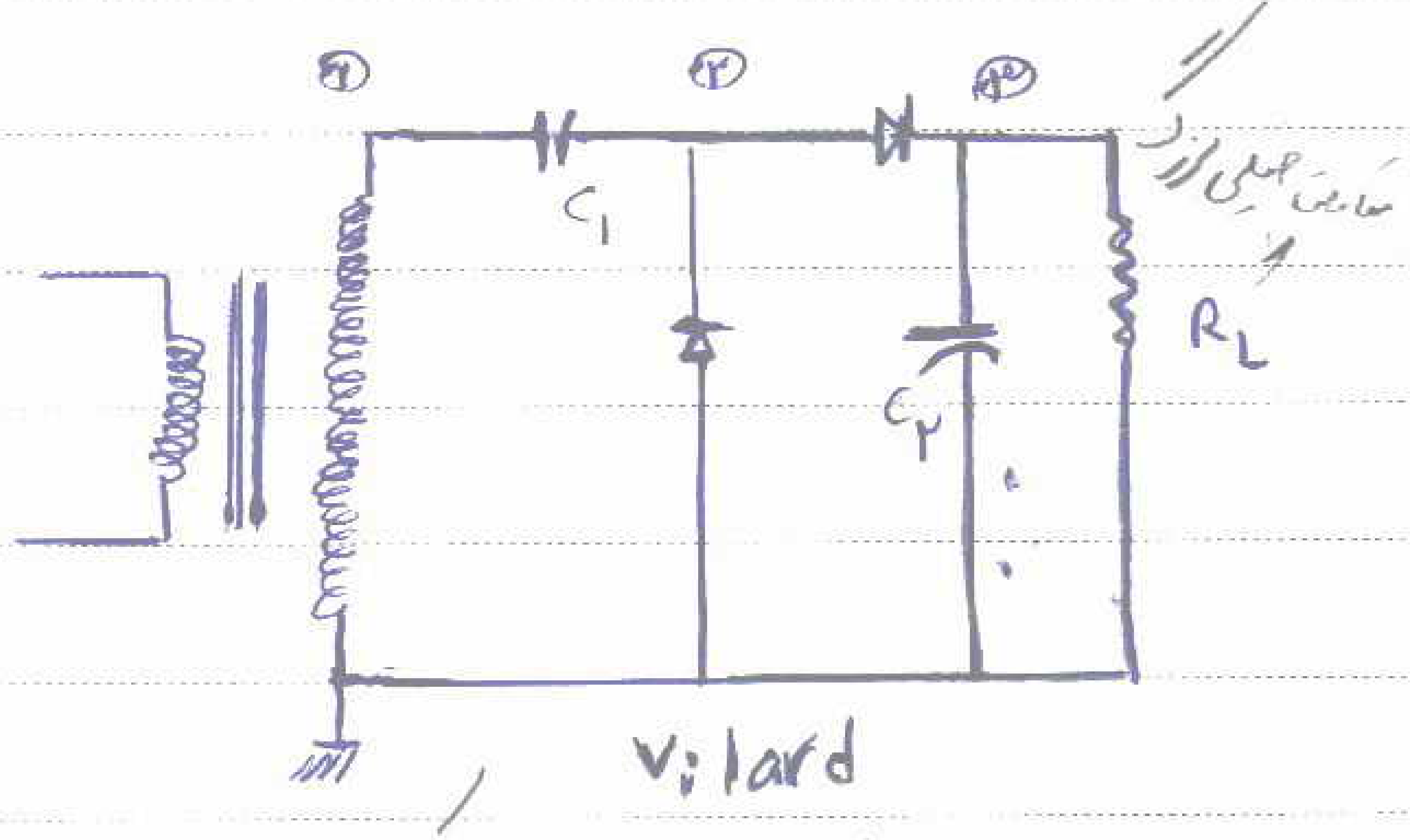
$i_L(t)$ خیلی بیشتر از $i_d(t)$ است باید از یکسو سازی استفاده کرد که شکل این جریان را داشته باشد.

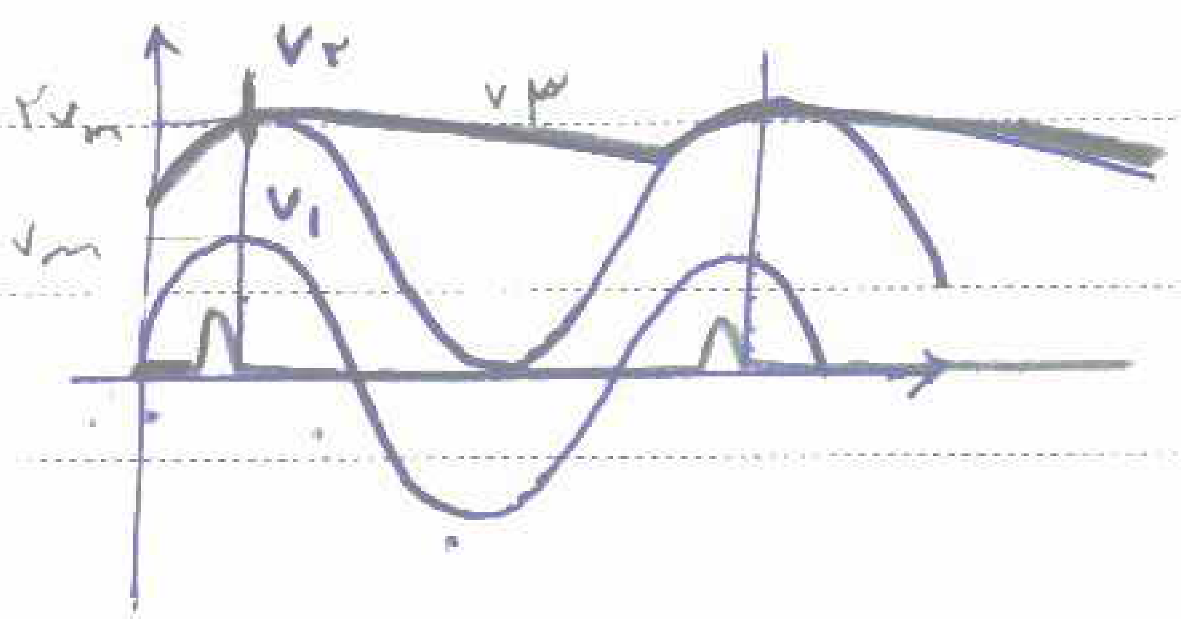


اگر بخواهیم ripple را کم کنیم خازن را بزرگ در نظر می گیریم چون فرکانس را همان $50 Hz$ در نظر می گیرند و ظرفیت این خازن تعیین کننده قیمت این مولد DC خواهد بود.

$$i = C\,{dv}/{dt} \qquad Q = 2\underbrace{\delta V}_{\Delta}\,C = IT \qquad \boxed{\delta V = \frac{IT}{2C} = \frac{I}{2fC}}$$

نصف تغییرات ولتاژ ریپل

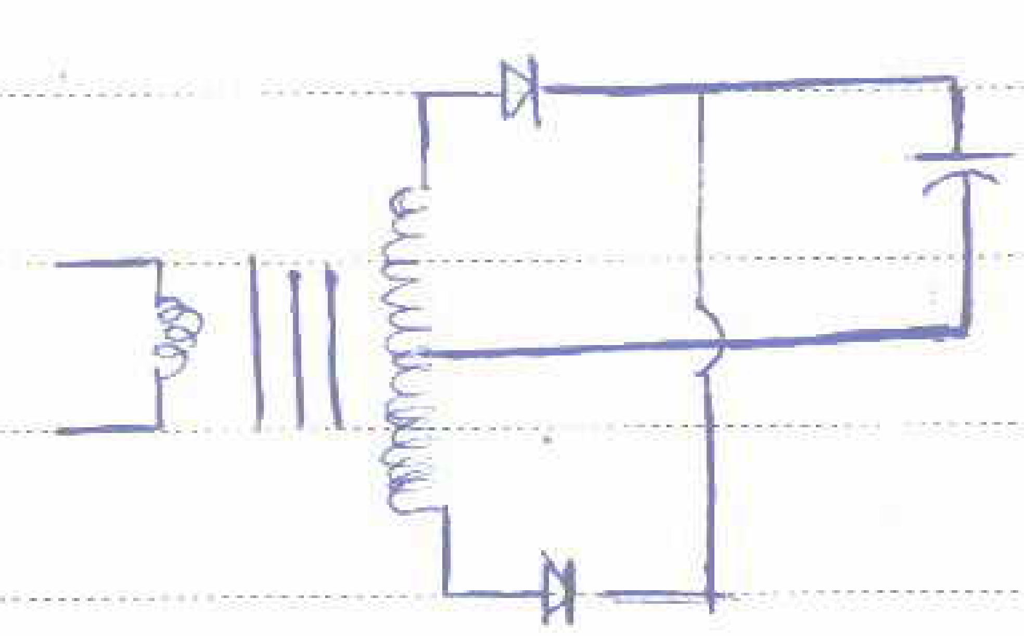

①
②
③
C_1
C_2
R_L
مقاومت خیلی بزرگ

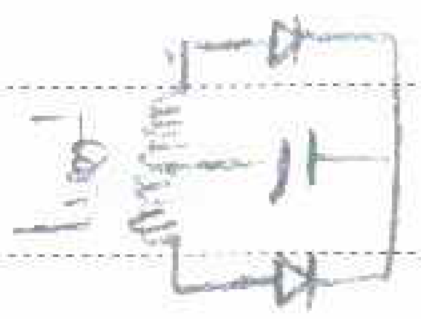

V_2
V_3
$2V_m$
V_1
V_m

Vilard

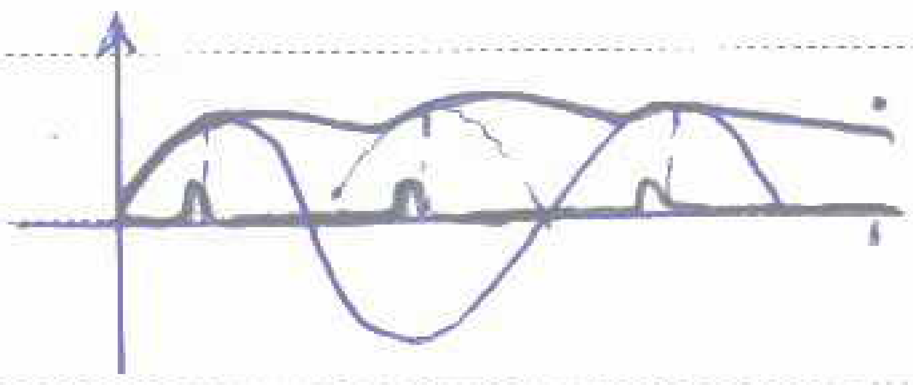
مدار ویلارد دو برابر کننده

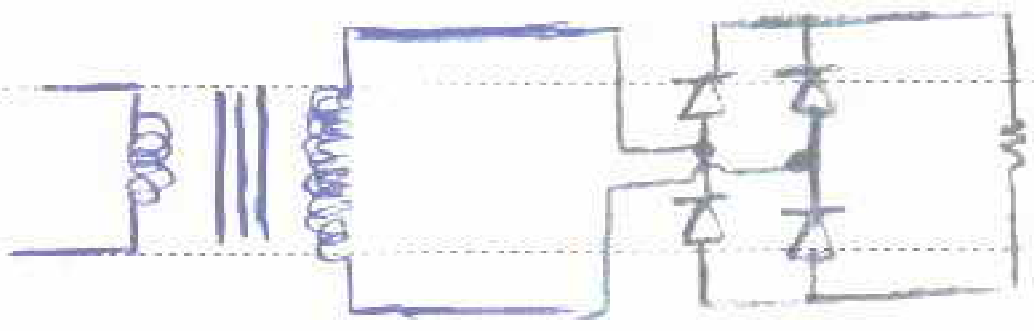
PaPCO





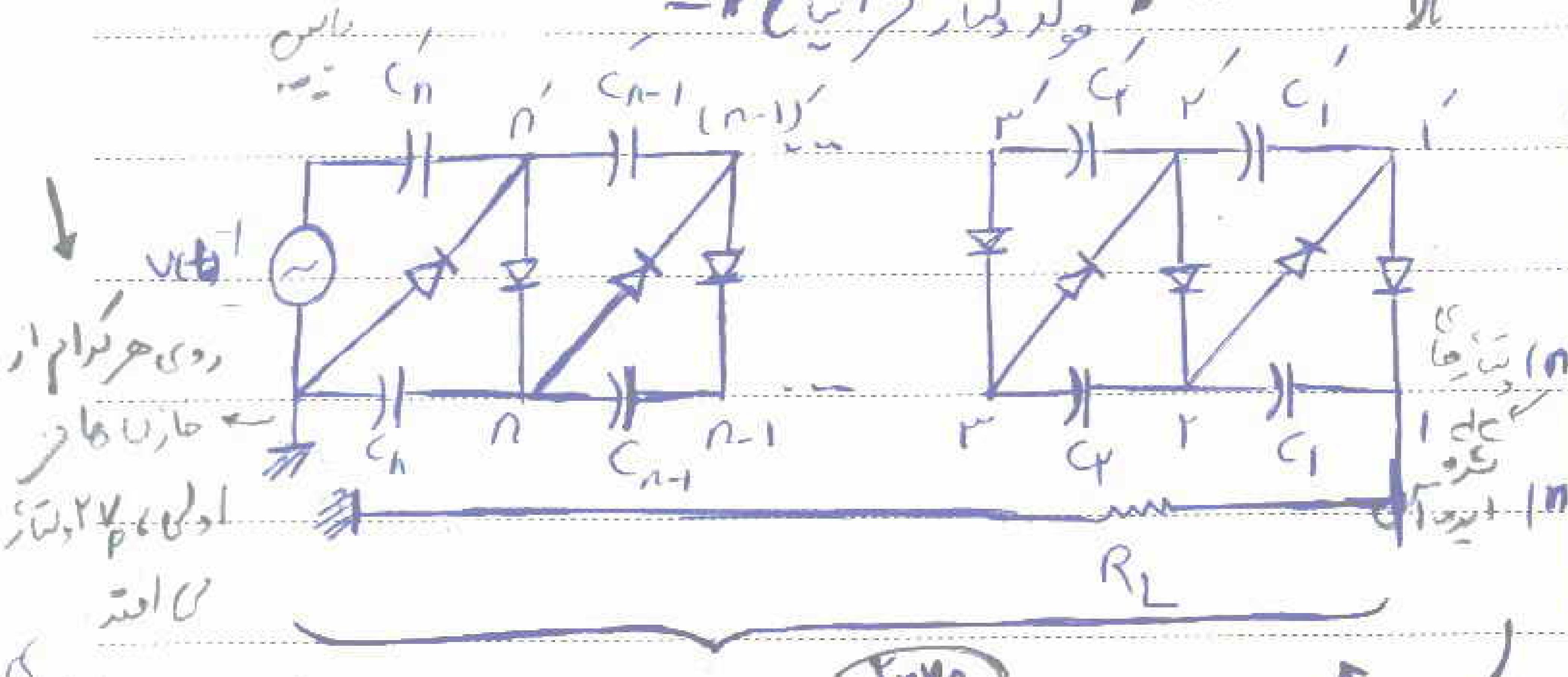
برای مدار مقدار δV را (ripple) چطور پیدا می‌کنید

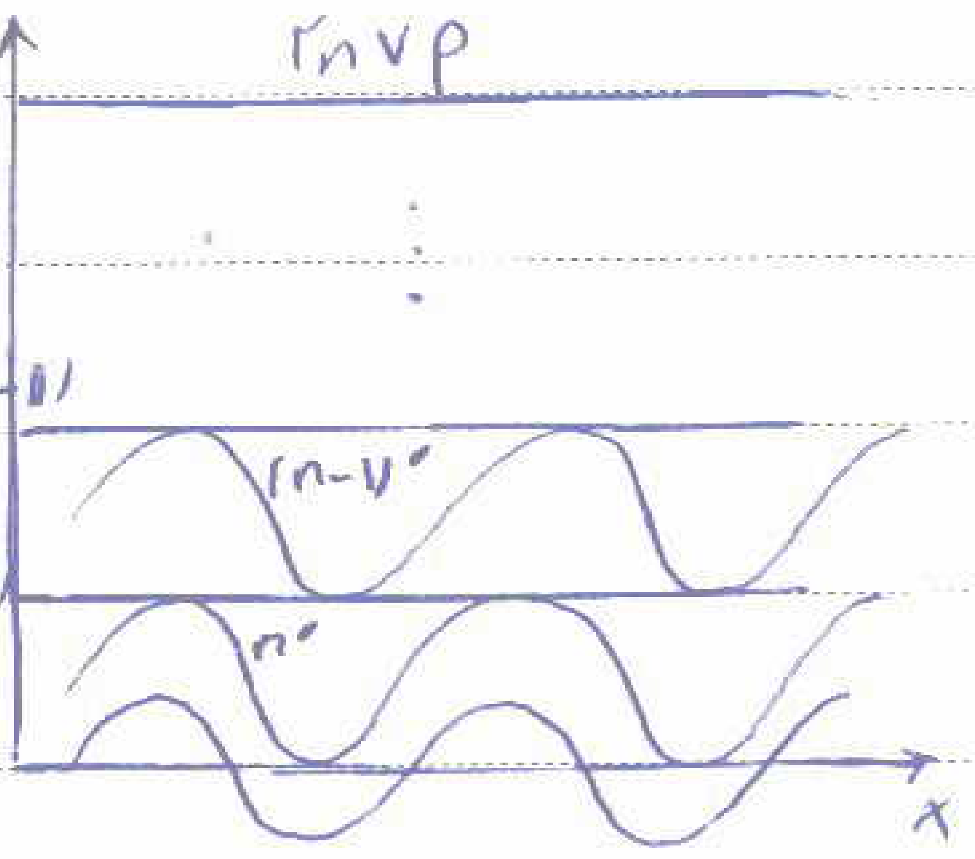




۲- مدارهای ولتاژ چند طبقه:

- « مولد ولتاژ گرانیاخ » -


پایین تپه
بالا
C_n
n'
C_{n-1}
$(n-1)'$
$3'$
C_2
$2'$
C_1
$1'$
$v(t)$
روی هر کدام از خازن‌های اولی $2V_p$ ولتاژ می‌افتد
C_n
n
C_{n-1}
$n-1$
3
C_2
2
C_1
1
R_L
$2nV_p$



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 در حد (mA) است.
- حداقل ولتاژ قابل تحمل برای هر کندانسور $2V_m$ است.

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

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

$$C_1 = C_2 = \cdots = C$$

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

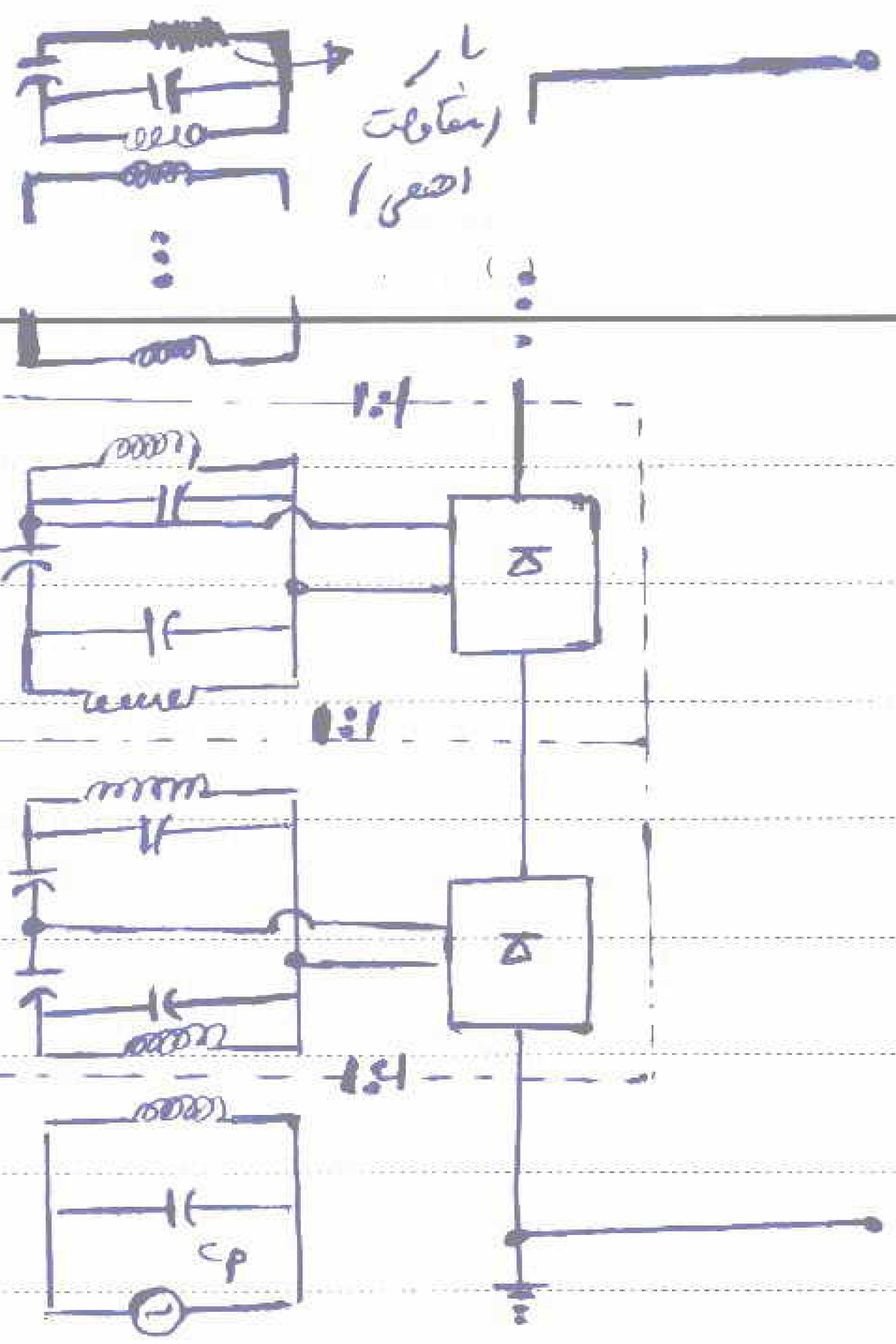
۱. در این مدار با اضافه کردن هر طبقه افزایش ripple می‌یابد بطوری که:

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

- پایین‌ترین طبقه بیشترین استرس را دارد، زیرا هر طبقه روی طبقات بالایی تأثیر دارد.
- بار هر طبقه از طبقه پایینی تأمین می‌شود.

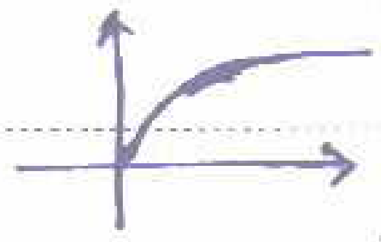
چون خازن‌ها با هم سری شده اند، مقدار معادل خازن‌های سری از کوچکترین آنها کوچکتر است [illegible] معادل کاهش می‌یابد و لذا ریپل افزایش می‌یابد

- « مدار ولتاژ Engetron یا Deltatron » -



- خازن های سری، اندوکتانس را خنثی می کنند.

- وقتی اولیه‌ی همه‌ی ترانس‌ها یکی باشد مشکل اشباع



شکل

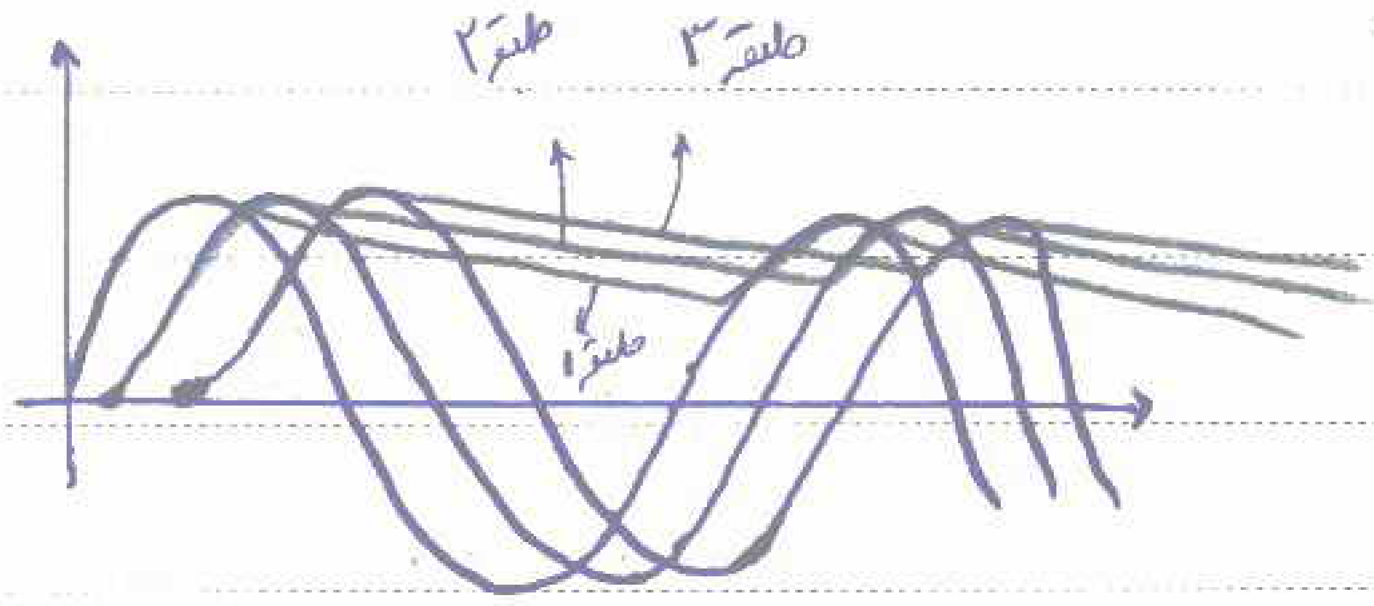
هسته ایجاد می‌شود که برای حل این کار هسته از (چون ولتاژ ثانویه آن‌ها با بالا رفتن هر طبقه افزایش می‌یابد) هوا استفاده کردند اما بدون هسته شار مغناطیس کنندگی زیاد لازم است که برای تأمین آن از خازن C_p موازی با اولیه و ثانویه استفاده کردند.

- در این مولد ثانویه‌ی هر طبقه، اولیه‌ی طبقه بعد است.

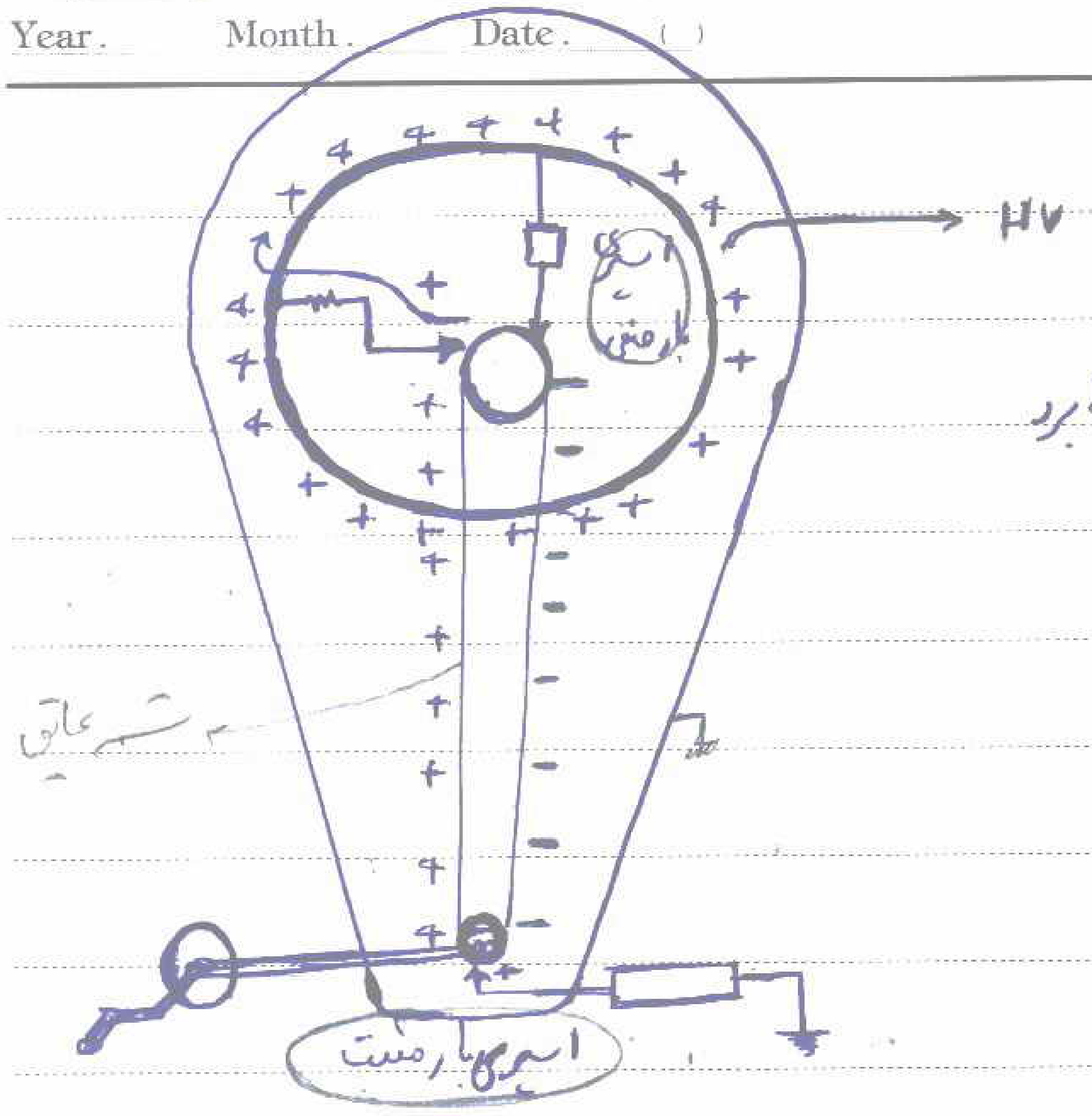
- اگر بار انتهای خط کم باشد ولتاژ بالا می‌رود ولی اگر بار انتهای خط زیاد باشد ولتاژ پایین می‌آید.

اعوجاج شکل

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

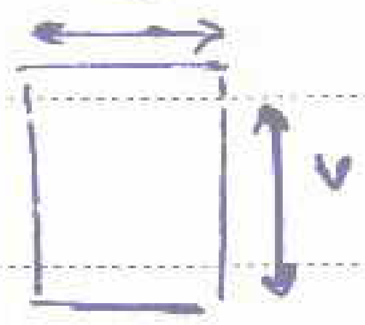


- این مولد در حقیقت یک خط انتقال است که امپدانس آن را Z_c انتخاب کرده‌اند تا اندازه‌ی ولتاژ در همه‌ی آن یکی باشد و فقط زاویه دیگر تغییر کند و این تأخیر شکل موج ولتاژ هر طبقه مربوط به همین قضیه است که وقتی این ۳ شکل موج در خروجی جمع می‌شوند ripple کاهش می‌یابد.



۸- مولد واندوگراف
یا مولد ولتاژ الکترواستاتیک

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



v: سرعت تسمه (m/s)

b: پهنای تسمه (m)

S (Q/m^2): چگالی بار که روی تسمه قرار می گیرد

$\boxed{I = Sbv}$ مقدار بار بر ثانیه

بالاترین جریانی که می توان با این مولد ساخت:

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

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

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

۲۵۰ mA – ۱ mA جریان [illegible]

▲ ابزارهای ولتاژ [illegible] از نوع ضعیف
[illegible] DC → [illegible] ولتاژها

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)

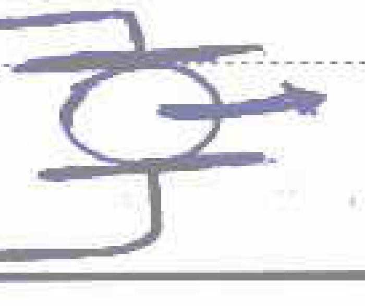
$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt}$

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

$\frac{V_p}{V_{rms}} \simeq \sqrt{2} \rightarrow \frac{V_p}{V_{rms}} = \sqrt{2} \pm 5\%\,\sqrt{2}$ به عنوان سینوسی قابل قبول است

در تست تجهیزات هسته دار برای اینکه به اشباع نرویم از فرکانس بالاتر از نامی استفاده می کنیم [illegible] فرکانس نامی

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



تجهیزات عایقی مورد تست

(علاوه بر ولتاژ)

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

جریان و ولتاژی که منبع ولتاژ تست باید تأمین کند.

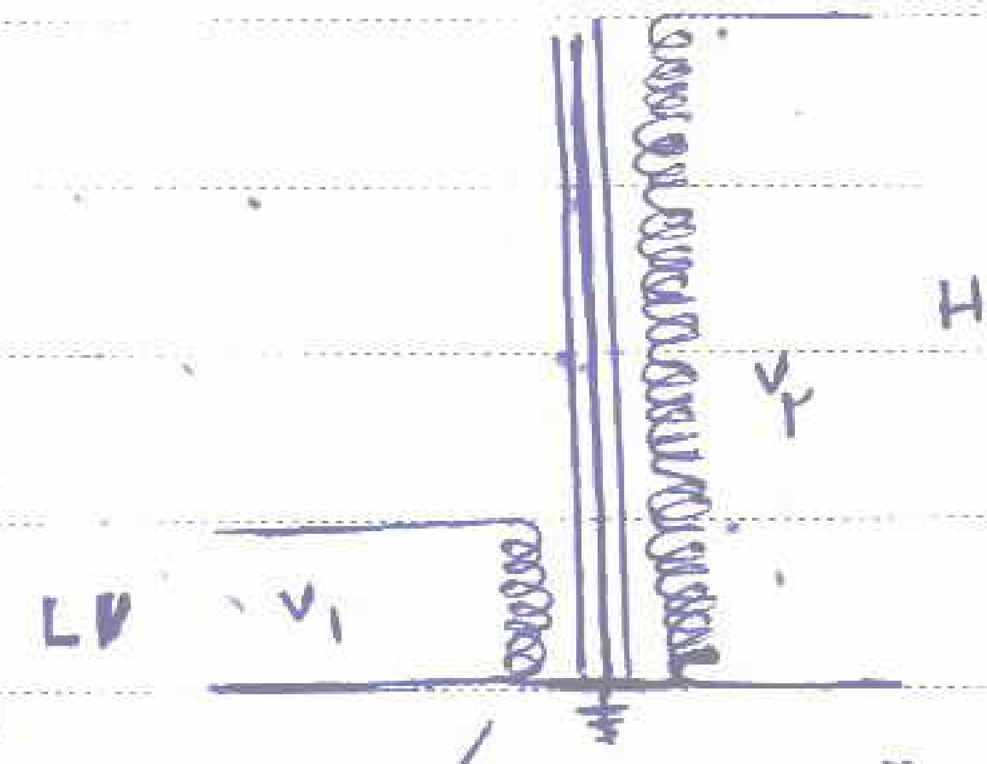
— اگر این جریان تأمین نشود تست درست نخواهد بود، چون این جریان بیشتر از جریان ولتاژ فشار قوی است و ما نیاز خواهیم داشت

$P_n = K \omega C V_t^2$

ظرفیت خازنی تجهیزی که باید تست شود

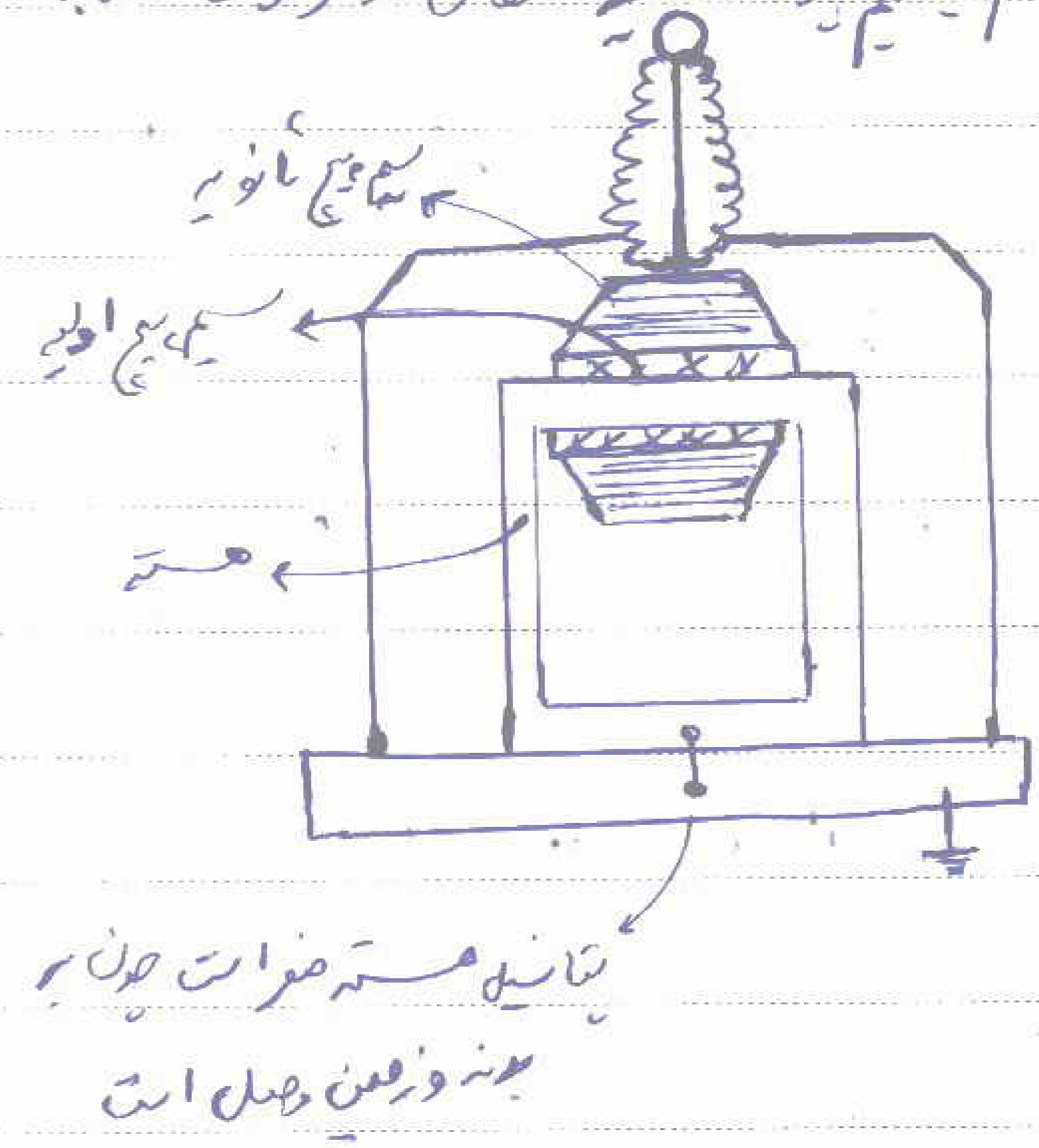
ترانسفورماتور تست :

در ترانس های معمولی هدف انتقال قدرت است و



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

برای سیستم‌های ضعیف (مانند الکترونیک و مخابرات) به دنبال انتقال حداکثر توان هم نیستیم چون در تطبیق انتقال حداکثر توان ۵۰٪ تلفات خواهیم داشت | $Z_{eq} = Z_{in}$



پتانسیل هسته صفر است چون به بدنه و زمین وصل است

$C = \varepsilon A/d$ ↑

$cte = 2\pi r l$ ↓

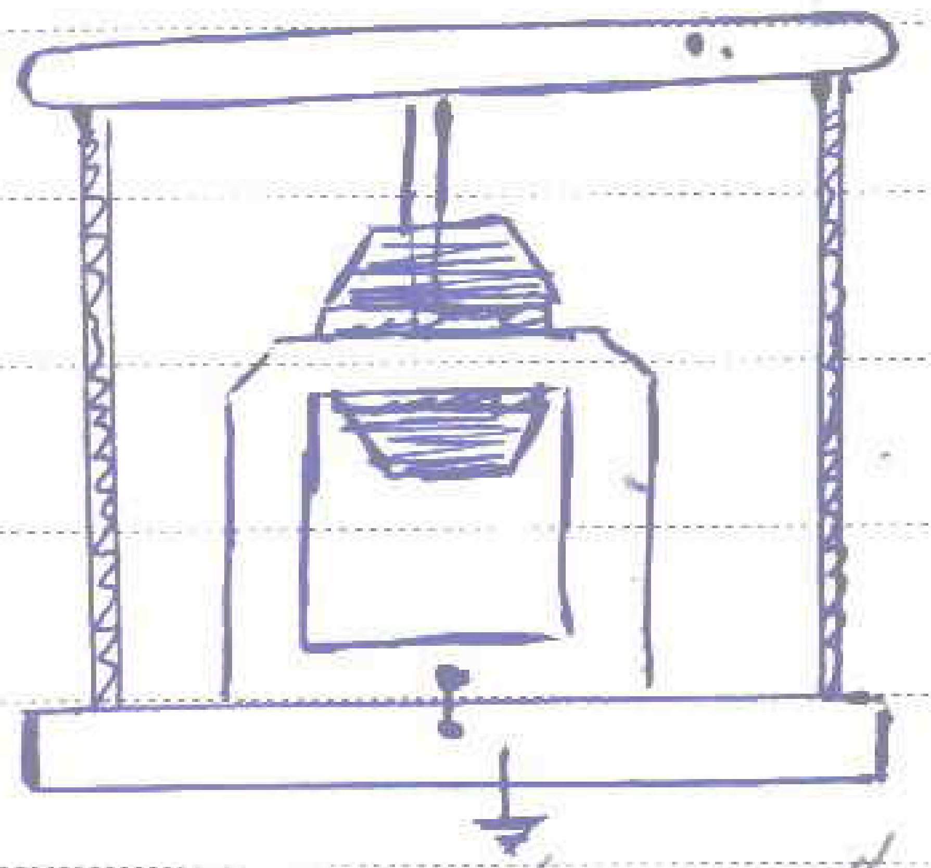
سیم پیچ ثانویه ذوزنقه‌ای است چون می‌خواهیم ظرفیت خازنی هر لایه از سیم پیچ ثانویه با لایه بعدی ثابت باشد که در صورت ثابت بودن خازن می‌تواند میدان یکنواخت باشد و با این کار عایق کاری کاهش می‌یابد در صورتی که اگر میدان یکنواخت نباشد باید عایق بکار رفته برای بیشترین میدان طراحی شده باشد.

مقایسه: این ترانس از آنجا که بدنه ترانس فلزی است براحتی با بیرون انتقال گرما دارد ولی در ترانس بعدی چون بدنه از جنس عایق (عایق کاری بیشتر) است مبادله گرمایی اش کم است.

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

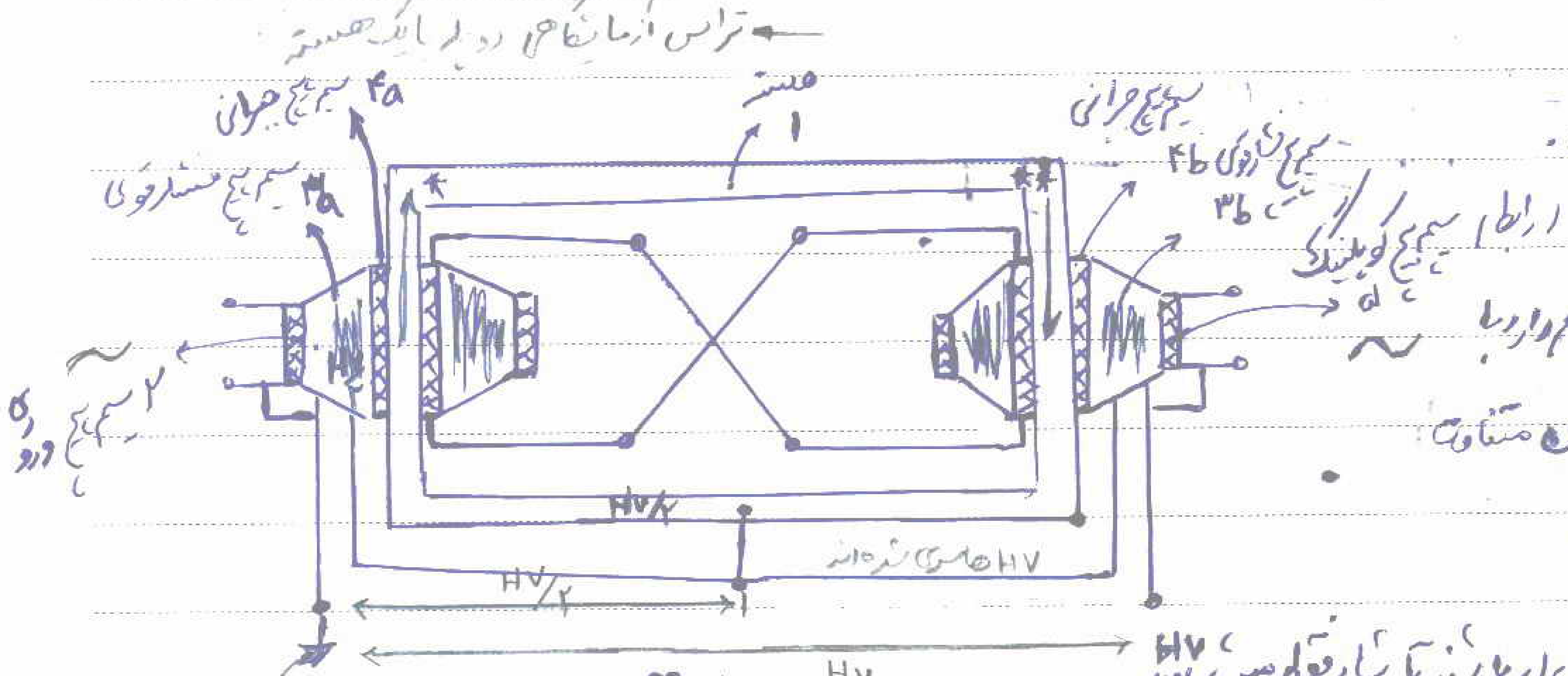
مقایسه: در این ترانس برای سری کردن شان باید هر ترانس را روی پله ای بالاتر گذاشت که آن پله از جنس عایق خواهد بود

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



ترانسفورماتورهای کاسکاد یا چندطبقه:

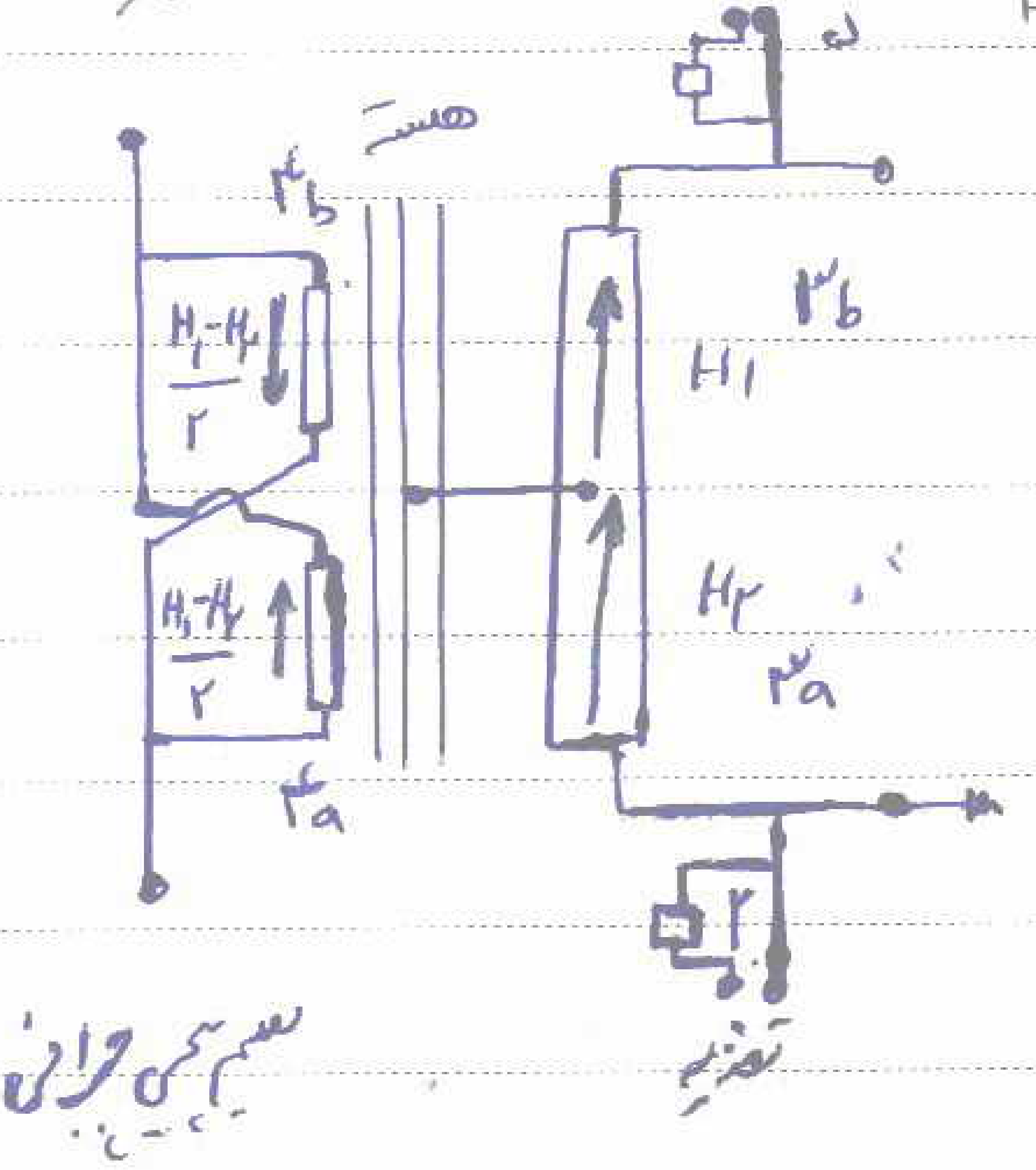
- یکی از روش‌های سری کردن ترانس‌های تست:


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

- تپ شیل هسته $\frac{HV}{2}$ است.

- هر ترانس که ۲ دارد ۵ هم دارد با این تفاوت که ولتاژش ۵ آن متفاوت است (HV و زمین)

- شارهای * و ** باید برابر باشند تا شار فقط مسیرشان در هسته بسته بود وگرنه باعث گرم شدن و اعوجاج خواهد شد که با سیم پیچ نمی‌توان این شارها را برابر کرد بلکه از سیم پیچی جبرانی برای اینکار استفاده می‌کنند بطوری که


۵
هسته
4b
3b
$\frac{H_1-H_2}{2}$
$\frac{H_1-H_2}{2}$
H1
H2
3a
4a
۲
سیم پیچی جبرانی
تغذیه

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

- سیم پیچ فشار قوی را دو تکه ساخته اند بخاطر صرفه جویی در ضخامت عایقی و ولتاژش را هم با هسته هم پتانسیل کرده اند. و با این کار امکان ندارد

- سیم پیچی فشار ضعیف را معمولاً هسته می‌بندند چون عایق‌بندی کمتر نیاز دارد ولی اینجا سیم پیچ فشار قوی را از زیر به هسته بسته اند اما ولتاژش را با هسته هم پتانسیل کرده اند.

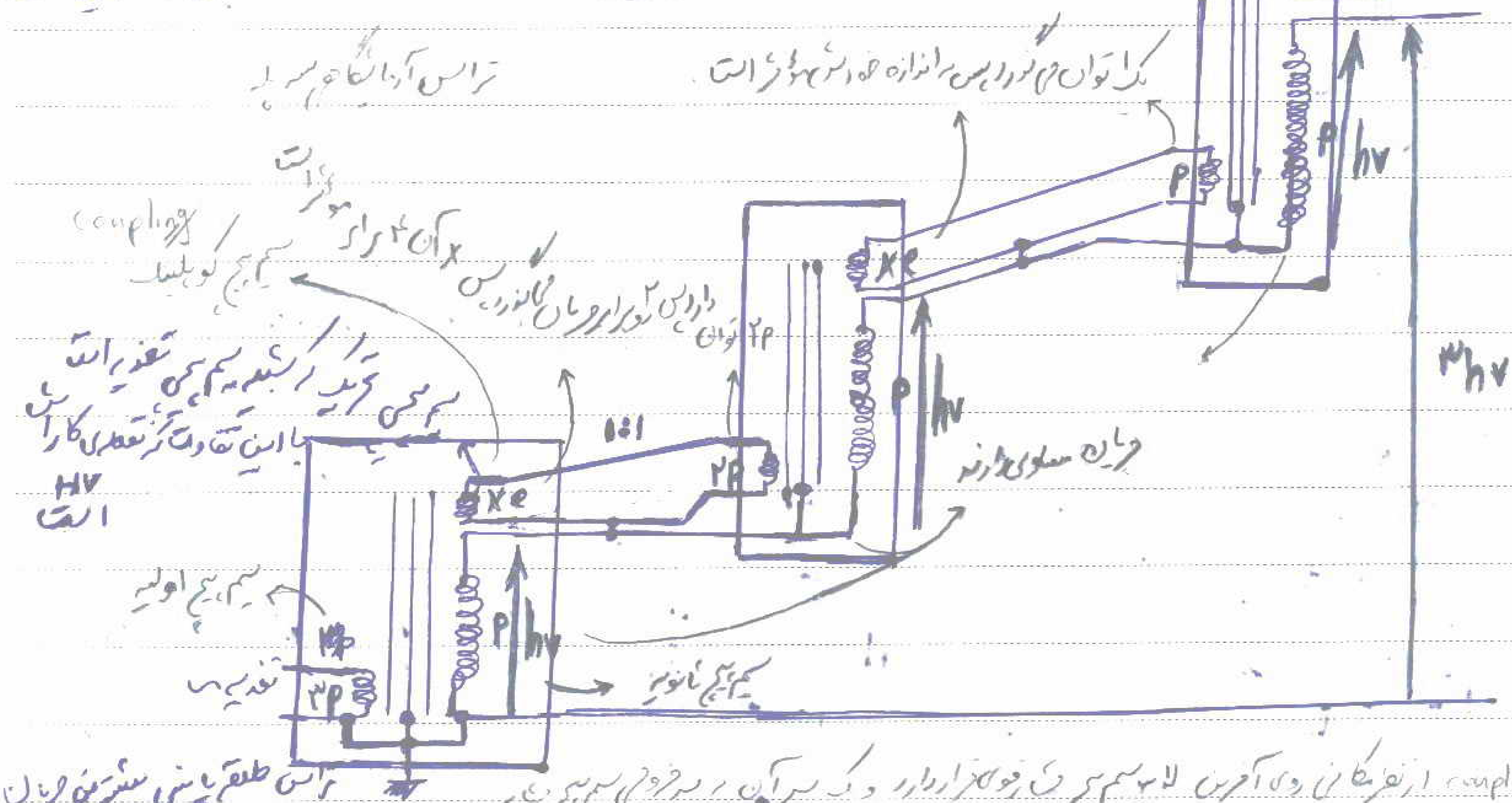
- می‌توان دو یا چند دستگاه از این ترانس‌ها را بصورت کاسکاد بهم وصل نمود و برای ترانس‌های فشار قوی استفاده کرد دو ترانس عملی برای کمتر از ۱۰۰۰ KV [illegible]

- وقتی سیم پیچی شکاف یکپارچه است یک شکل بسته ای نداریم و سیم پیچ جبرانی شبیه همین شکل بسته است.

PAPCO

- جریان این ترانس‌ها کم است و بار آن‌ها معمولاً خازنی می‌باشد چون این ترانس‌ها برای آزمایش عایق دستگاه‌ها بکار می‌روند که این عایق‌ها تشکیل خازن می‌دهند: که برای جبران این بار خازنی در هر پله یک راکتور قرار می‌دهند همراه با این راکتور می‌توان فیلترهایی برای حذف هارمونیک‌های جریان نیز نصب کرد. - بهتر است جبران‌سازی قدری بیشتر از مقدار بار خازنی هم باشد تا کمی بار سلفی (اندوکتیو) شود چون در ترانس‌ها برای بارهای خازنی افت ولتاژ منفی داریم یعنی ولتاژ خروجی بیش از ولتاژ ورودی ضرب در نسبت تبدیل است.

پله‌ای cascaded
کاسکاد


ترانس آزمایشگاهی سه پله
جریان ندارد
Xe
یک توان می‌گذرد پس به اندازه خودش موثر است.
P
hv
3hv
coupling
سیم پیچ کوپلینگ
دارای ۲ برابر جریان ثانویه پس x آن ۴ برابر موثر است
توان 2P
2P
1:1
جریان مساوی دارند
سیم پیچ تحریک از شبکه به سیم پیچ تغذیه است با این تفاوت که تعداد کار است
HV
الف
سیم پیچ اولیه
تغذیه
3P
سیم پیچ ثانویه

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

- سیم پیچ coupling از نظر مکانی روی آخرین لایه سیم پیچ ثانویه قرار دارد و یک سر آن به سر خروجی سیم پیچ ثانویه وصل است. - هسته و بدنه هر پله به ابتدای سیم پیچ فشار قوی همان پله وصل است
- همچنین یک سر سیم پیچ اولیه به بدنه و هسته همان پله وصل است - پله‌های دوم، سوم و ... روی پایه‌های عایق قرار دارند.

فشار قوی کوپلینگ اولیه

n تعداد طبقات

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

$$1^2+1^2+1^2 \quad 1^2+2^2 \quad 1^2+2^2+3^2$$

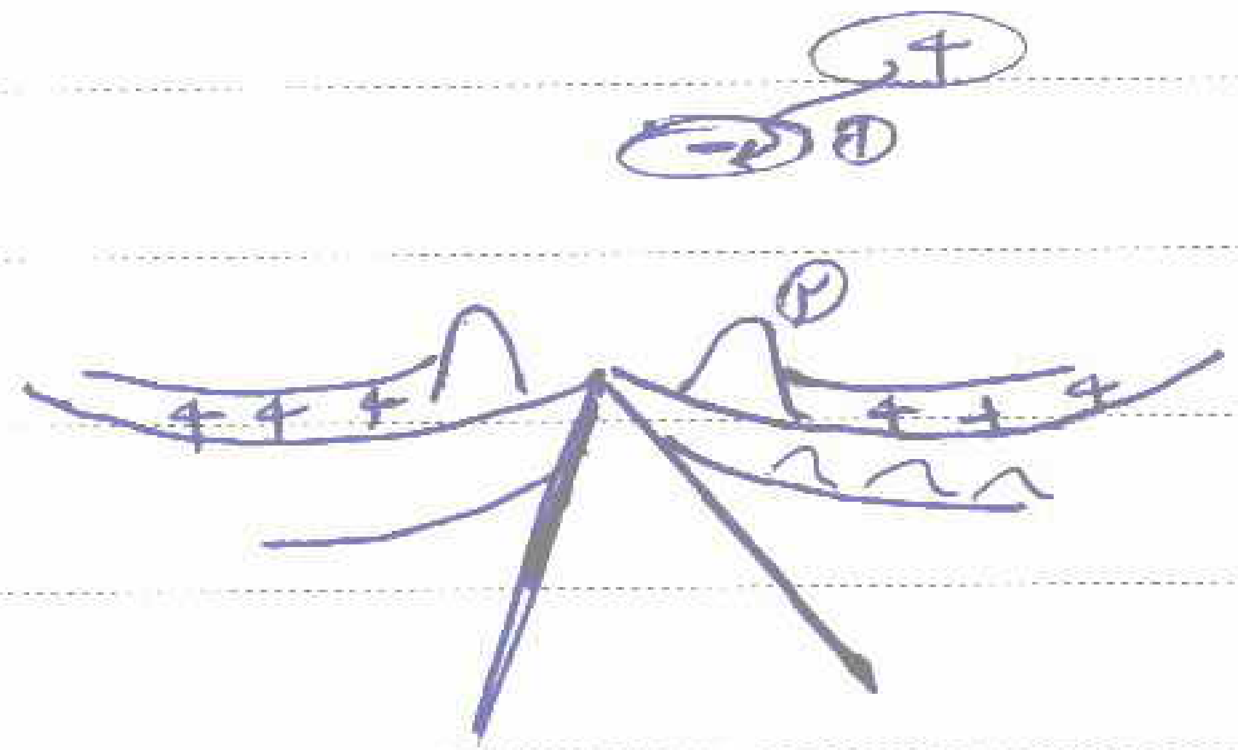
$$X_{res}=3X_h+5X_e+14X_p$$ برای ۳ طبقه

برای حل این مشکل باید طبقات پایین‌تر X شان کوچک‌تر باشد تا جریان بیشتر طبقات پایین‌تر مشکل‌ساز نباشد ولی اشکال این ایده

این است که خرید چند نوع اقتصادی نیست

تولید ولتاژ ضربه :

۱. ولتاژهای ناشی از سوئیچینگ (کلیدزنی) که [illegible] شکل یکسانی دارد

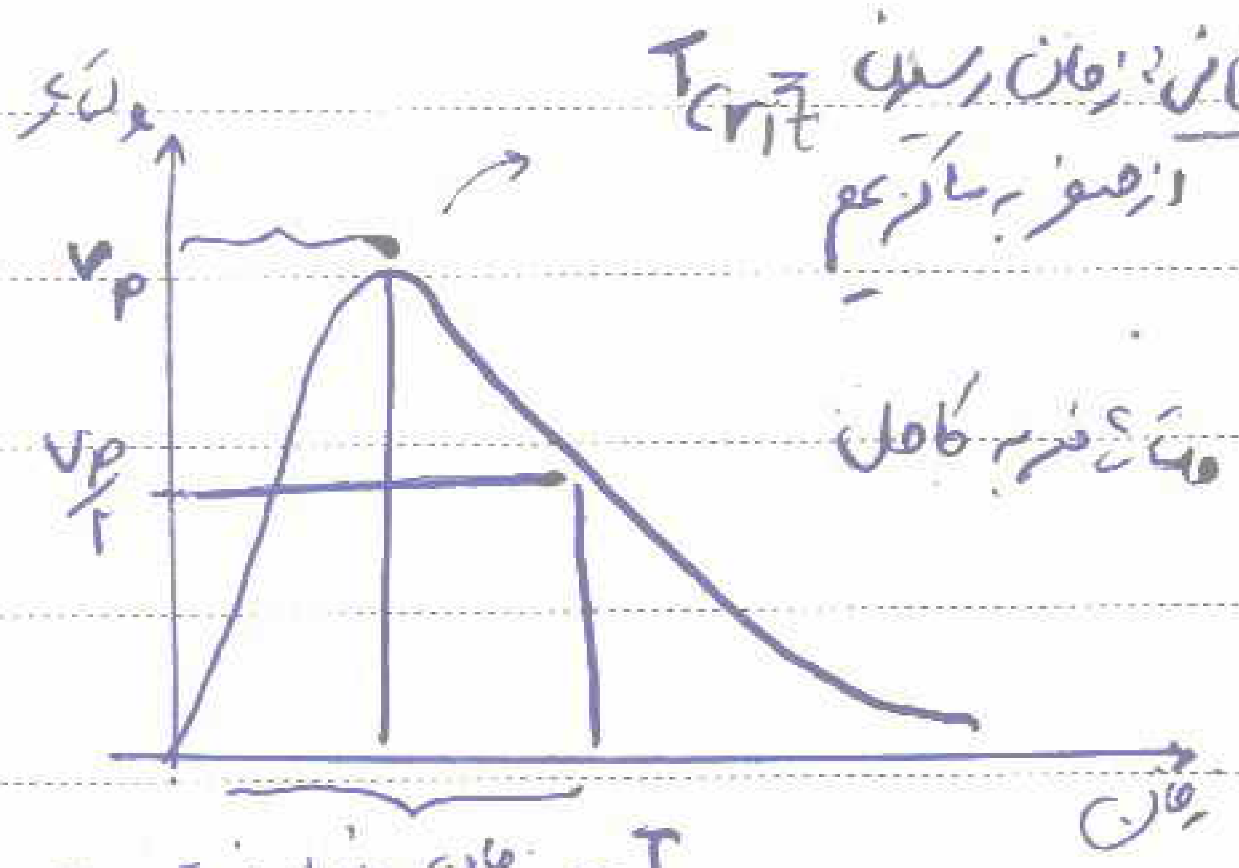


۲. ولتاژ ناشی از رعد برق

هیچ دو ولتاژ ضربه شبیه هم نیست و استاندارد آن به صورت زیر است :

- برای بدست آوردن استاندارد موج رعد و برق $\frac{1}{50}$ ($\frac{1.2}{50}$)

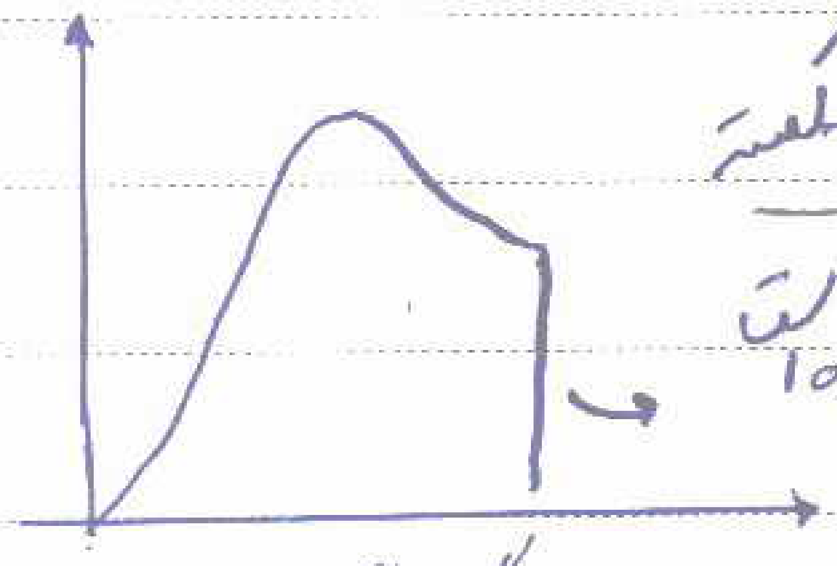
- برای تست کلیدزنی
$T_{cr} = 250\ \mu s$
$T_2 = 2500\ \mu s$



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

ولتاژ ضربه کامل

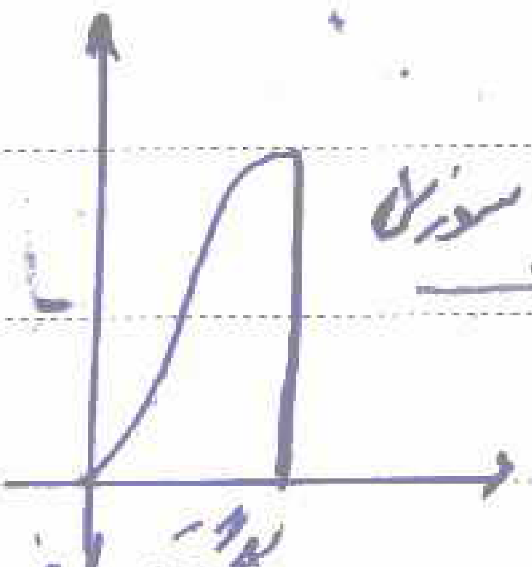
T_2 = زمان دنباله نصف موج یعنی زمانی که بعد از پیک ولتاژ به $\frac{V_p}{2}$ می رسد



ولتاژ ضربه شکسته

وقوع [illegible] شکست

در جا نصف موج شکسته



ولتاژ ضربه سوزنی

در جا قبل یا در ماکزیمم است

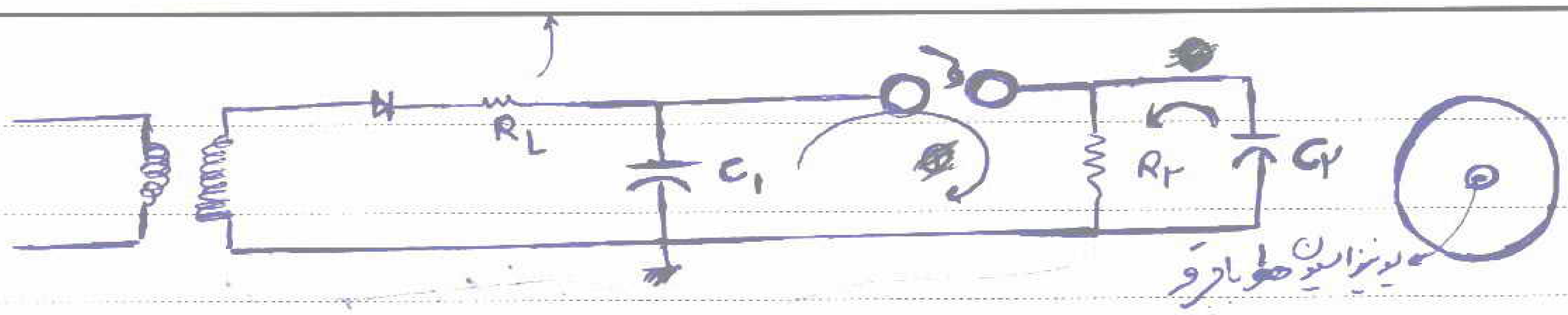
ولتاژ ضربه کامل :
V_p
T_{cr}
T_2 نصف موج دنباله

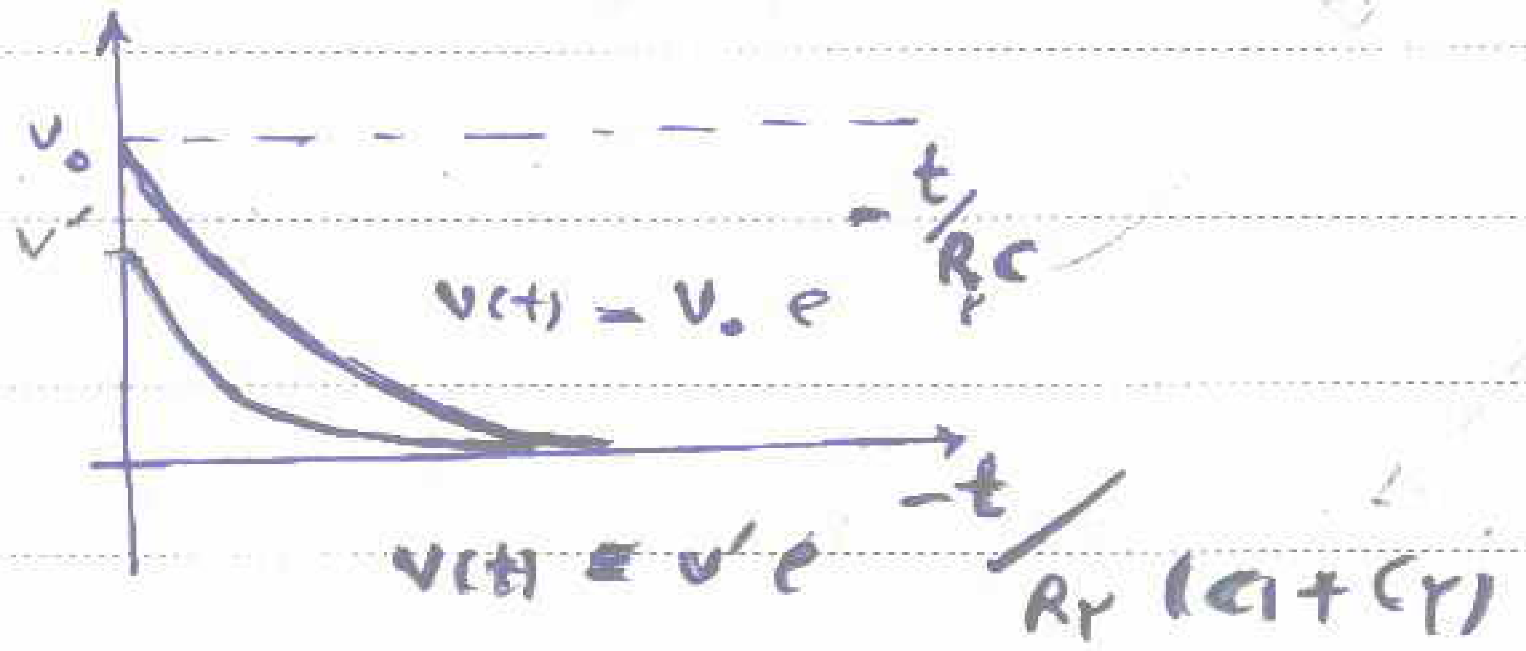
ولتاژ ضربه شکسته :
V_p
T_{cr}
T زمان از ابتدا تا زمان شکست

ولتاژ ضربه سوزنی :
V_p
T زمان تا شکست

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

مقاومت بارگیری نقش محدود کردن جریان را دارد


R_L
C_1
R_2
C_2
یونیزاسیون هوا بارور



(با سلف و با خازن بار را خنثی کنند 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)

بایستی بار

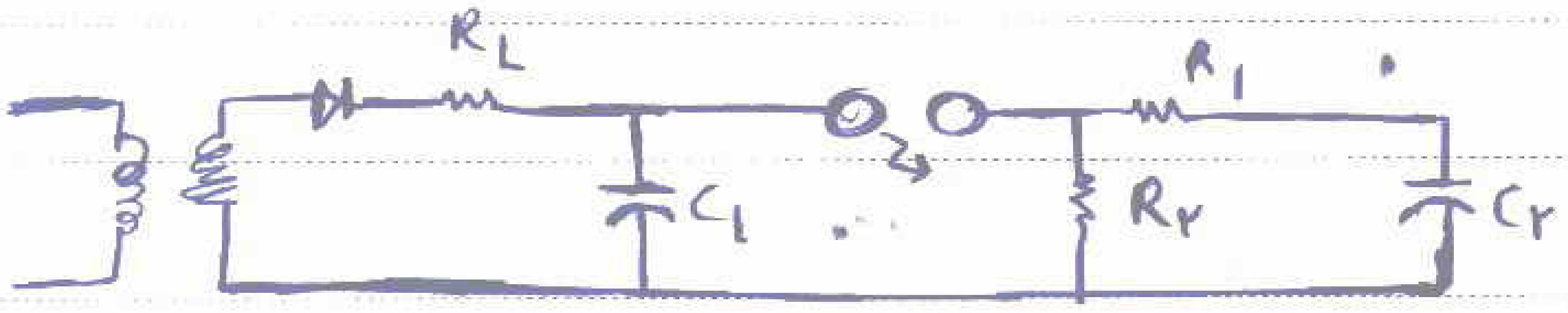
$$Q = C_1 V_0 = (C_1 + C_2) V' \longrightarrow V' = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_0$$

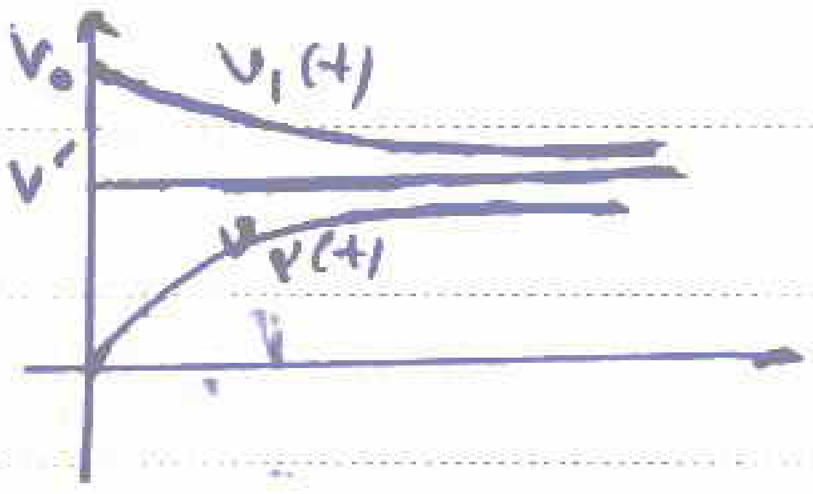
بار که مقدارش ثابت است

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

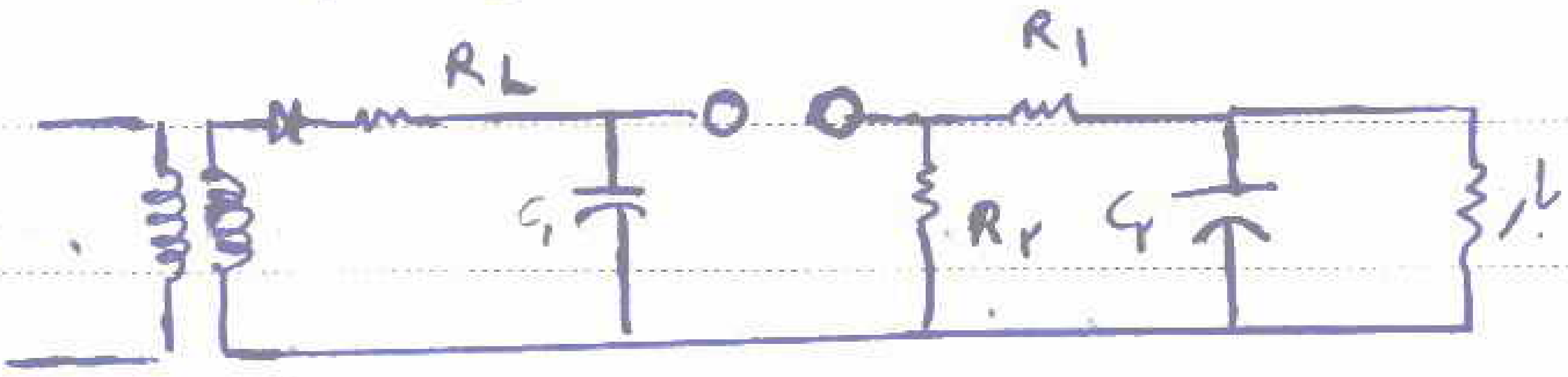
انرژی

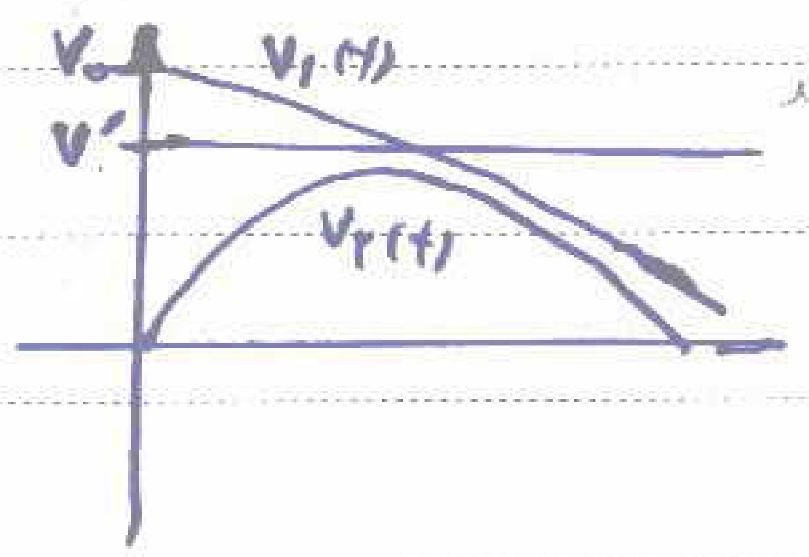
مقدار انرژی که کم شده صرف حرارت و یونیزاسیون بین دو کره شده است


R_L
C_1
R_1
R_2
C_2



وقتی R_1 نباشد


R_L
R_1
C_1
R_2
C_2
بار

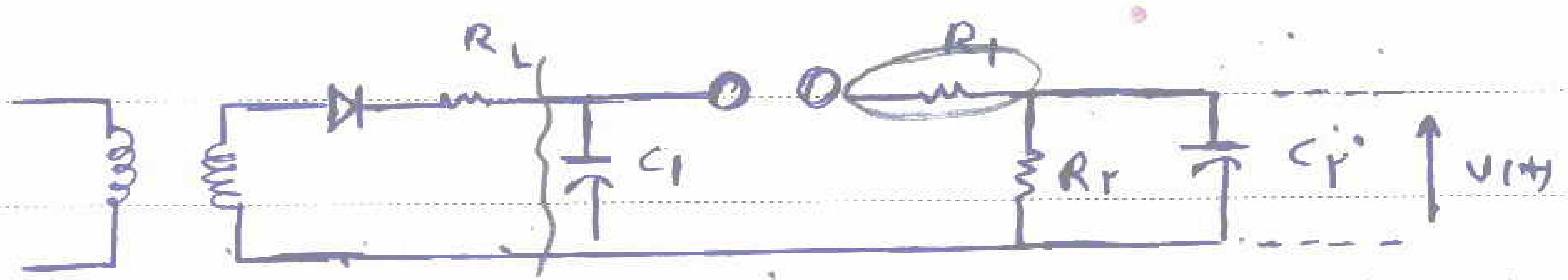


وقتی R_1 باشد

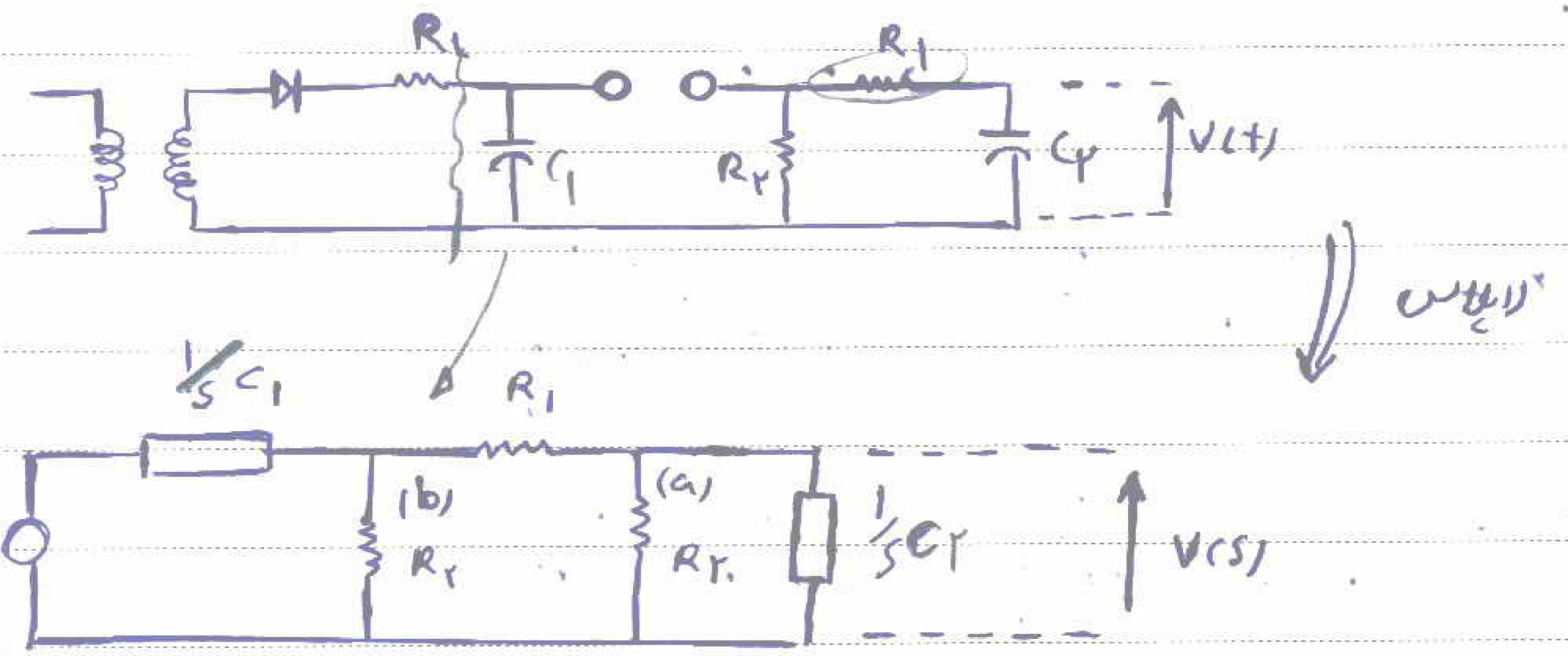
PaPCO

Subject: ۷
Year. Month. Date. ( )

(a)


R_L
R_1
C_1
R_2
C_2
$v(t)$

(b)


R_L
R_1
C_1
R_2
C_2
$v(t)$
$1/sC_1$
R_1
V_0/s
(b)
R_2
(a)
R_2
$1/sC_2$
$V(s)$

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

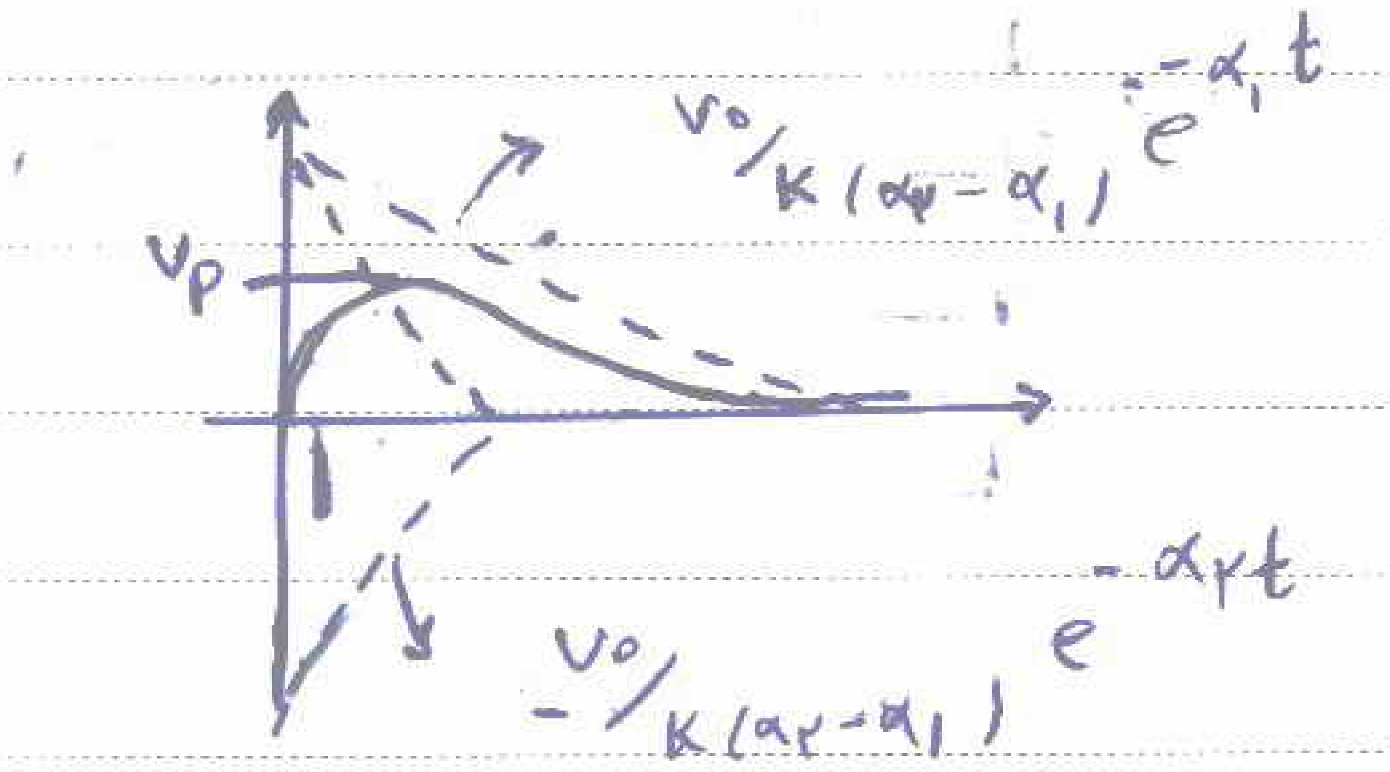
$$V(s) = \frac{V_0}{K}\,\frac{1}{s^2+As+B}$$

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

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

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

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



$\eta = \frac{V_p}{V_0}$ (بازده)

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

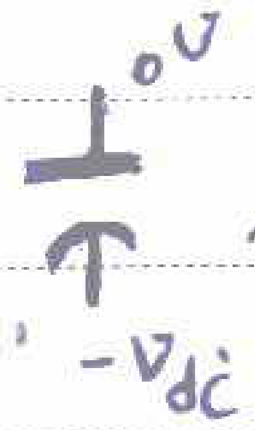
$$t_{max} = t_{cr} =$$ مقدار مورد نظرمان می‌گذاریم

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

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

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

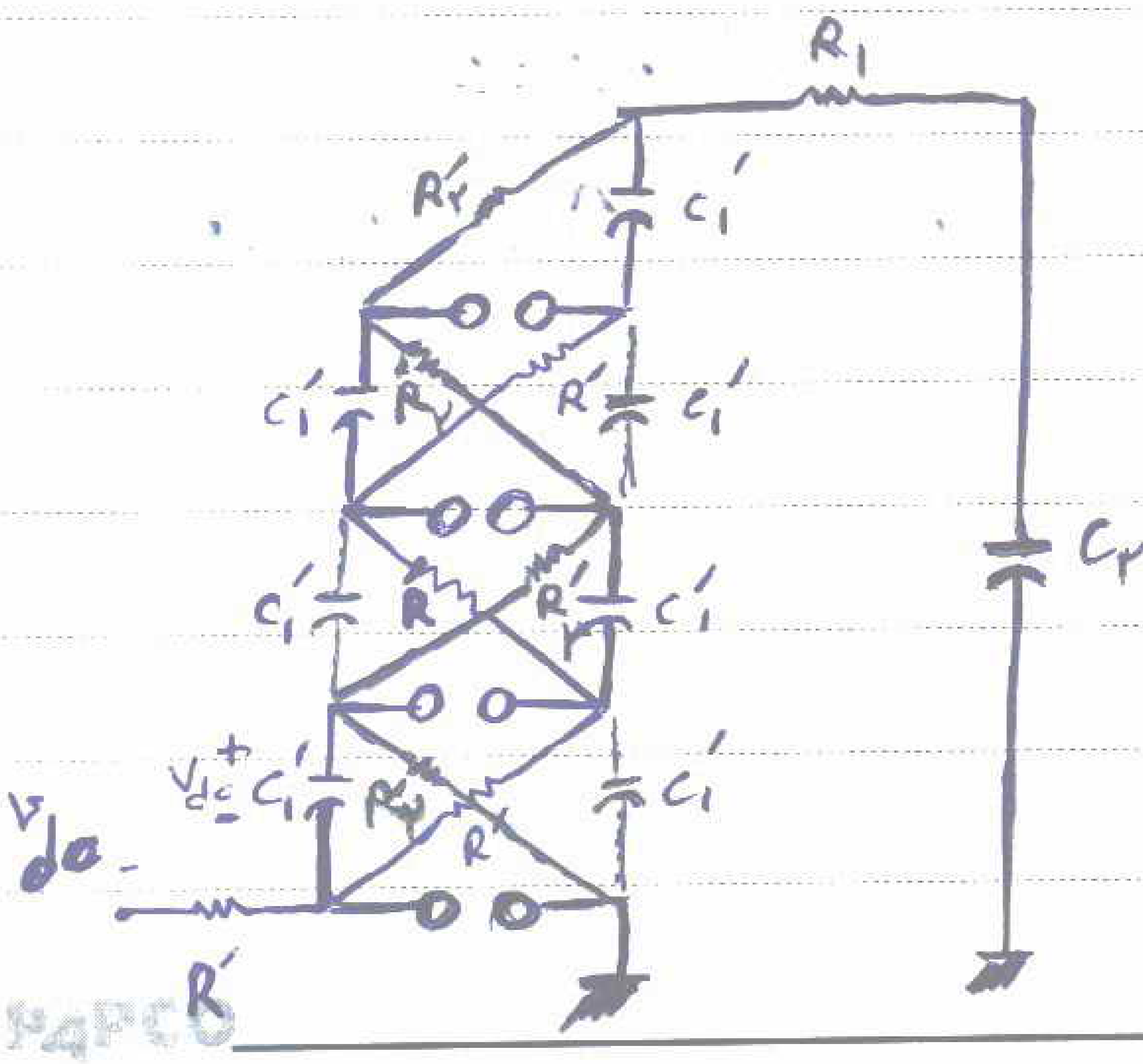
B) $$\eta_B \approx \frac{C_1}{C_1+C_2} = \frac{1}{1+\frac{C_2}{C_1}} \qquad \eta_B > \eta_A$$



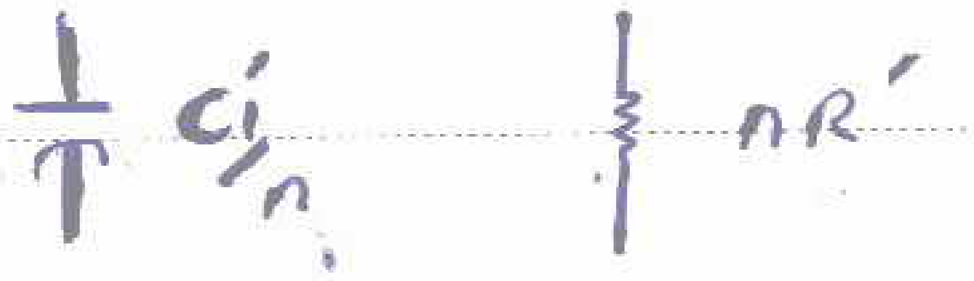
هر یک خازن شارژ می‌شوند طوری که

جرقه‌زدن پایین‌ترین کره‌ها باعث جرقه کره‌های دیگر هم می‌شود

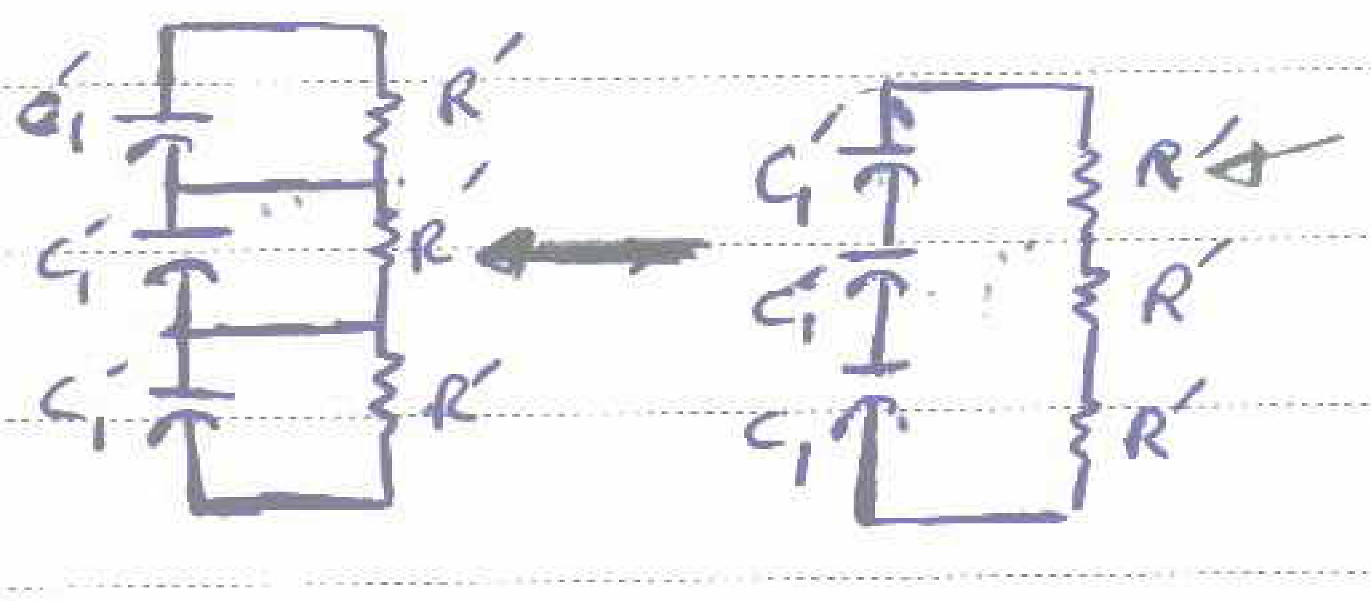
مولد ضربه مارکس
Marx Generator



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

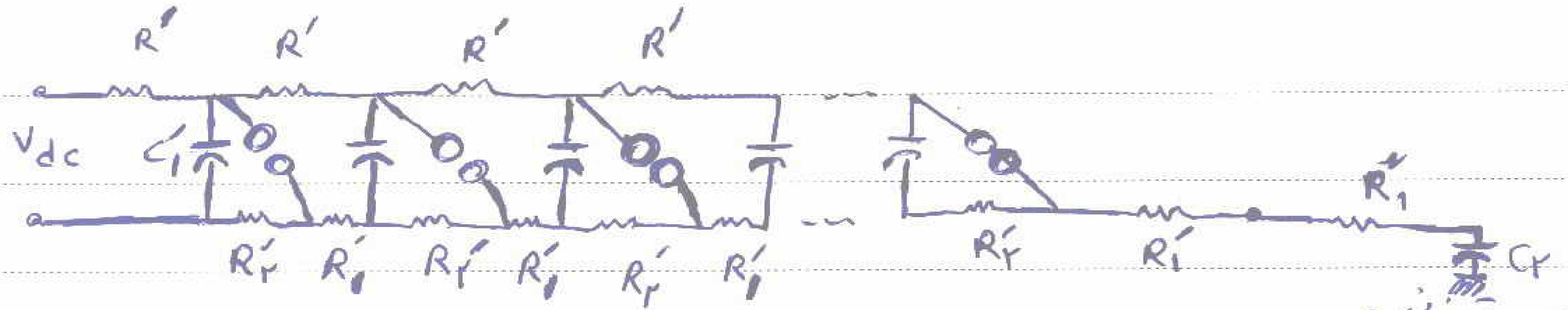


می‌شوند.



n طبقه بالا سطح ولتاژ nV_{dc} خواهد شد.

P4PCO


R'
R'
R'
R'
V_{dc}
C_1'
R_2'
R_1'
R_2'
R_1'
R_2'
R_1'
R_2'
R_1'
R_1''
C_2

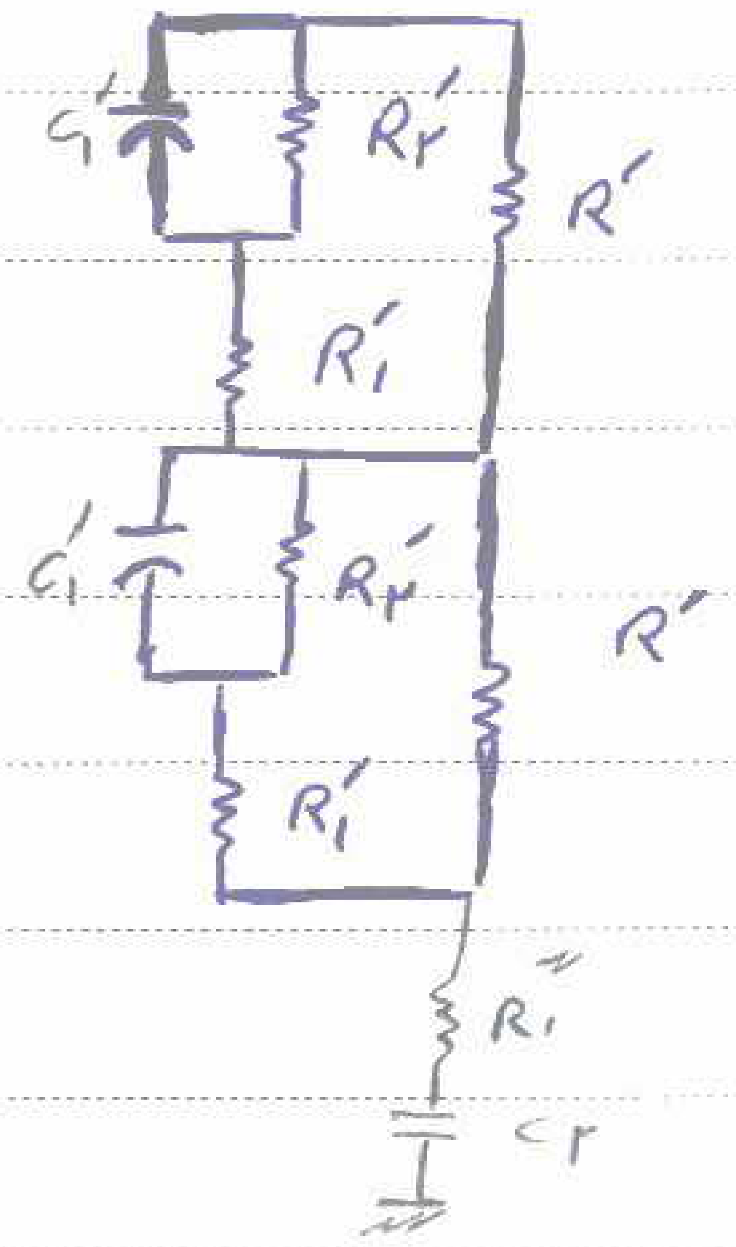
بعد از جرقه زنی :

ضمن اینکه مقاومت‌های R_2' با C_1'ها موازی می‌شوند

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''
C_2

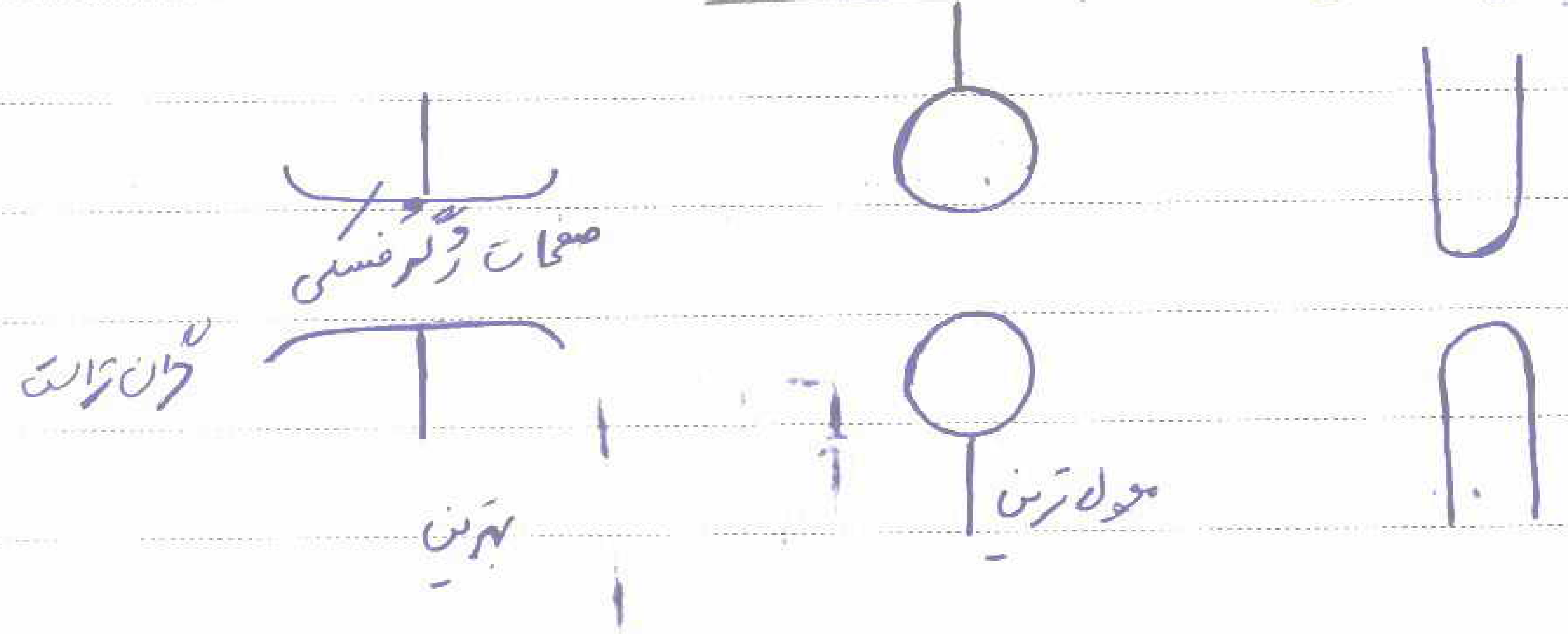
Subject:
Year. Month. Date. ( )

اندازه گیری ولتاژ فشار قوی :

فاصله هوایی برای اندازه گیری پیک بکار می رود
مقدار ماکزیمم
در انواع ولتاژها

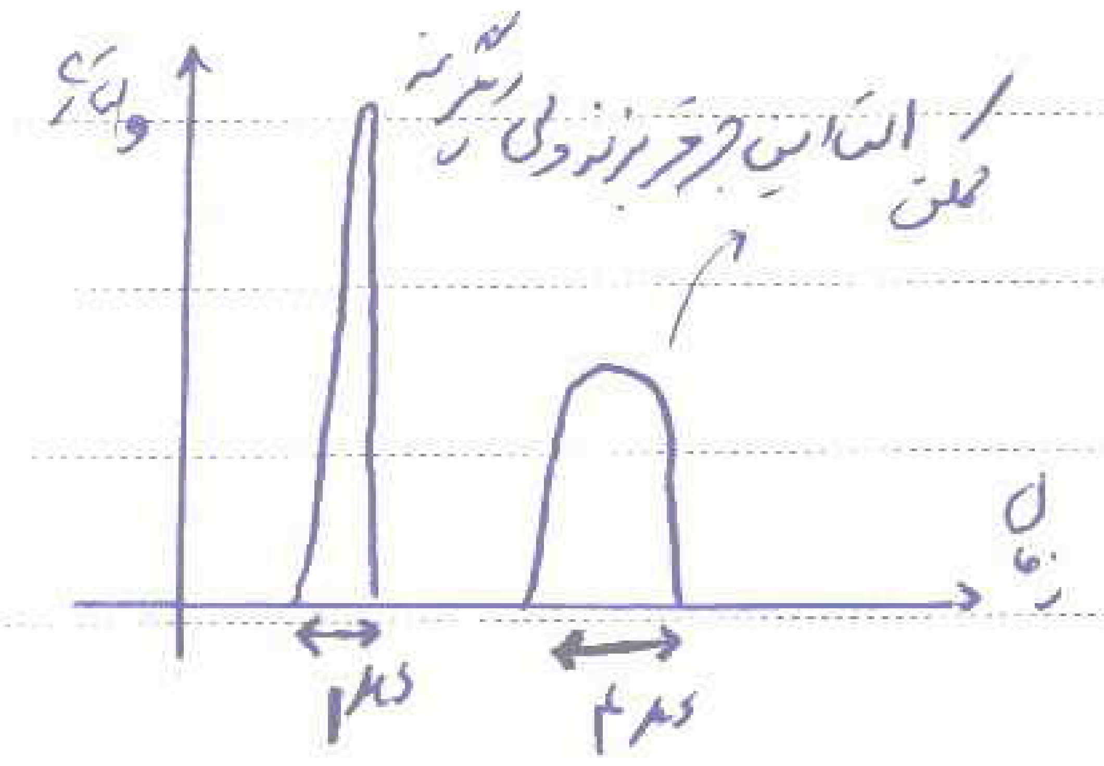
- فاصله هوایی : یکی از مهمترین روش های اندازه گیری

استقامت عایق با شدت میدان الکتریکی که می تواند تحمل کند متناسب است نه شدت ولتاژ



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

سطح کره ها و یا صفحه ها باید کاملاً تمیز باشد ، در یک میلیمتر فاصله ای دور شان چربی نباید باشد تا روی میدان اثر نگذارند

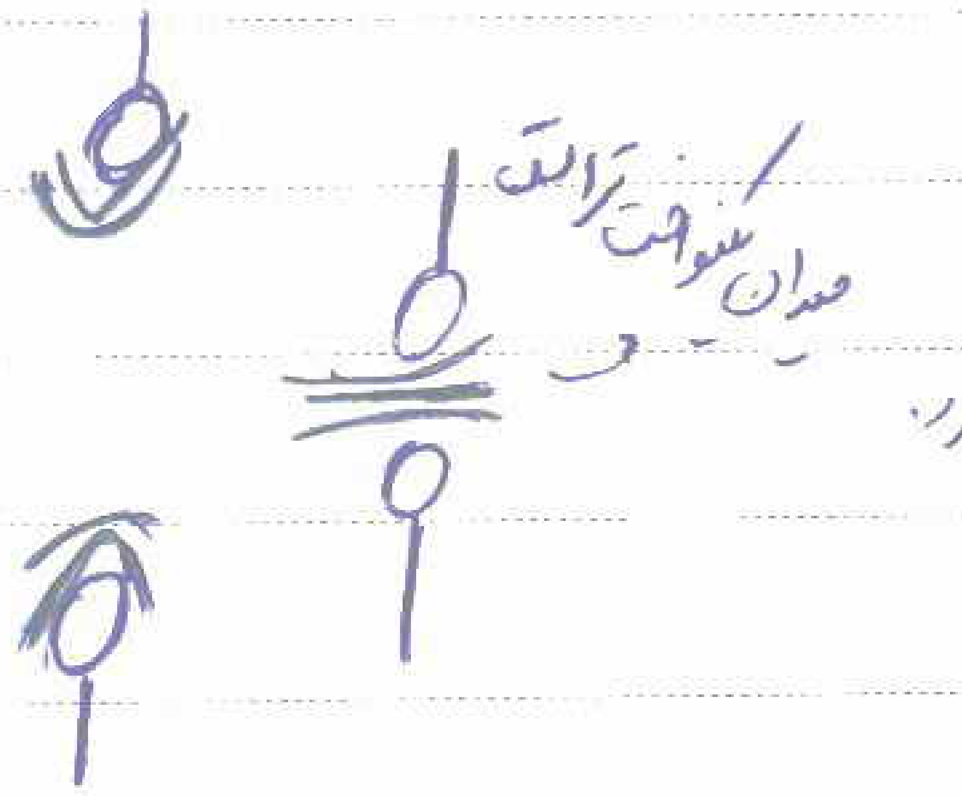


فاصله ی هوایی برای اندازه گیری پیک ولتاژ بکار می رود

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

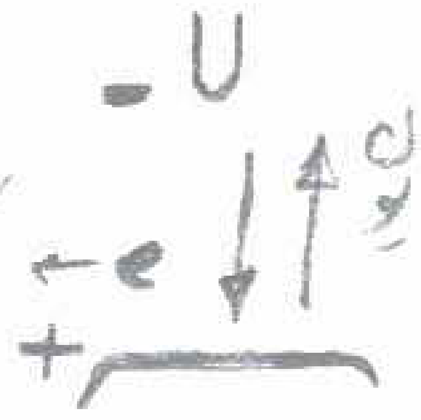
وقتی می خواهیم اندازه گیری ولتاژ انجام دهیم هر چقدر شدت میدان یکنواخت تر باشد بهتر است . به همین دلیل کره های با قطرهای مختلف وجود دارد که هر کدام برای فاصله های مختلف و ولتاژهای مختلف ایده آل اند.

(دقیقاً در شکل روبرو) این کره تا یک فاصله ی مشخصی دقیق است و دقت اندازه گیری دارد



PAPCO

پس نوک تیز خودش را از دست می‌دهد ← تولید یون ← برخورد ← یون
و پخ می‌شود



الکترون چون جرم کمی دارد [illegible] نمی‌شود

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 جرقه زنی را داریم.

در ولتاژ AC زمان لازم برای جرقه زنی را تقریباً داریم.

ولی در ولتاژهای ضربه زمان لازم برای جرقه زنی را نداریم.

پس مقادیر برای ولتاژهای AC و DC و ضربه فرق دارد.

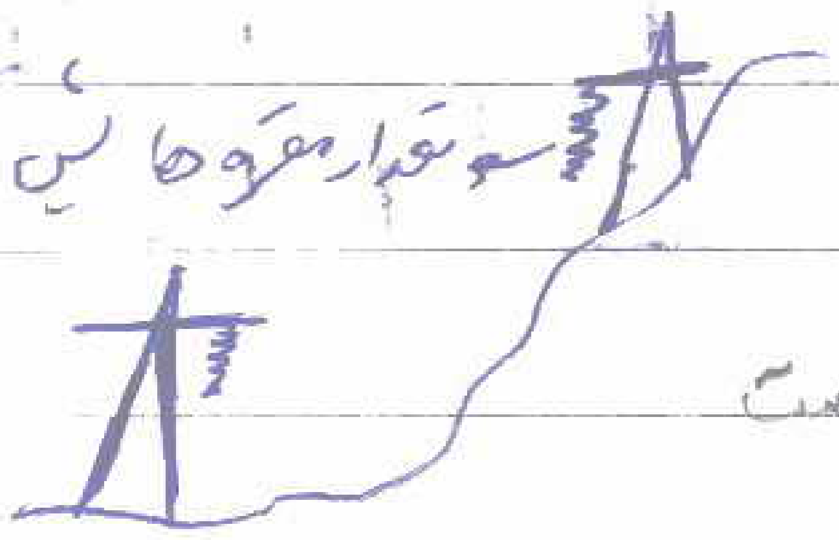
در حالت دو کره و دو صفحه در پلاریته‌های مختلف ولتاژ DC نباید ولتاژ شکست زیاد فرق کند. اول در سوزن صفحه فرق مشهود است.

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

استقامت الکتریکی 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

δ چگالی نسبی

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

رطوبت بصورت ایده آل یعنی کاملاً بصورت گاز باشد.

۱. بخار آب ایده آل استقامت را افزایش می‌دهد ولی در عمل چون بخار ایده آل نیست و دارای ذرات آب است استقامت کاهش می‌یابد.

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

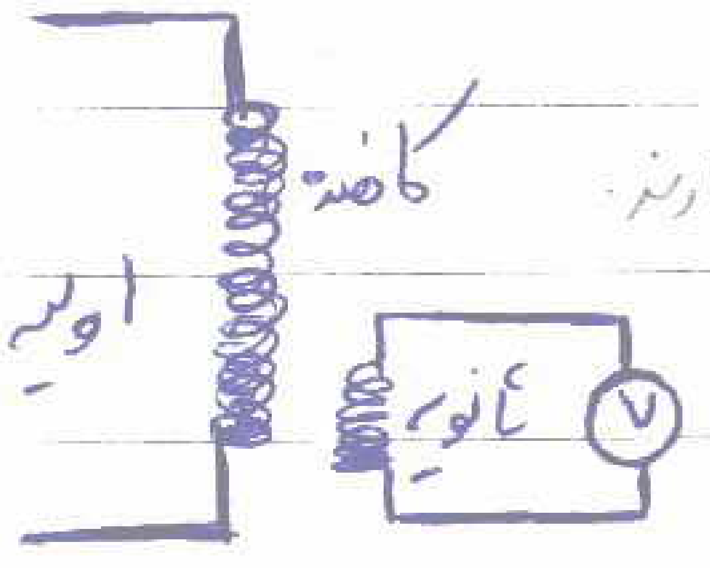
۳. پلاریته ولتاژ بر استقامت الکتریکی تأثیر دارد.

۴. تشعشع یا 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 ولتاژ متناوب در AC:

PT:



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

$q = It$

مقسم ولتاژ:

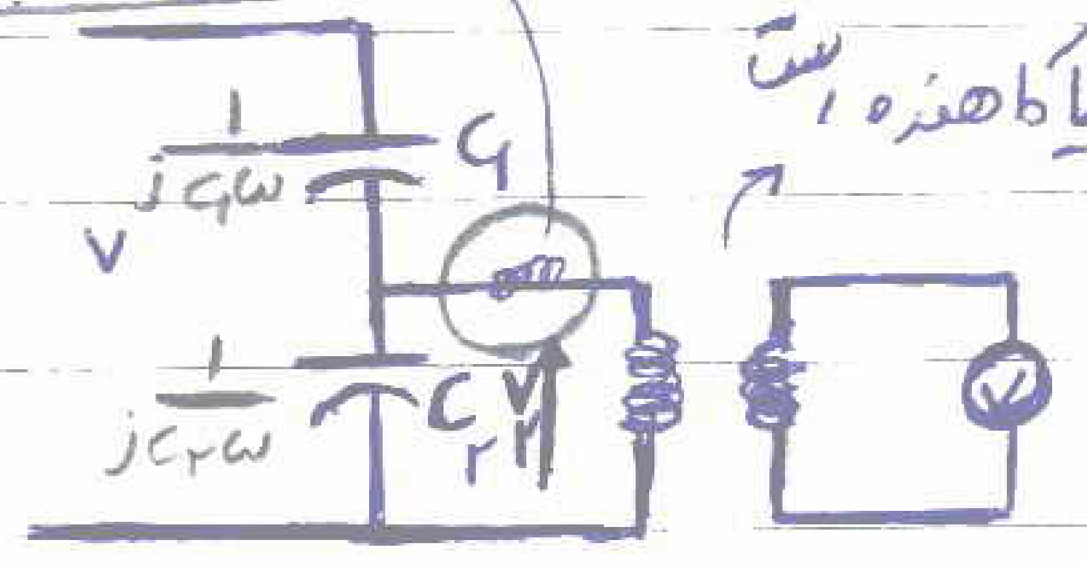
خازن‌ها برنسبت عکس امپدانس‌شان ولتاژ دارند.

برای مقاومت برنسبت خود امپدانس‌هاشان ولتاژ دارند

سلفی است برای جبران‌سازی اثر خازنی استفاده شود

۱:۱ یا کاهنده است

CVT



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

اگر ۱:۱ 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

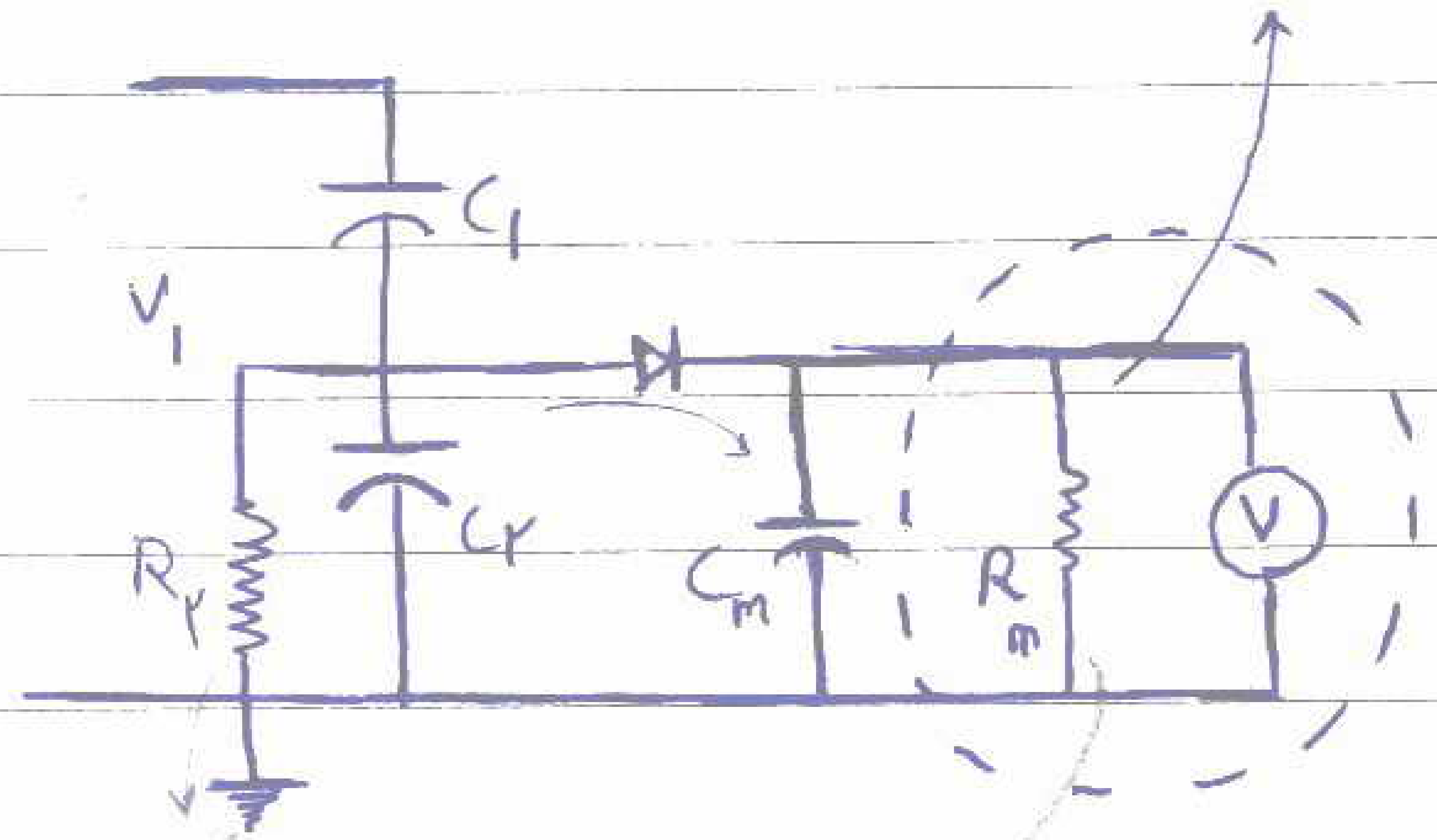
mean rms

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

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

Subject: ۱۰ Date: / /

با مقاومت خودتاق یا بار با مقاومت خود ولتمتر



معادل

این مدار برای اندازه‌گیری پیک ولتاژ است.

می‌توانیم از آن تا پیک ولتاژ اندازه‌گیری کرد

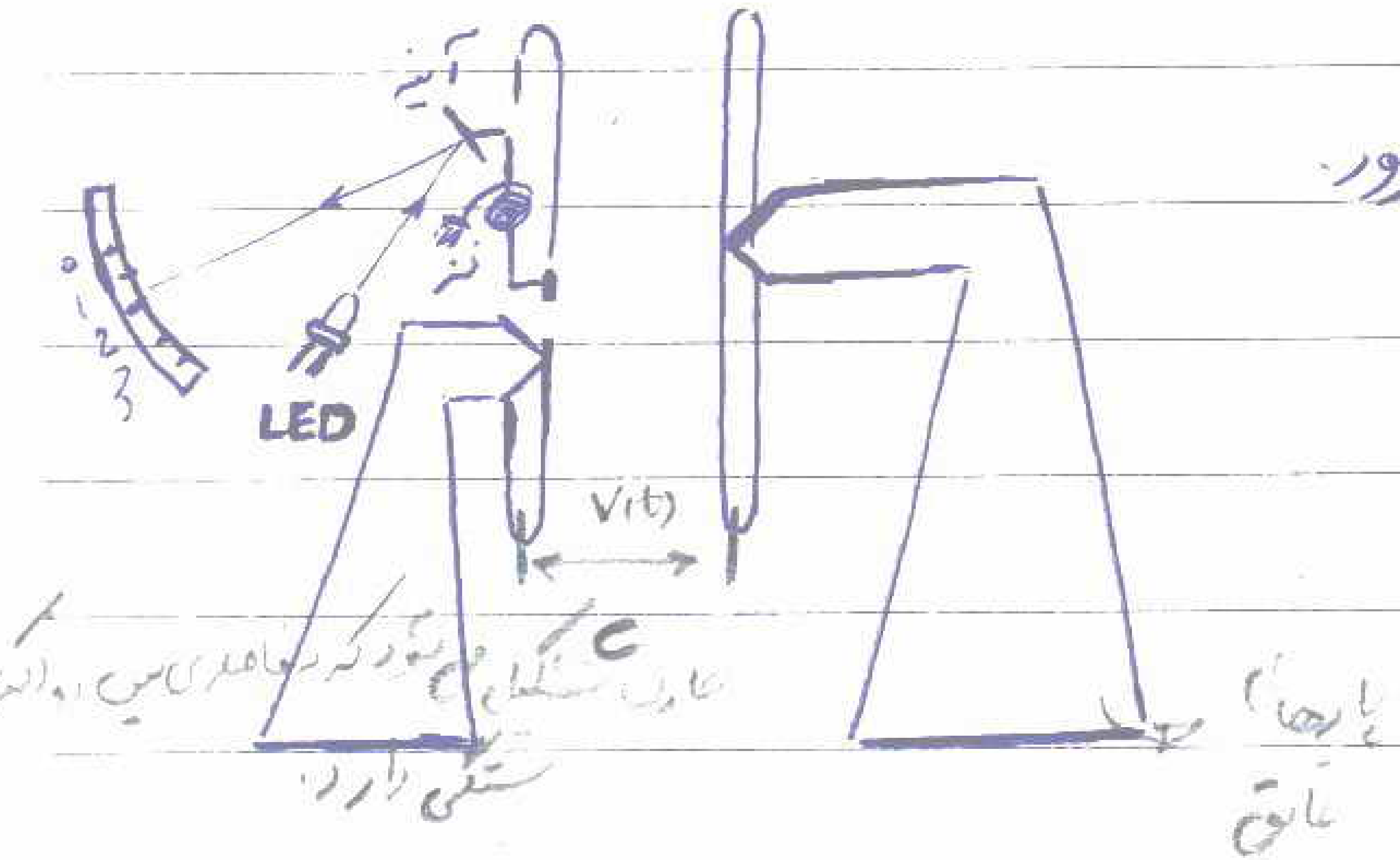
برای اینکه شیر خازن [illegible] بسته نشود لازم است

این مقاومت ضروری نیست

R۲ که مسیر بار لازم را تأمین می‌کند به عنوان مقاومتی برای بستن مدار لازم است.

اندازه‌گیری ولتاژ توسط ولتمتر الکترواستاتیک:

می‌توانیم برای اندازه‌گیری ولتاژ AC و هم ولتاژ dc به کار برود.



خازن شکل می‌گیرد که فاصله بین دو الکترود هم بستگی دارد

آینه به اندازه α بچرخد، اشعه نوری به اندازه ۲α می‌چرخد و هرچه فاصله بیشتر باشد دقتش بیشتر خواهد شد.

$$W(t) = \frac{1}{۲} C V^{۲}(t)$$

نیروی وارد بر صفحه

$$F = -\frac{1}{۲} \frac{dC}{dx} \boxed{V^{۲}(t)}$$

یا

$$F = -\frac{dW}{dx} \qquad |F| = \frac{\epsilon A \boxed{V^{۲}}}{۲}$$

مقدار متوسط مجذور = مجذور rms

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

- اندازه دستگاه به مجذور بستگی دارد

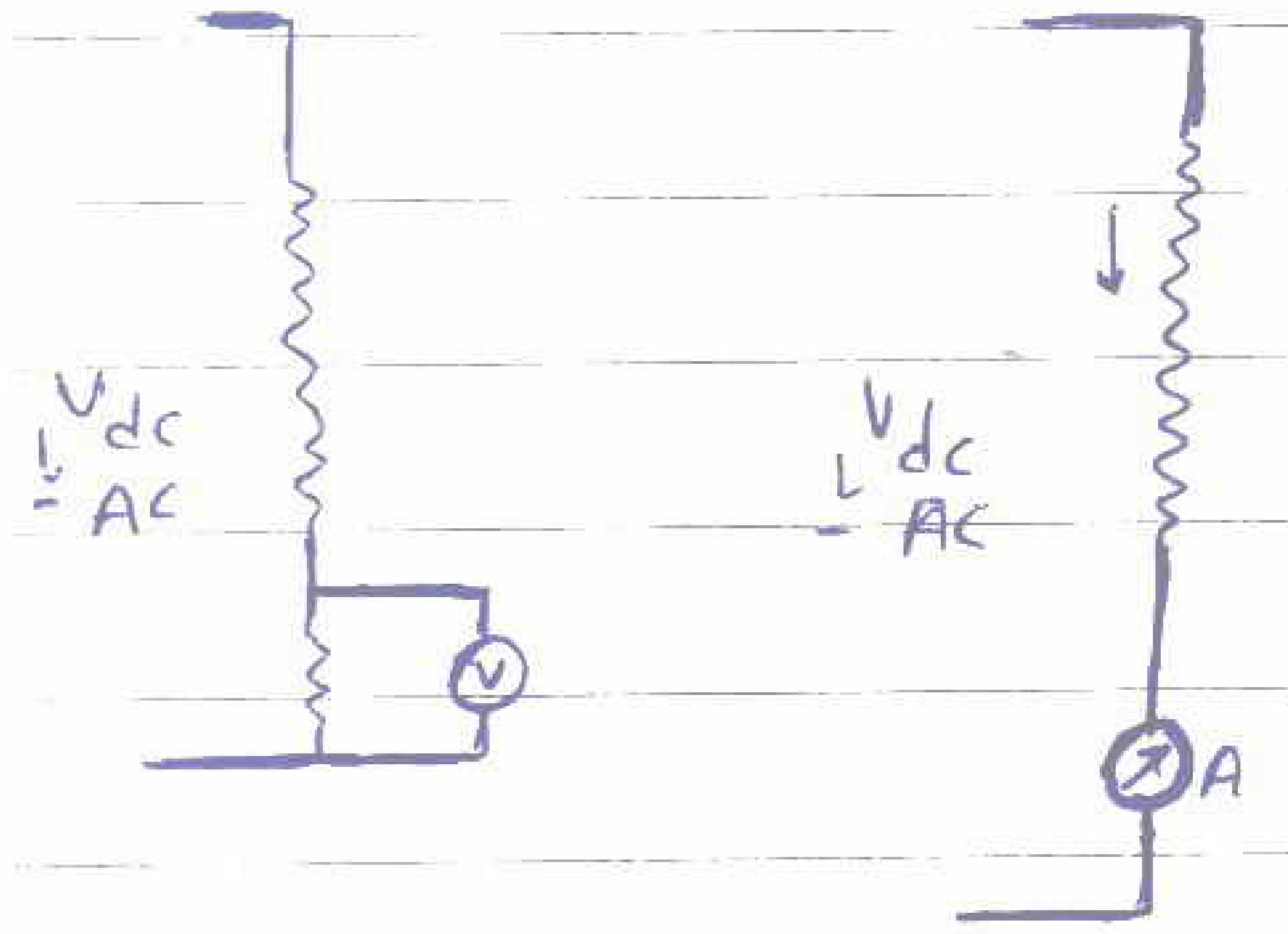
این دستگاه برای ولتاژهای ac/dc به کار می‌رود

اما مقدار موثر ولتاژ dc اندازه می‌گیرد

آن برابر است

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

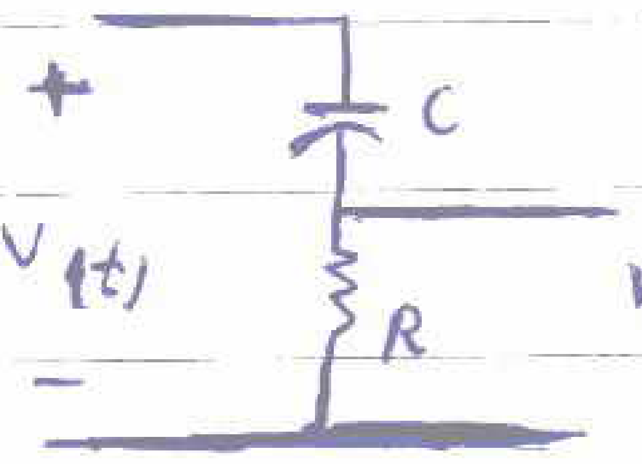
اندازه گیری ولتاژ زیاد به کمک اندازه گیری جریان :


Vdc
یا
AC
V
Vdc
یا
AC
A

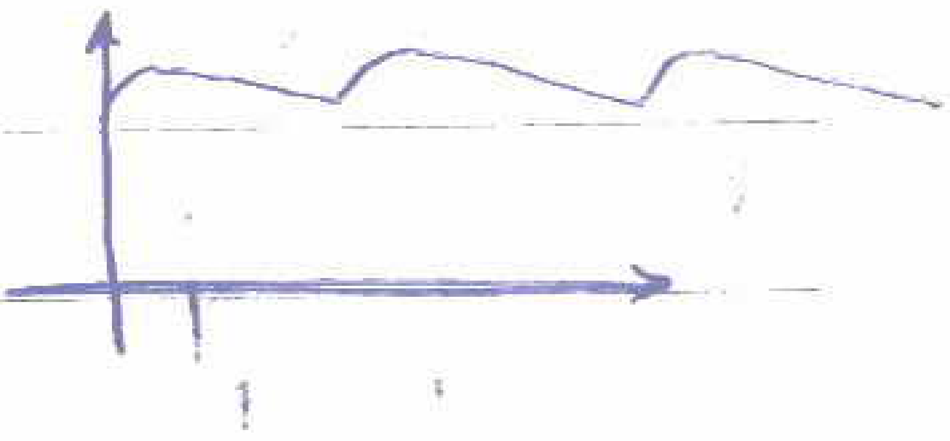
ولتاژ کم نشان می دهد دستگاه پیچ آمپرمتر دارد که هم

می تواند معرف منبع باشد هم موثر سنج

ریپل
اندازه گیری ناهمواری ولتاژ DC :



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

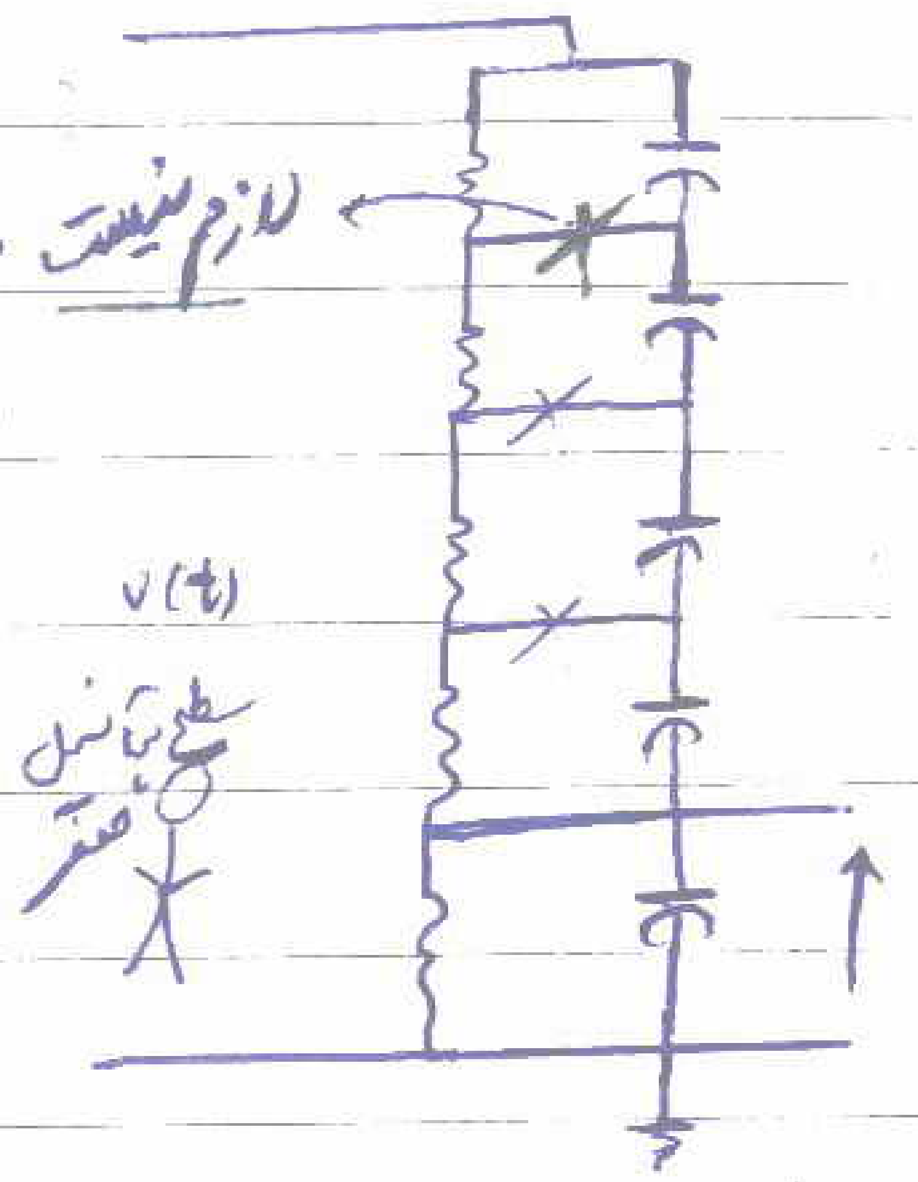


f=0 یعنی
برای ولتاژ dc کامل
۲) $f=0 \rightarrow \omega = 0$ $\rightarrow$ $V_2(t) = 0$ ریپل = 0

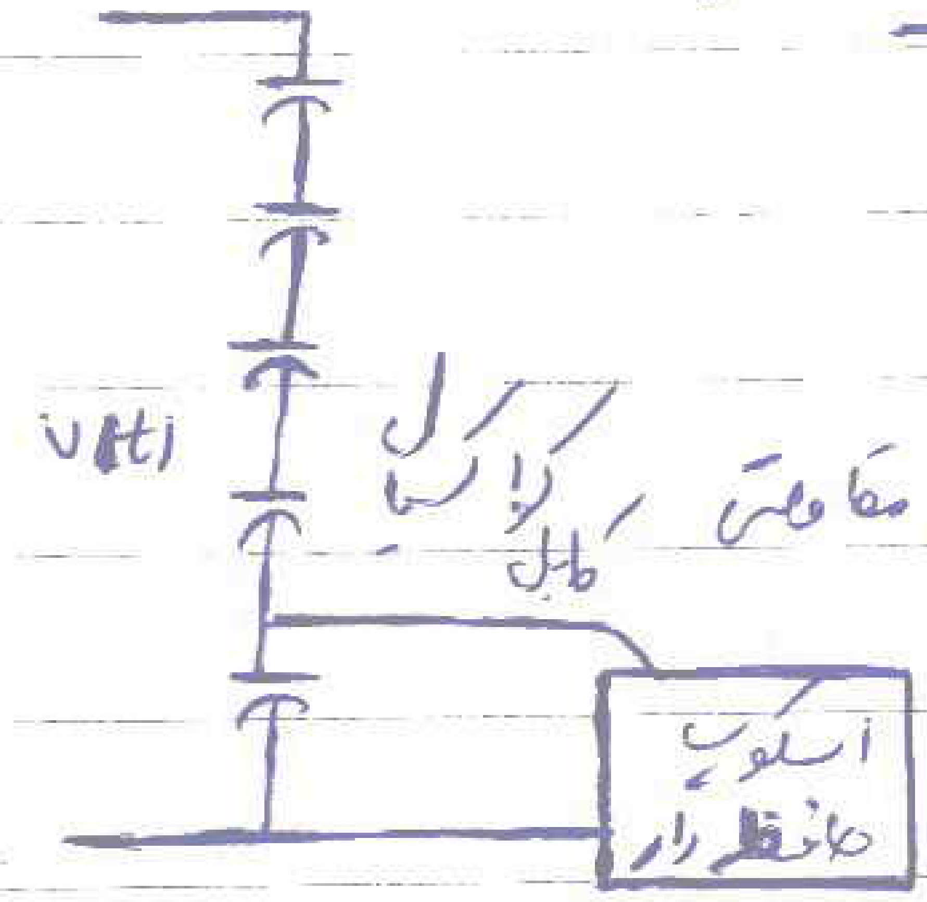
$j\omega CR \gg 1 \longrightarrow V(t) \approx V_2(t)$ یعنی کشش dc روی خازن افتد

و کشش AC روی مقاومت به شرطی فرکانس خیلی کم نباشد

اندازه گیری ولتاژ ضربه :


V(t)
سطح پتانسیل صفر

لازم نیست چون اگر باشند
جریان گریشی 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 تأثیر محیط اطراف
کمتر است

[illegible]

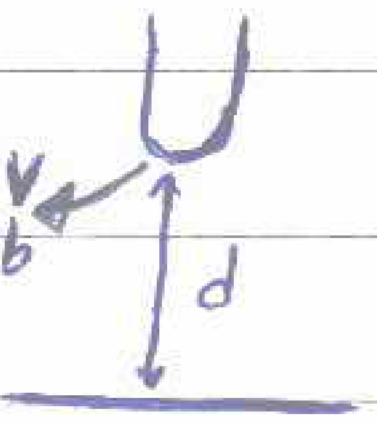
— خازن های سرامیکی می‌توانند برای ولتاژهای ضربه که sharp اند مثل اتصال کوتاه عمل نمایند.

Subject: ZnO SiO_2 Date: / /

وضعیت میدان های الکتریکی در عایق ها:

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 [illegible]) [illegible] میدان [illegible] ماکزیمم شود

$E_{mean} = \frac{V_b}{d}$ ولتاژ دو الکترود / فاصله دو الکترود

میدان متوسط

میدان ماکزیمم

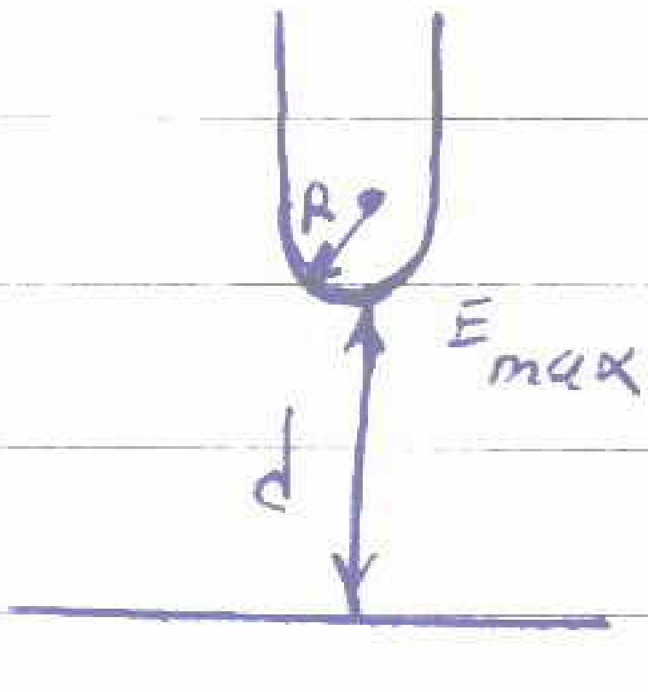
$E_{max} = \frac{V_{max}}{d}$

یعنی هر چه قدر میدان بین الکترودها یکنواخت‌تر باشد ولتاژ قابل تحمل عایق بالاتر خواهد بود. یعنی η به ۱ یا 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

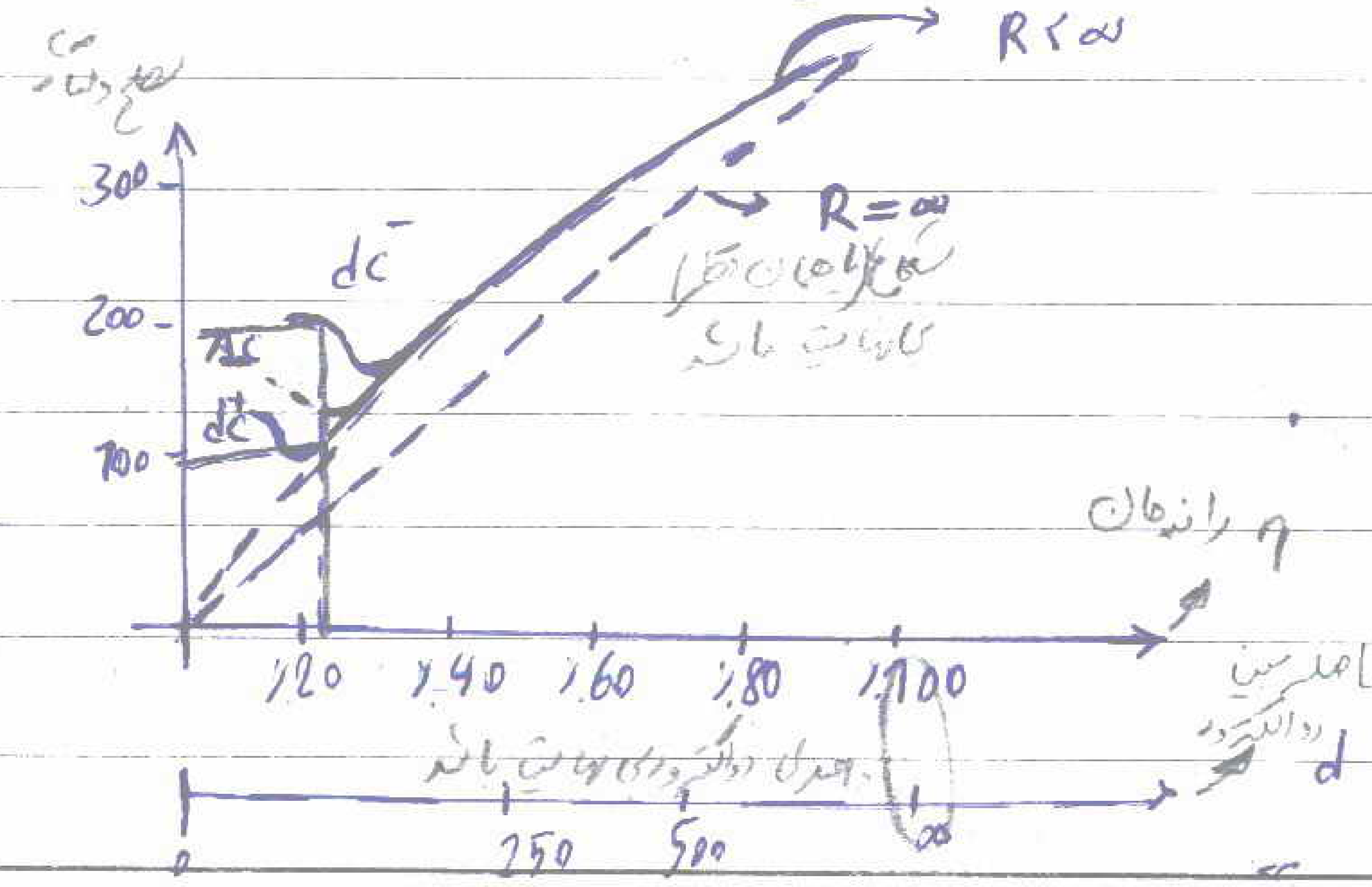
$V_b = 26.6\ kV/cm$ → با راندمان ۱۰۰٪



هر چه قدر R بزرگتر شود میدان یکنواخت‌تر خواهد بود.

در حقیقت نهایت است صفحه صفحه است یعنی راندمان ۱۰۰٪ است.

وقتی R را ثابت منحنی راندمان را هم بکشیم



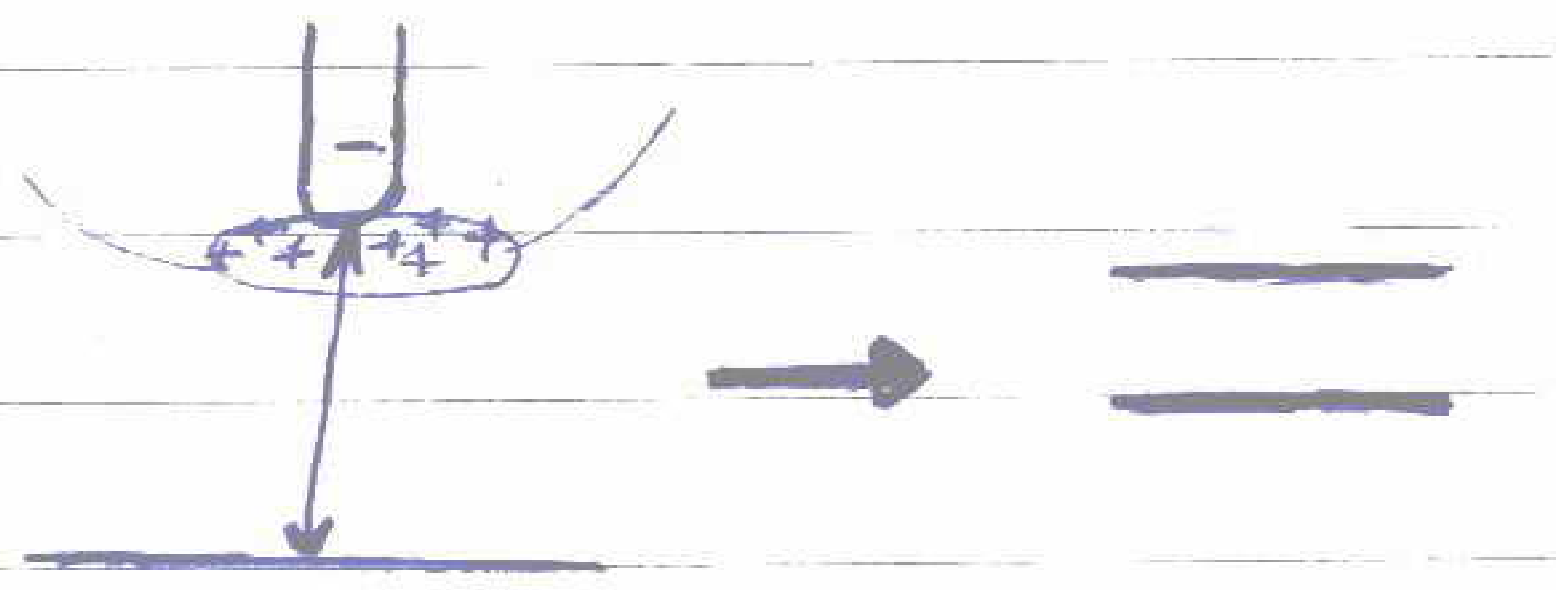
breakdown $V_b^- > V_b^+$

یعنی ولتاژ dc^+ استقامت اش کمتر خواهد شد

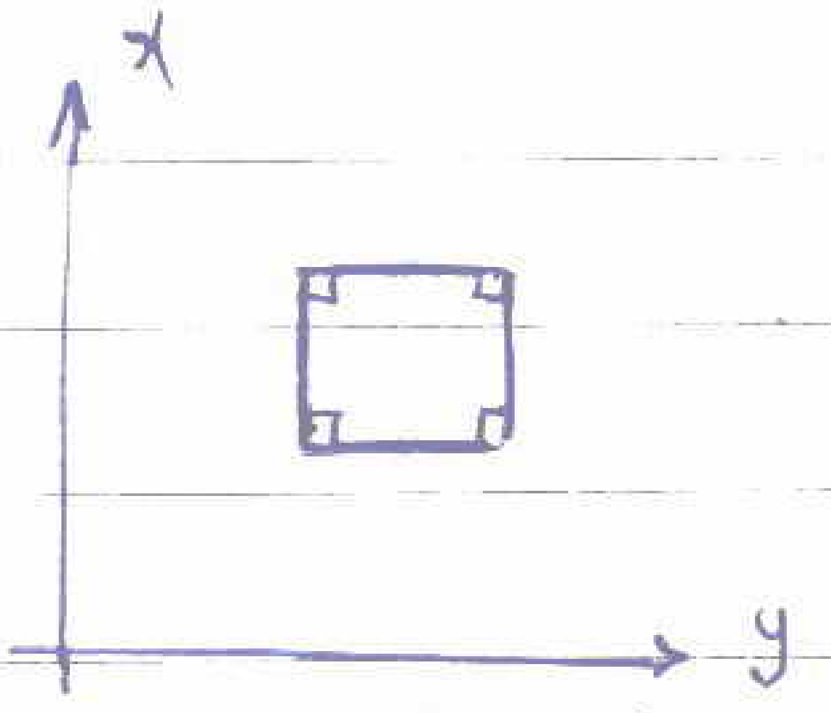
Subject: زمانی که پلاریته سوزن منفی باشد (چون الکترود بالایی است یعنی تیغ ۷) -   Date: / /

چون یون ها وزن شان سنگین است و سرعتشان کمتر است پس یک تجمع از یون ها را اطراف سوزن خواهیم داشت.

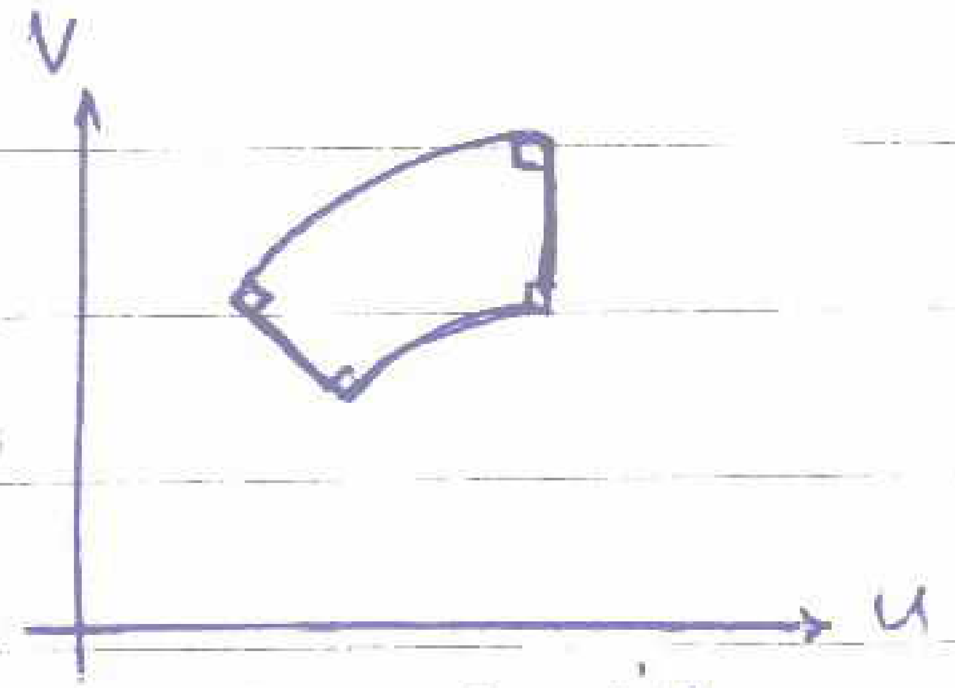
- چون آنقدر شعاع بزرگ تر می شود که سوزن خودش به خودی خود صاف خواهد بود و تجمع یون ها تأثیری نخواهد داشت.



روش های 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)

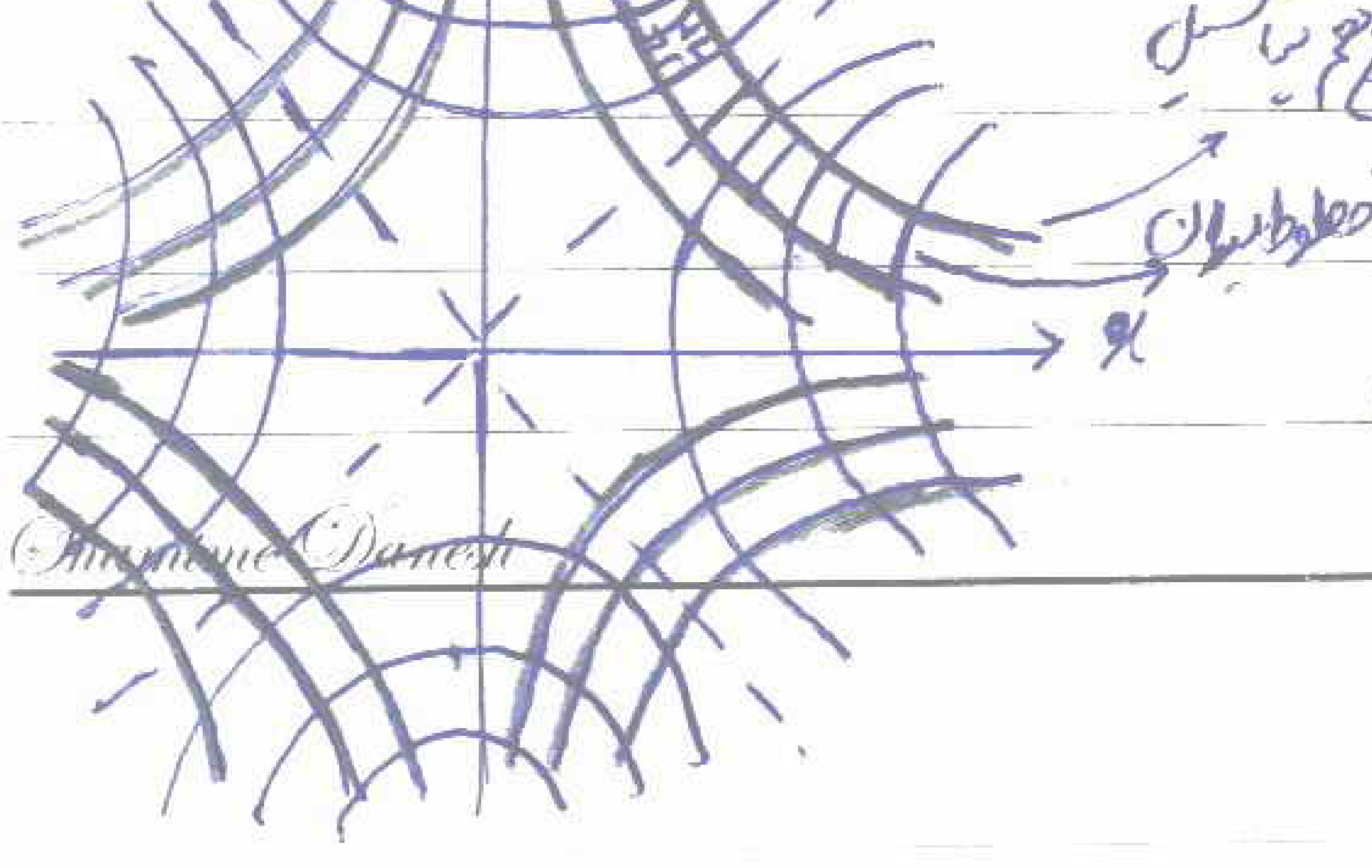
$$w(z) = z^2$$

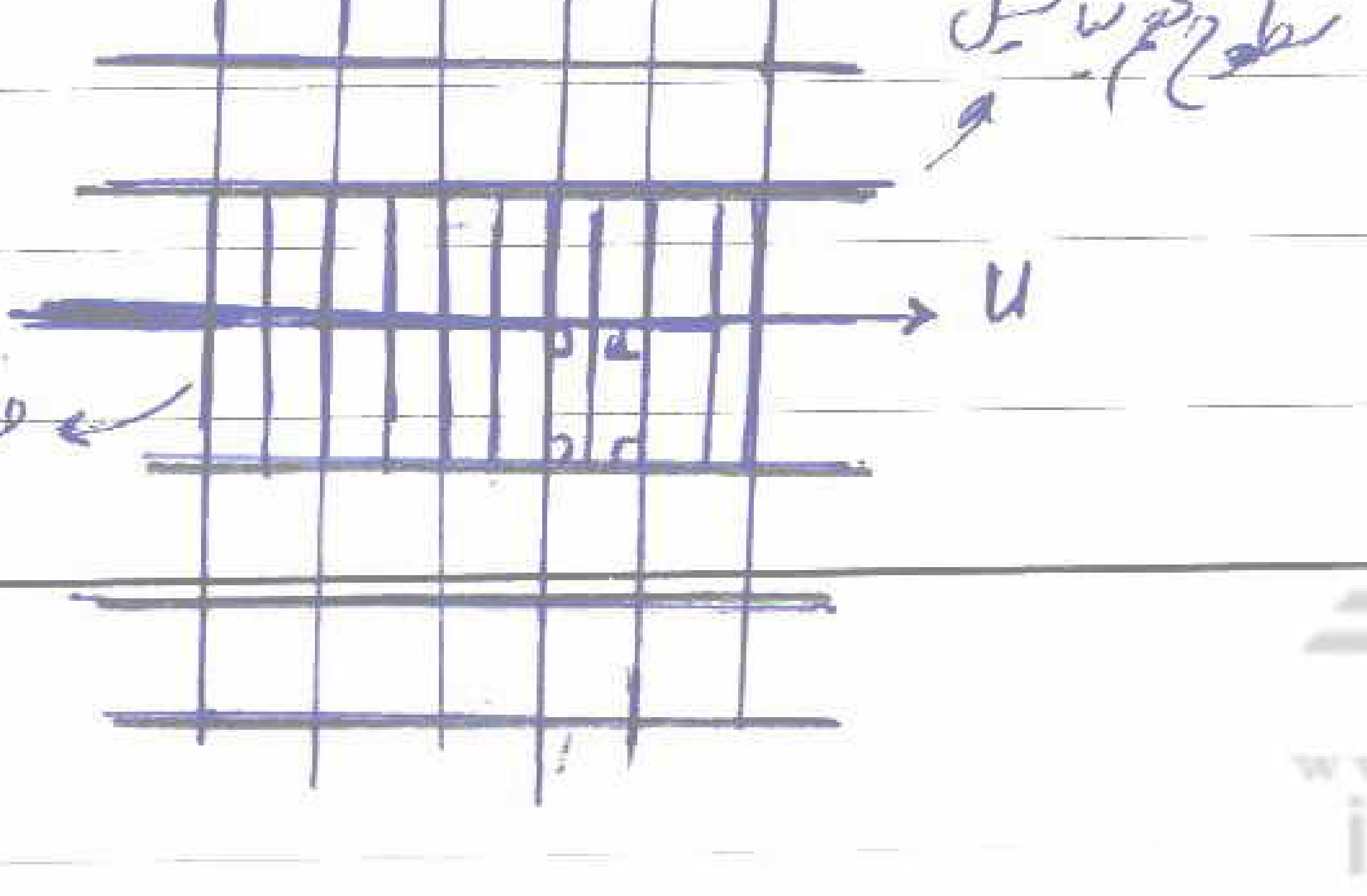
$$w(z) = (x+jy)^2 = \underbrace{x^2-y^2}_{\overset{\text{حقیقی}}{u}} + j\,\underbrace{2xy}_{\overset{\text{موهومی}}{v}}$$

هذلولیک

منحنی های $2xy = cte$ هذلولی اند

$x^2-y^2 = cte$ هذلولی اند


y
x
سطوح هم پتانسیل
خطوط میدان


v
u
سطوح هم پتانسیل
خطوط میدان

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

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

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

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

$\cos jv = \cosh v$

$\sin jv = j\sinh v$

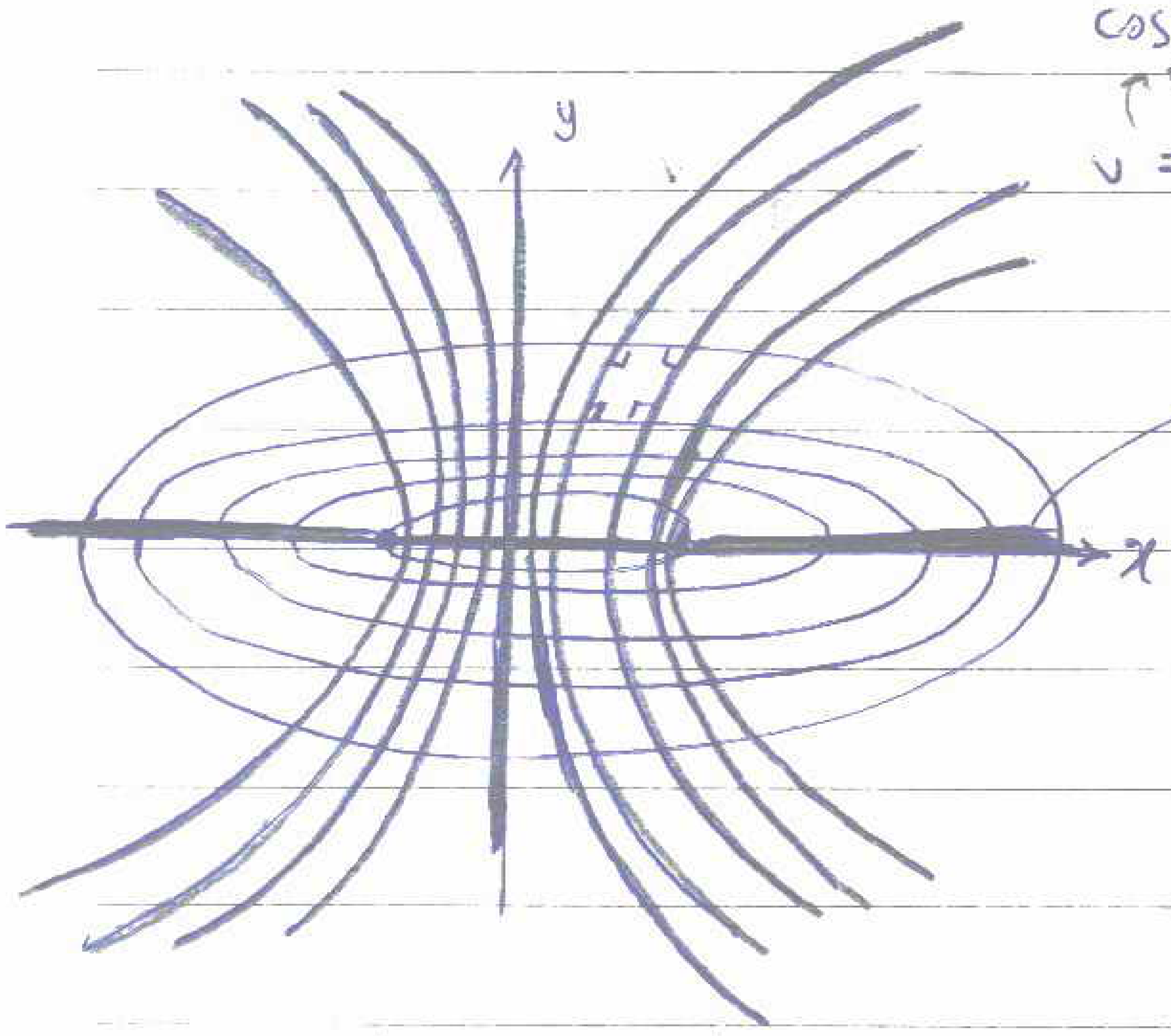
$$\left.\begin{array}{l} x = a\sin u\cosh v \\ y = a\cos u\sinh v \end{array}\right\} \longleftarrow$$

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

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

$$\frac{x^2}{\underset{\text{1 cte}}{\cosh^2 v_1}} + \frac{y^2}{\underset{\text{'' cte}}{\sinh^2 v}} = a^2$$

$v = cte$ منحنی‌های بیضی اند



میدان بین دو دیسک

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 $x^2 - y^2 = cte$ ←

$u_1 = cte$

← پیدا کردن این تابع تبدیل کار سختی است برای شکل‌های متداول در طبیعت اینکار را انجام داده اند

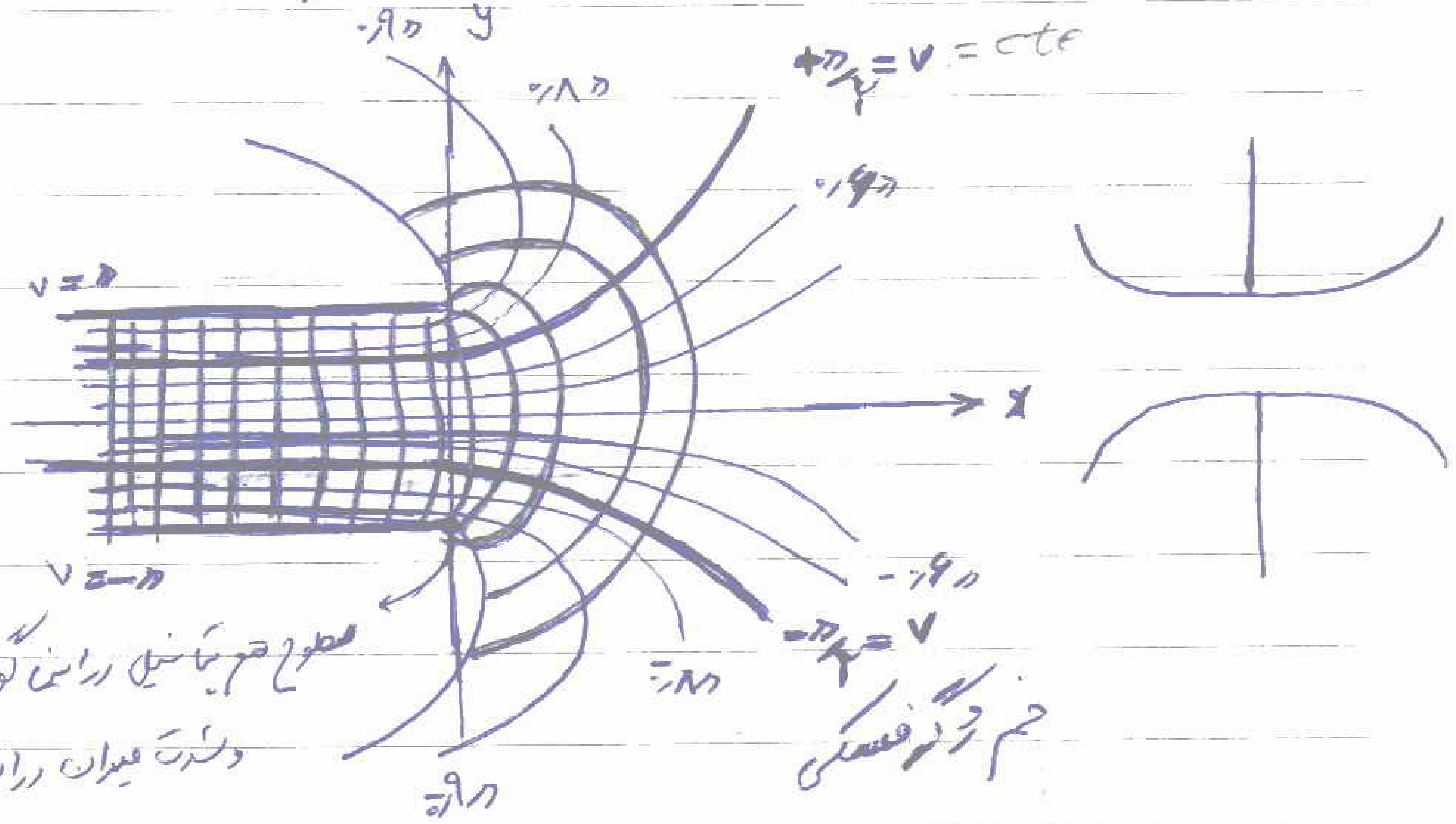
$$\boxed{Z = \frac{a}{\pi}\left(\overset{}{W} + 1 + e^{W}\right) \quad Z \to x+jy,\quad W \to u+jv}$$

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 هم‌پتانسیل در این گوشه‌ها خیلی بهم نزدیک می‌شوند و شدت میدان در این نقاط خیلی زیاد است

باشد.

یعنی بیشترین استفاده الکترودها

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

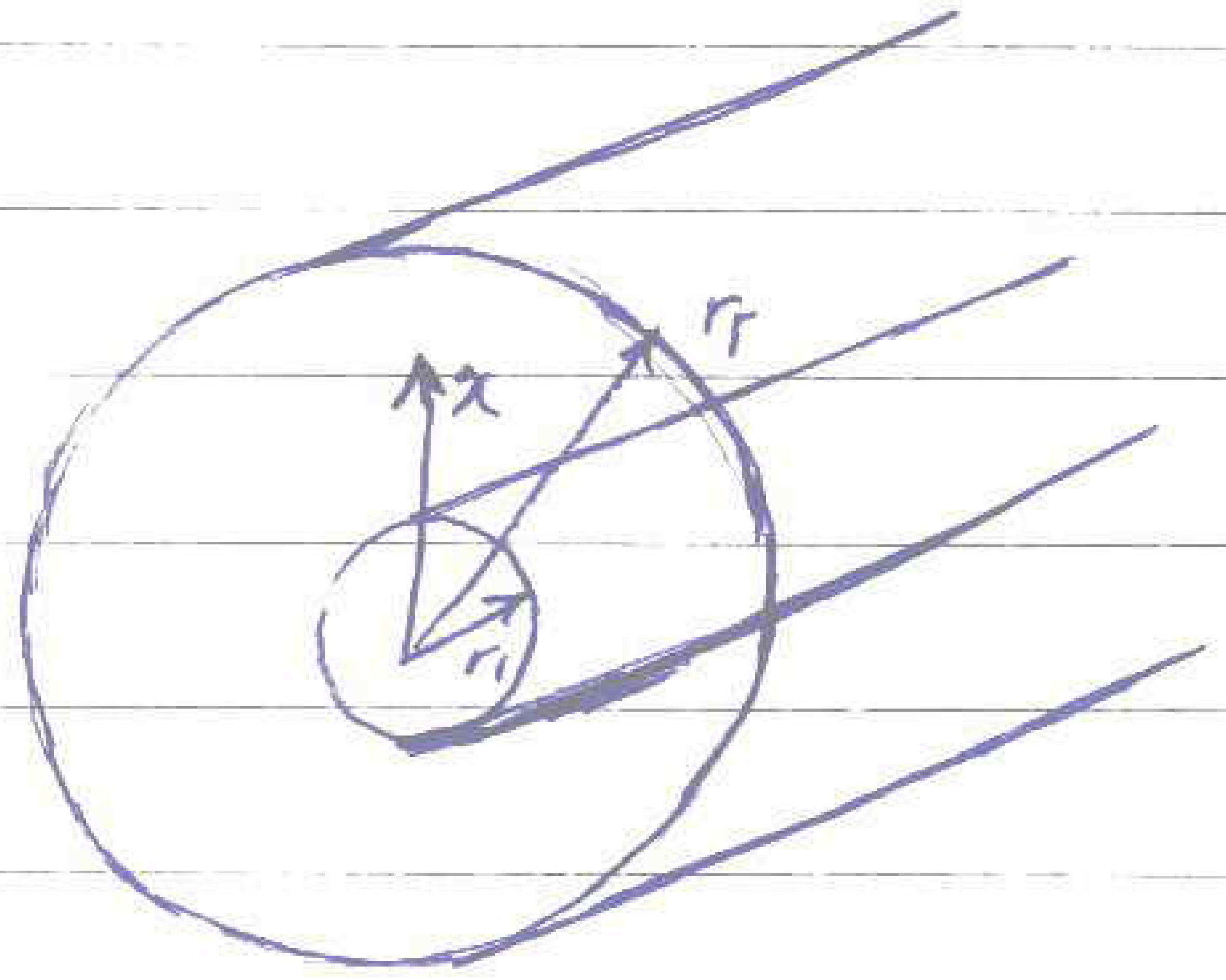
از صفحه‌های ۰/۶π و ۰/۶π− هم می‌توان برای میدان یکنواخت استفاده کرد اما صفحه بزرگ‌تر خواهد شد و هزینه زیاد خواهد شد و صفحات ۰/۸π و ۰/۸π− صفحه‌ها کوچک‌تر خواهند شد ولی میدان یکنواخت نخواهد بود

دلیل هم روگوفسکی بهترین حالت بین این دو صفحه است.

کنفرانس بین الملل برق

I روش استفاده از شکل های ساده

میدان الکتریکی دو استوانه تو در تو و متحد المرکز

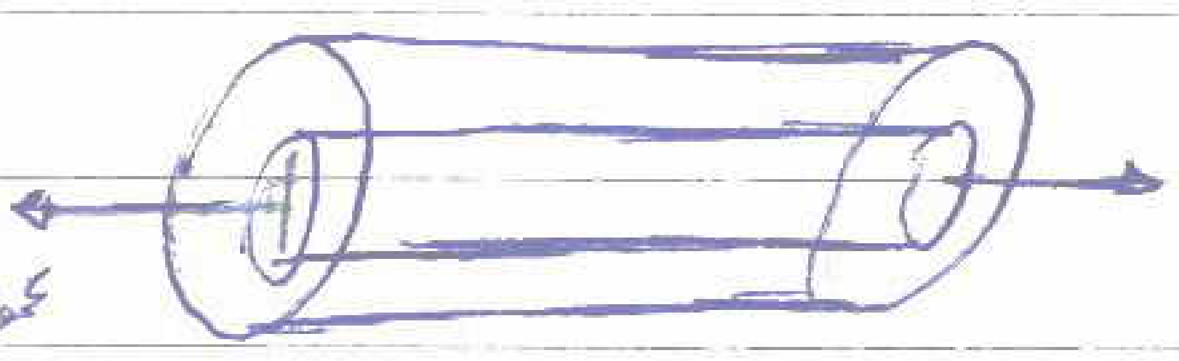


$$\oint D\cdot ds = \sum q$$

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

بار طولی

دو استوانه متداخل و متحد المرکز $E(x) = \boxed{\frac{Q/l}{2\pi\epsilon}}\,\frac{1}{x} = \frac{V}{\ln(r_2/r_1)}\,\frac{1}{x}$



پس D.ds=0 می‌شود

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

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

دو کره متداخل و متحد المرکز

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

در دو استوانه:

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

$\ln 1 = 0$

اگر $r_2 \simeq r_1$ ← E_{max} افزایش می‌یابد

$\frac{1}{0} = \infty$

اگر $r_1 \to 0$ ← E_{max} افزایش می‌یابد

↓

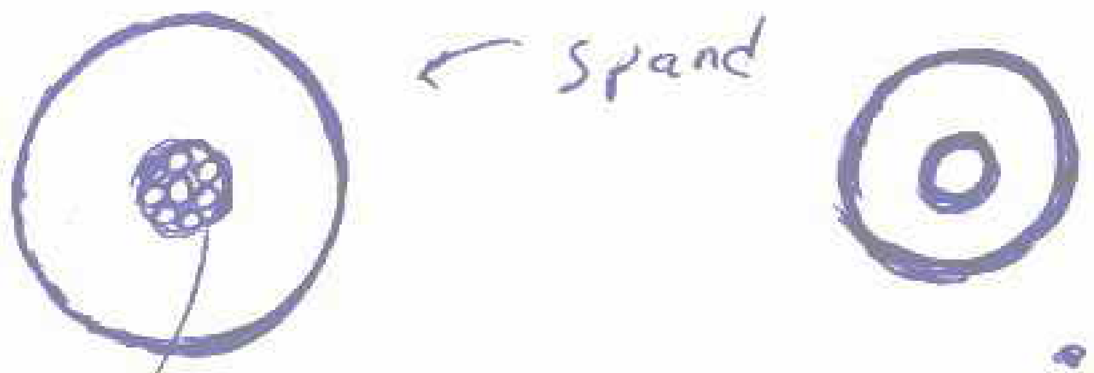
پس r_1 را چقدر انتخاب کنیم که به ازای آن r_1، شدت میدان ماکزیمم (E_{max}) مینیمم شود؟

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

نسبت شعاع بیرونی به شعاع داخلی ۲٫۷ است

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

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



Subject: در دو کره متحدالمرکز :　　　Date: / /

کاغذ می‌پیچند تا شعاع آن بیشتر شود
همچنین انعطاف آن بیشتر شود

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

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

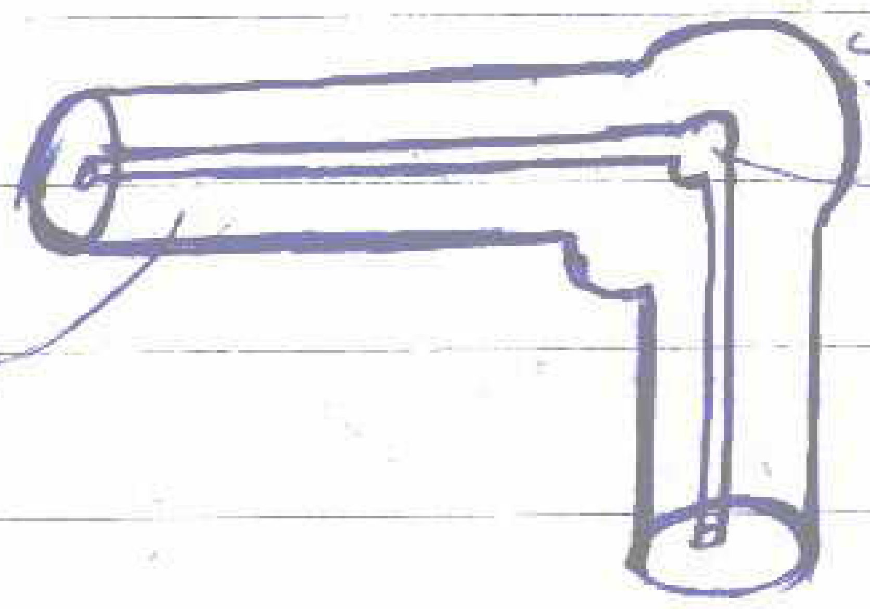
اگر $R_1 = R_2 \leftarrow E_{max} = \infty$

$R_1 \to \infty$
$\downarrow$
$R_1 \to \infty$

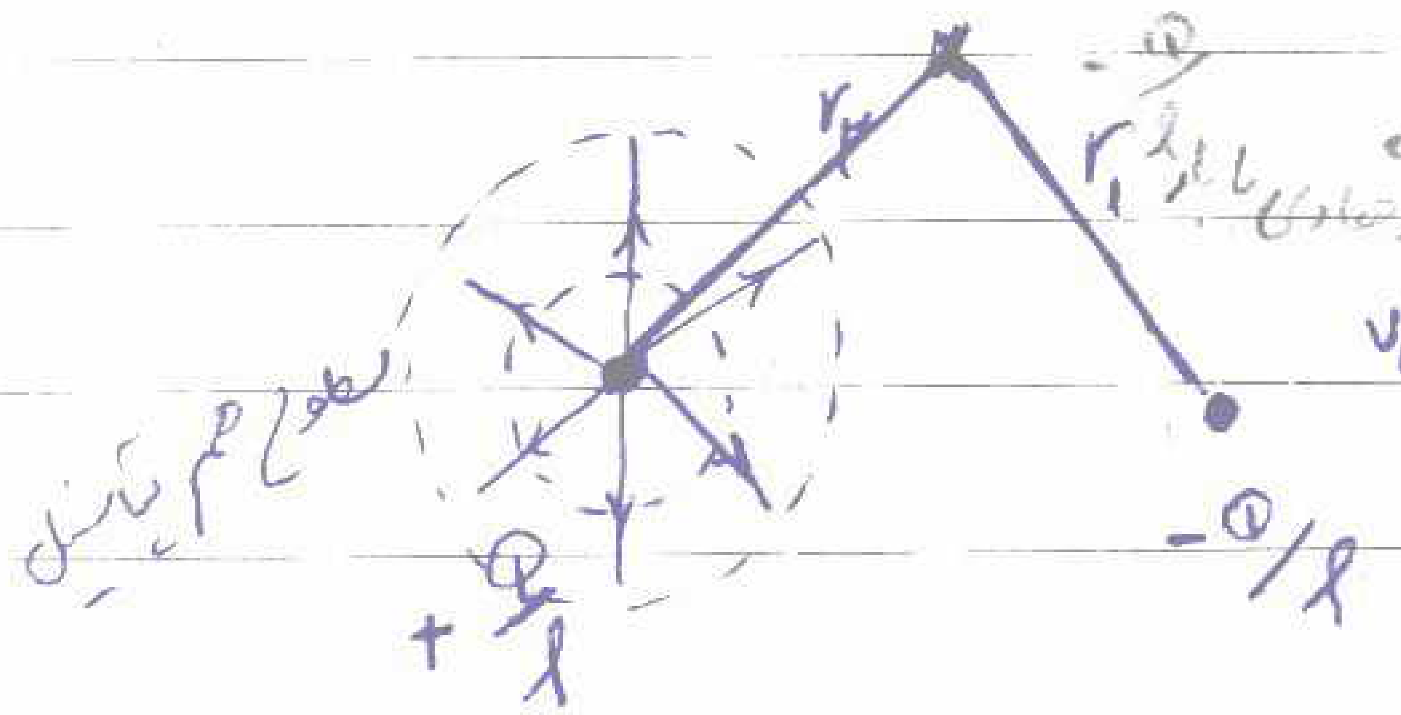
$E_{max} = \frac{V \times \infty}{R_2 - R_1 = cte \times \infty}$

$$\boxed{\left.\frac{dE_{max}}{dR_1}\right|_{R_2 = cte} = 0 \longrightarrow R_2 = 2R_1}$$

پست‌های GIS :


در این قسمت ۲ برابر شعاع شده
در این قسمت ۲٫۷ برابر شعاع است شده

میدان بین دو هادی موازی :


r_2
r_1
هادی‌ها با بار $\frac{Q}{l}$
سطوح هم پتانسیل
$+\frac{Q}{l}$
$-\frac{Q}{l}$

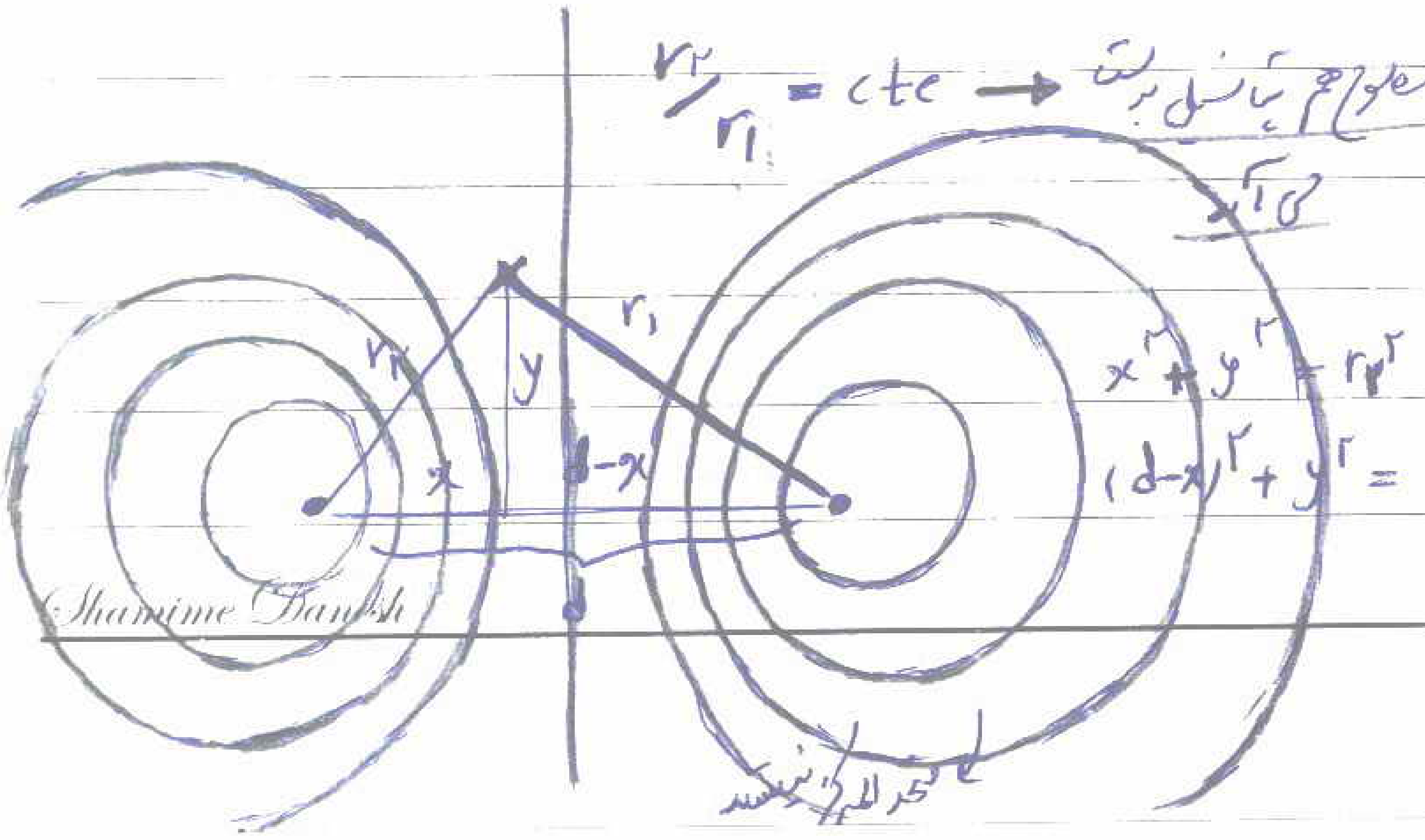
$$V(r) = -\frac{Q/l}{2\pi\varepsilon} \ln r + K$$

با دانستن یک مبدا پتانسیل K 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
$d-x$
که هم مرکز نیستند

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

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

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

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

به شعاع $\frac{kd}{k^2-1}$

روش‌های تعیین میدان به کمک شبیه‌سازی (اندازه‌گیری)

۱- استفاده از رسم میدان در کاغذ کربنی:

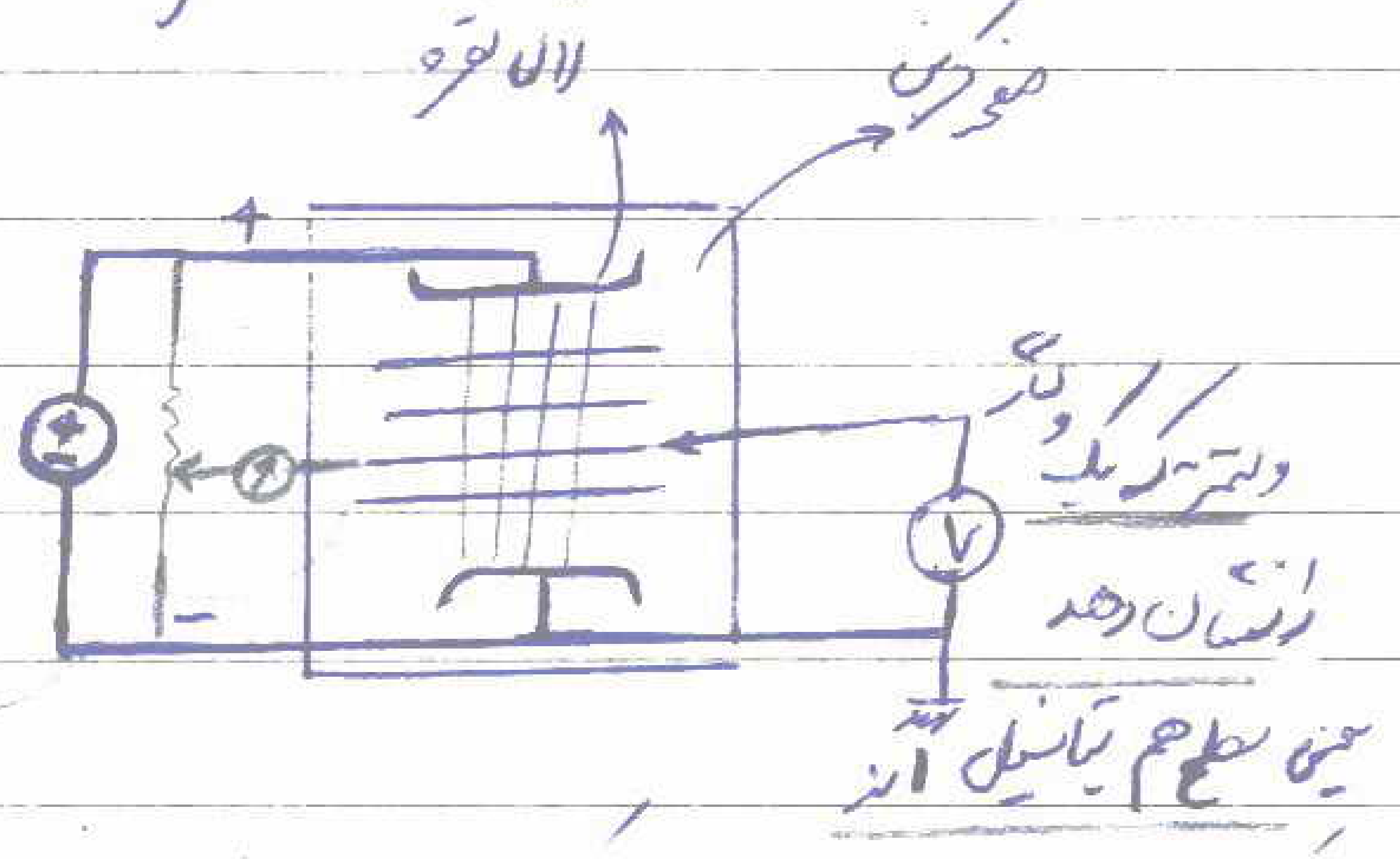
فقط مناسب برای میدان‌های دو بعدی و یا میدان‌هایی که در یک جهت ثابت باشند.

برای دی‌الکتریک

$\vec{D}=\epsilon\vec{E}$ $\quad \phi=\int D\cdot dA \quad$ $\operatorname{div}\vec{D}=0$

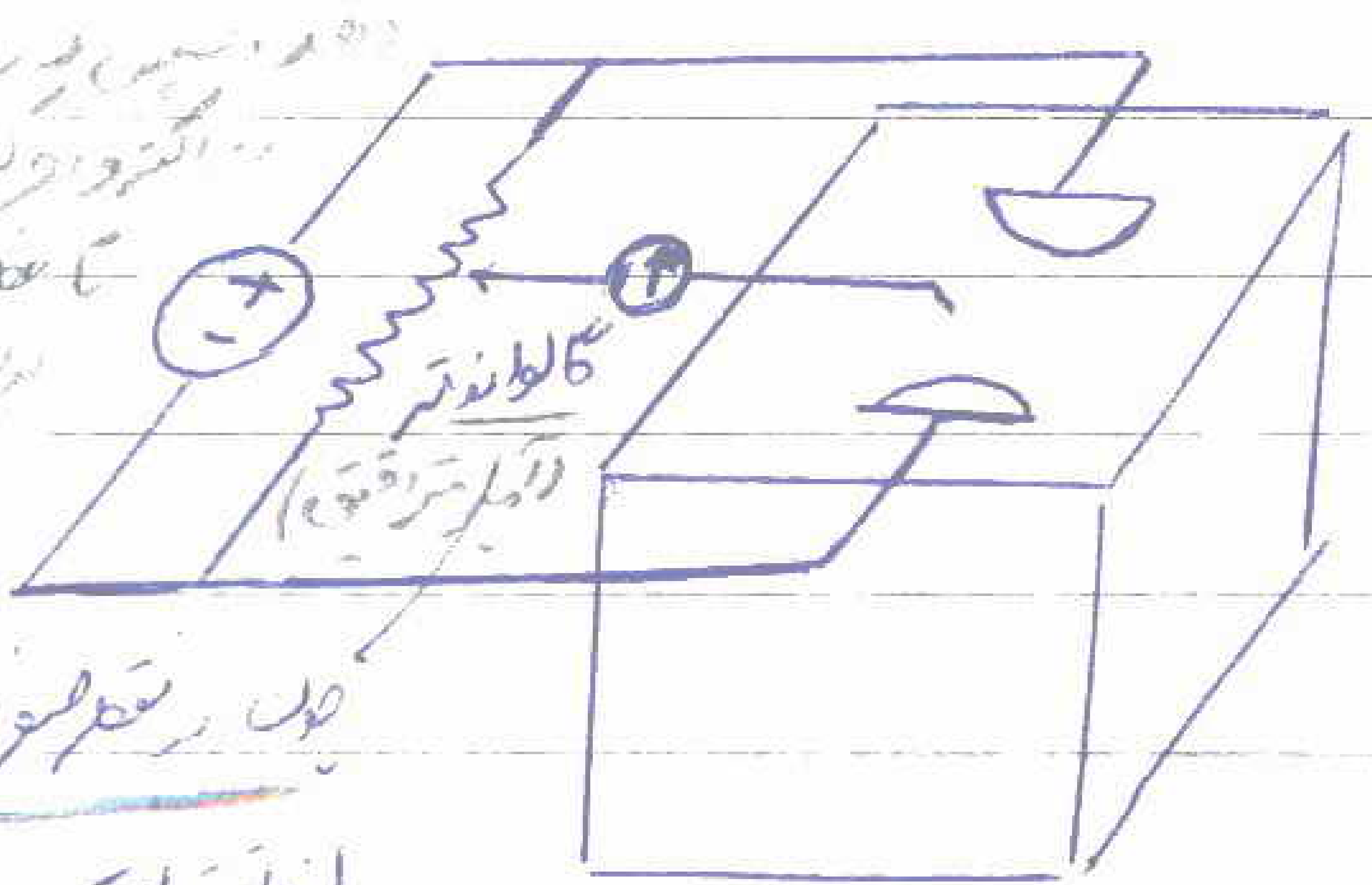
برای جریان

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


لایه نقره
صفحه کربن
+
−
ولتمتر که یک ولتاژ را نشان دهد
یعنی سطح هم پتانسیل اند

۲- استفاده از تانک الکترولیت: مناسب برای الکترودهای سه بعدی

[illegible] بیشتر است [illegible] الکترود
[illegible] هم [illegible] جریان [illegible]
[illegible] الکترولیت [illegible]
تا سطوح پتانسیل [illegible]


گالوانومتر
(آمپرمتر دقیق)

چون به شدت حساس و دقیق‌تر از ولتمتر است

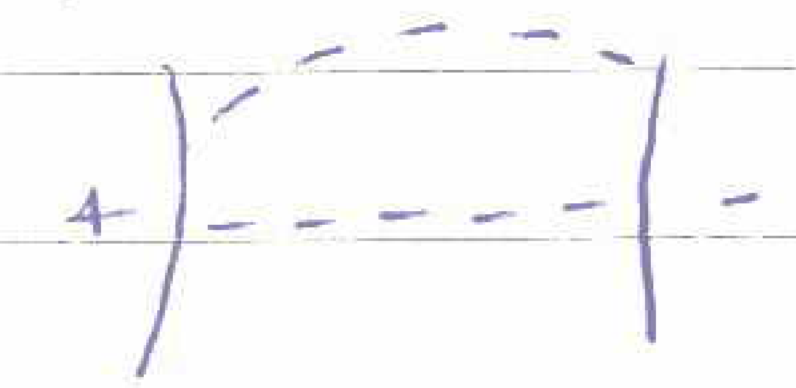
ولی اینجا چون زانه تعص هم وجود دارد می گویند چرا → به طوری رید این ماشین ها اینگونه خواهند بود ✓

سریع می گویند چرا → در حال این ماشین ها اینگونه خواهند بود ✗

Subject:.. Date: / /

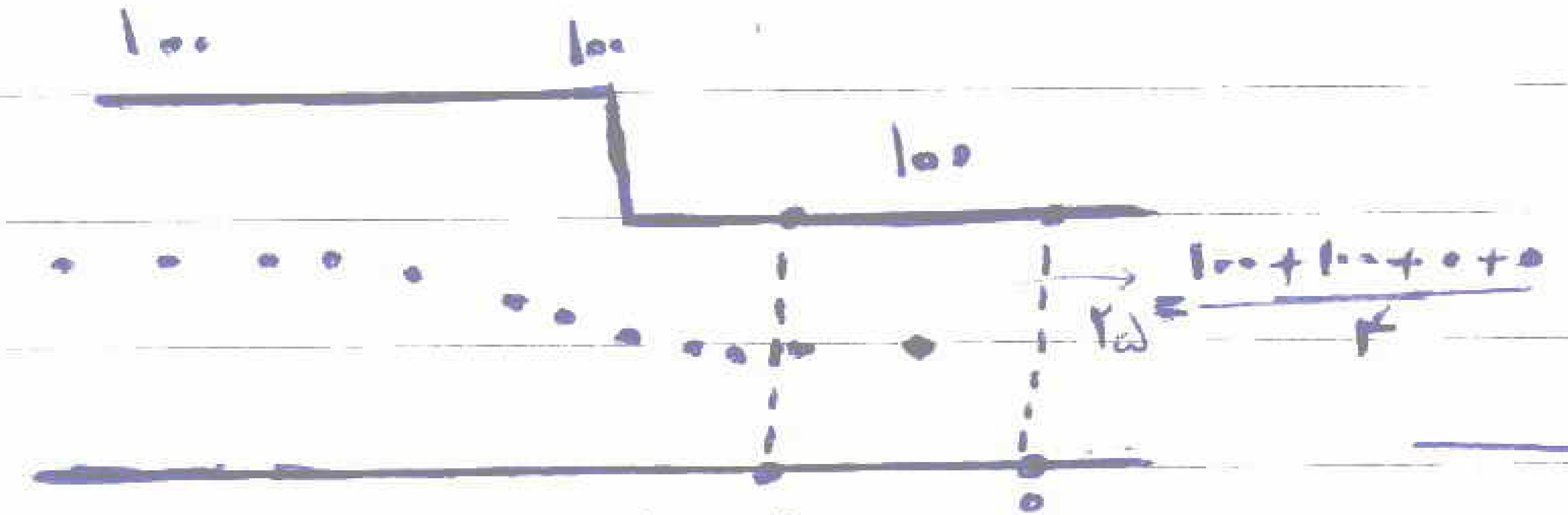
۳-۱ استفاده از پرگاه : وسیله‌ای دو قطبی با وزن کم است

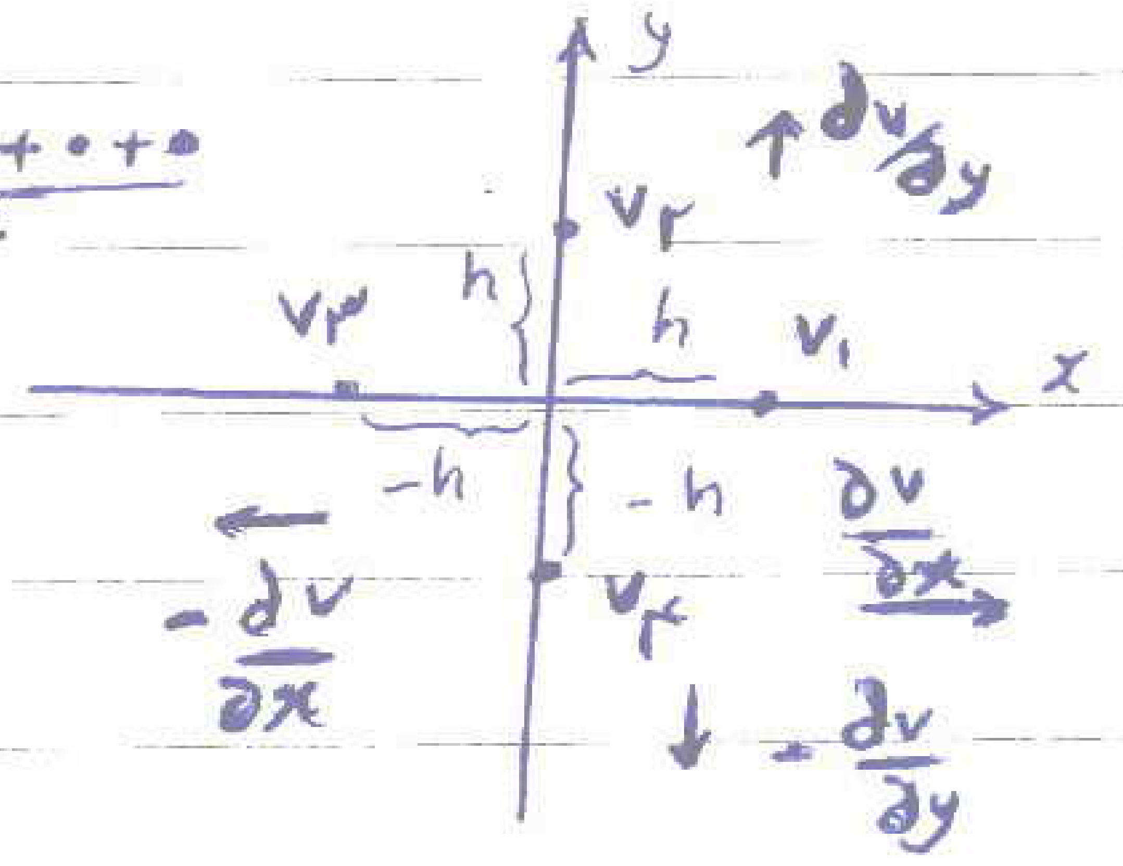
پرگاه در راستای میدان جهت گیری می کند



روش

۴- اجرای تکرار





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

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

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

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

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

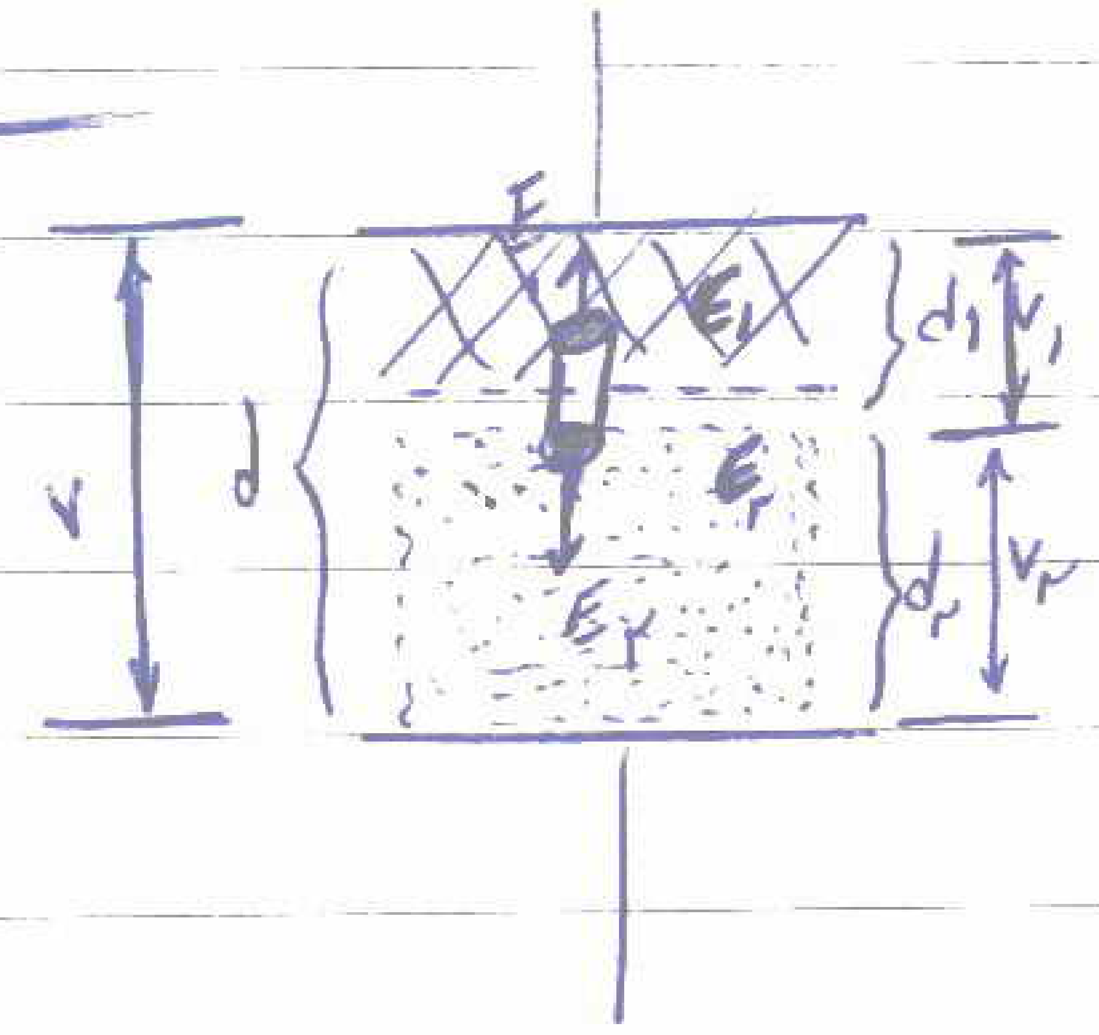
+

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

میدان الکتریکی در عایق‌ها / سطح‌های مختلف :

شرایط

روی عایق که شدت میدان بر سطح جدایی عمود است :



عایق ایده‌آل یعنی $\sigma = 0$ که هدایت پس عبور جریان صفر است

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

در مرز دو عایق ایده‌آل بار آزاد وجود ندارد.

چون جهت شان مخالف هم است

$$S D_1 \; [illegible] \; S D_2 = 0$$

$$D_1 = D_2$$

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

در صفحه یادداشت نویسی باید که اگر ۱ دقیقه جلوی چشم بیننده باشد به رنگ عوض شود، حداکثر ۲۵ در خط، حروف نگذارید ... یادداشت بنویسید

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

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

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

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

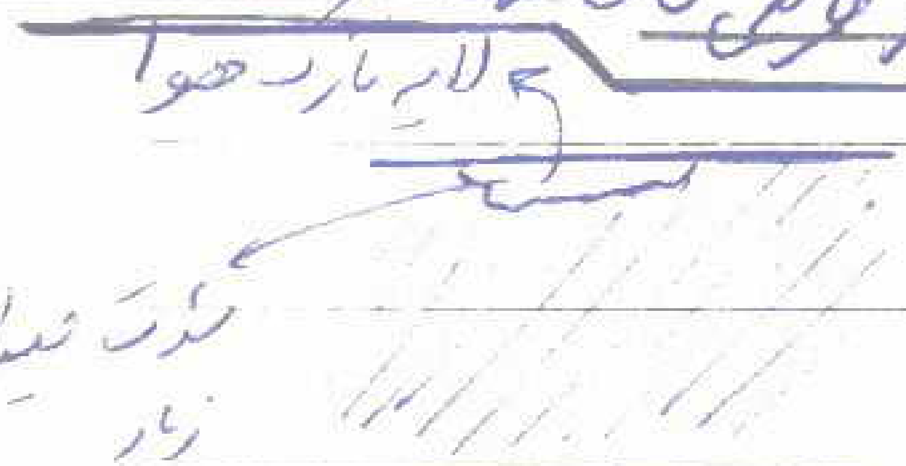
در حالتی که بدون عایق باشد (فقط): $\boxed{E = \frac{V}{d_1 + d_2}}$

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

← ضریب دی الکتریک هیچ ربطی به 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

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

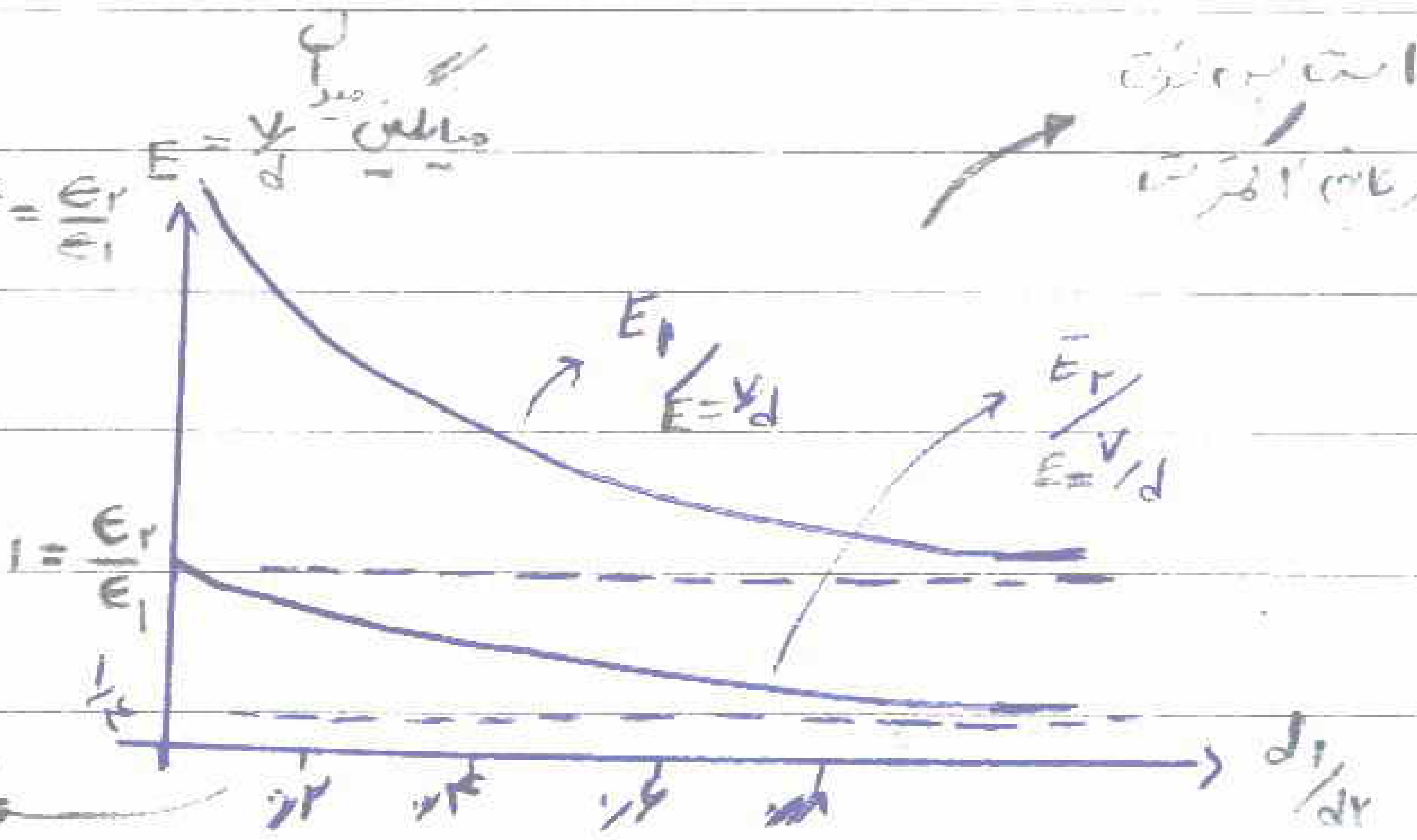


هوا

با توجه به روابط بالا هم شدت میدان در این لایه نازک هوا خیلی بیشتر از شدت میدان هوای کناری که فقط از هوا است

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

کابل شوکا مسی بر اثر اکسید شده بوده و اکسید مس عایق است در نتیجه در مقابل عبور جریان مقاومت نشان می دهد و حرارت زیاد می شود و می سوخته است.



ε1<ε2 است
میدان در ناحیه الکتریک

هر چه قدر $\frac{d_1}{d_2}$ کوچکتر شود شدت میدان E بیشتر می شود

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

E↑ ← ناحیه

E↓ ← ε↑

$D_1 = D_2$ → در عایقی که ε بزرگتر است شدت میدان کمتر است.

اگر دو عایق را بصورت مخلوط درآوریم 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 می‌توان گفت: $D = \overset{\overset{\text{منتجه}}{\uparrow}}{\epsilon_{res}} E$

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

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

d_1 مقداری که از عایق ۱ داریم

d_2 مقداری 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

بنابر استقرا داریم:

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

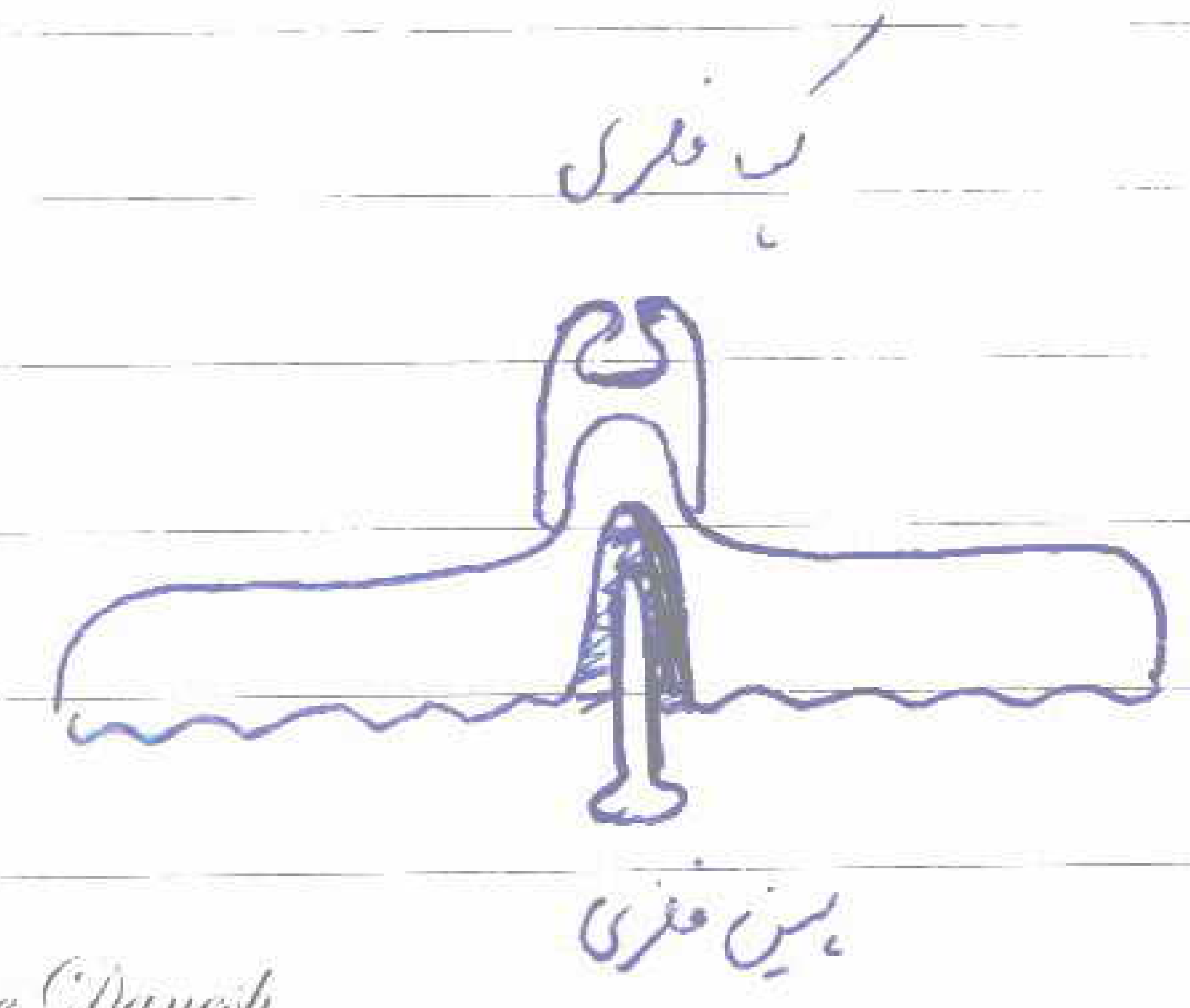
V_1 و V_2 و V_3 و ... و V_n حجم نسبی عایقهای با ضرایب دی الکتریک ϵ_1، ϵ_2، ϵ_3، ...، ϵ_n می‌باشند.

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

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

دلیل استفاده از مخلوط عایق: چون عایق‌ها خواص مختلفی دارند مثلاً بعضی‌شان استقامت مکانیکی خوبی دارند

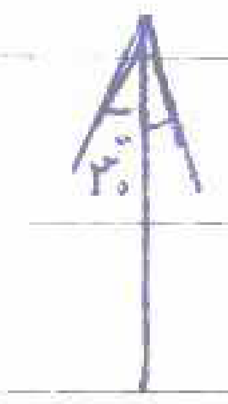
مثلاً بعضی‌شان استقامت الکتریکی خوبی دارند و ...

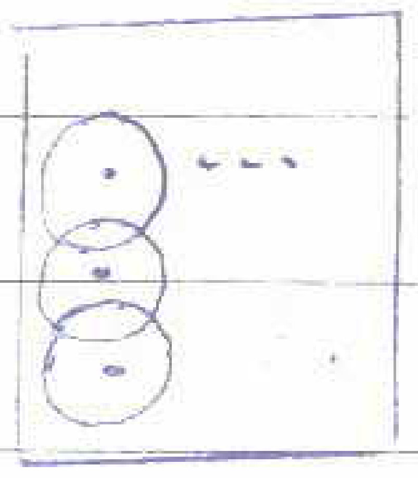


برای قابلیت اطمینان

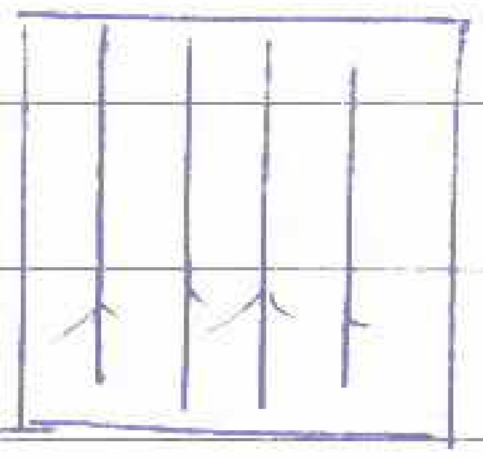
- هر مقره ۲۰^{kV} ، که در سیستم ۲۳۰^{kV} : $۱۵-۱۶ = ۵ + \frac{۲۳۰}{۲۰}$

شعله

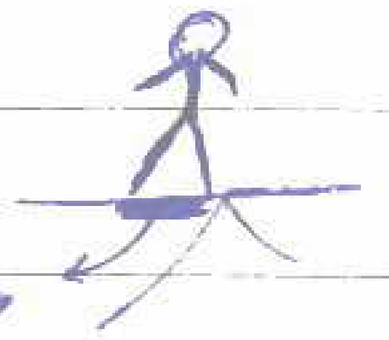




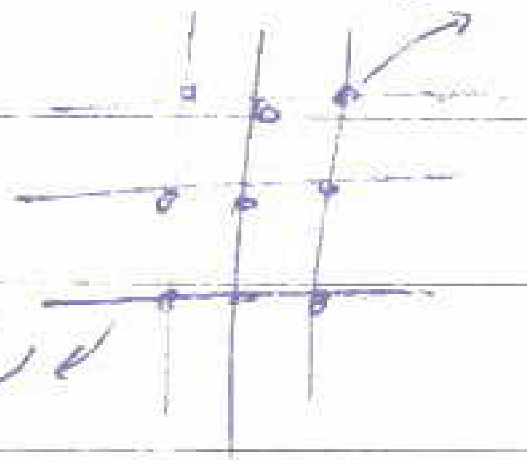
یا



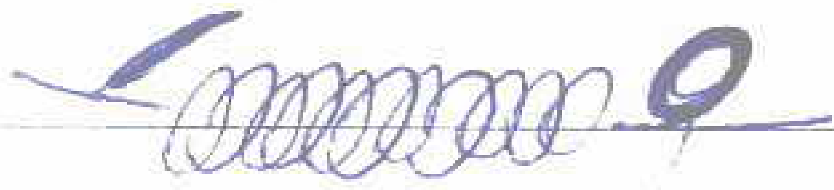
زمین



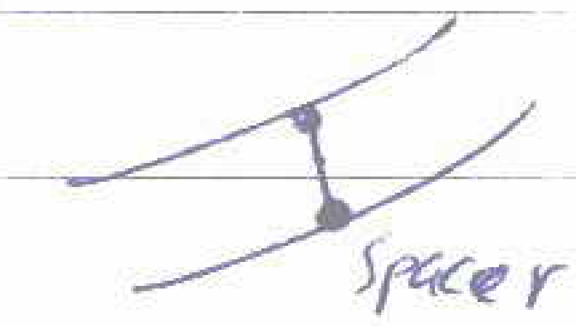
ولتاژ گام نباید از حدی زیادتر باشد که ما با گام بلندهم اصلا آسیب نبینیم



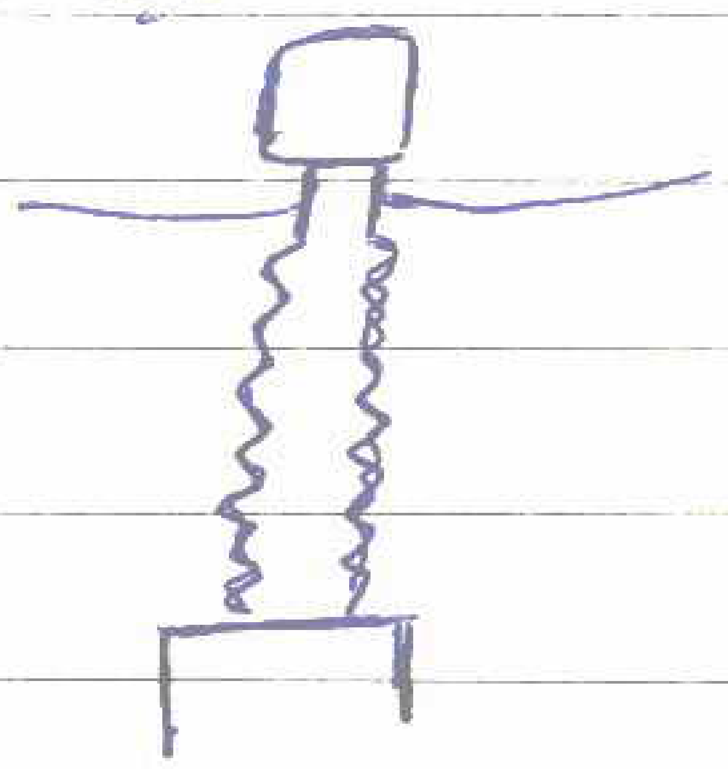
برای این است که اگر هم جاهای خالی بین این حلقه قرار گیرند.



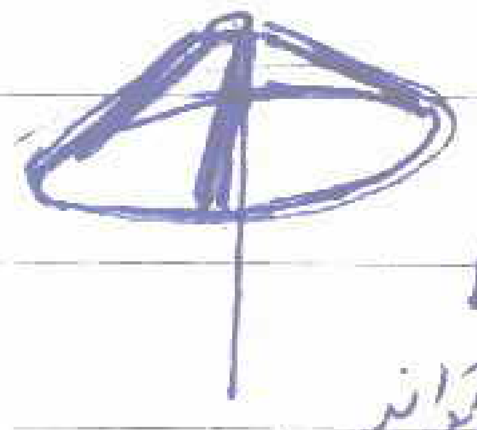
این حلقه برای این است که میدان یکنواخت تر باشد و ولتاژ روی مقره ها یکسان باشد



CT است چون سری است

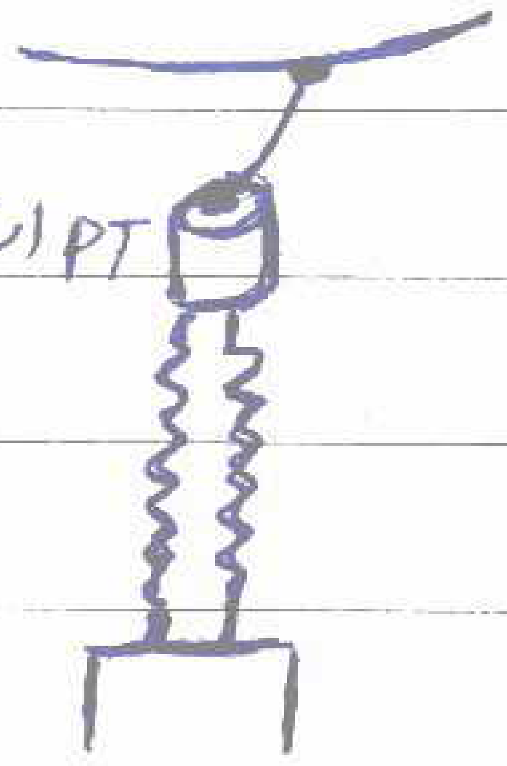


- مقره ها چین دار و چتری اند تا اگر باران بیاید یک سطح خیس و یک سطح خشک خواهد بود.

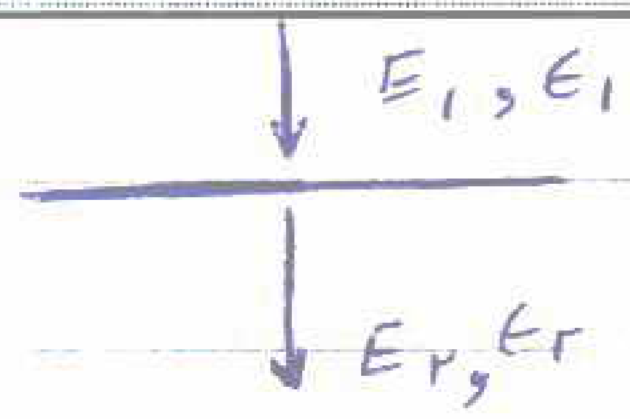


هم برق گیر هم
کرونا دفع می تواند
این حلقه را داشته باشد برای حذف کرونا ست
خواهد بود

PT است چون موازی است



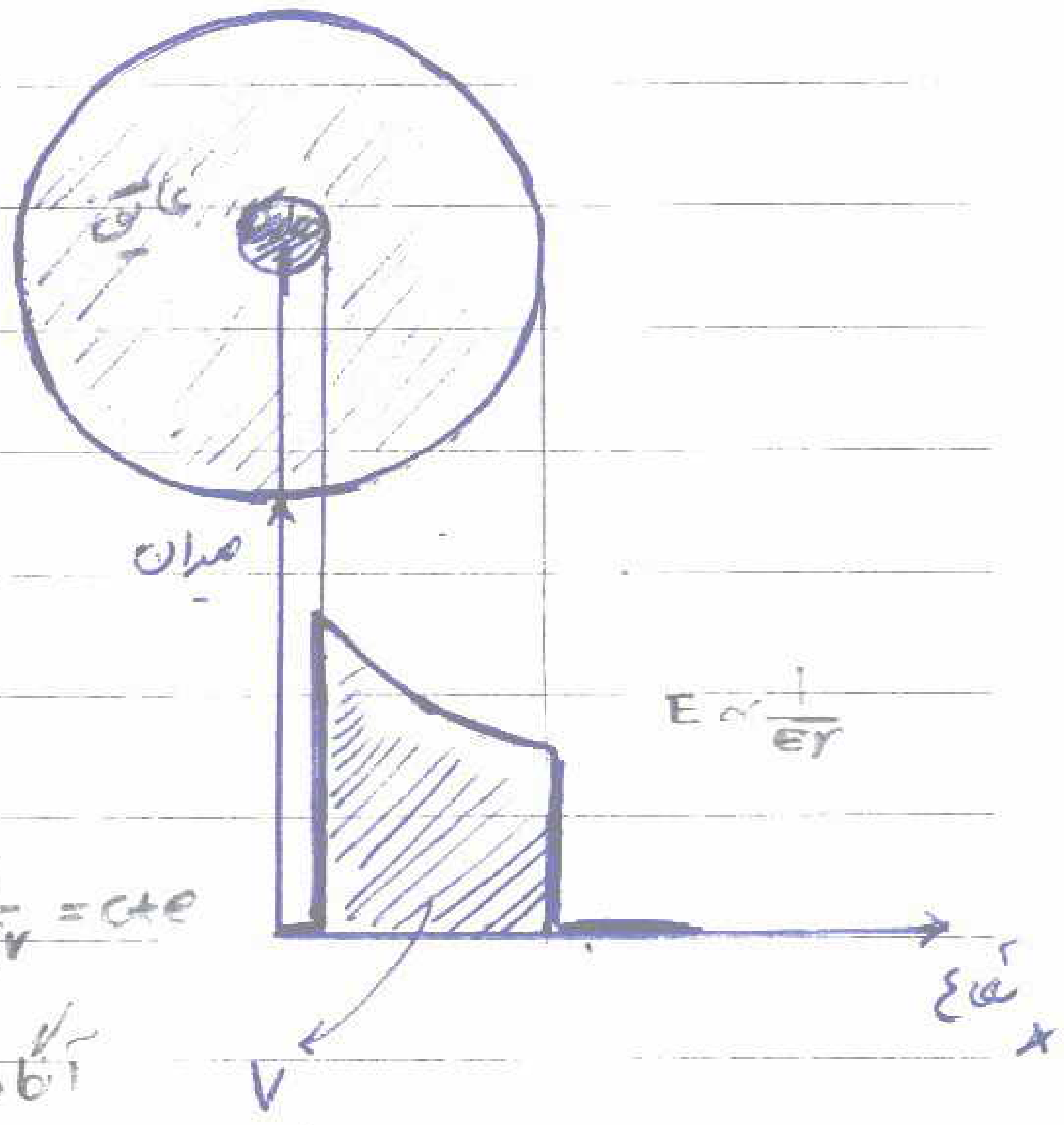
باید در هر چند جایی یک اتصال به زمین داشته باشیم چون اگر اتصال به زمین نداشته باشیم اگر یک فاز اتصال کند ولتاژ دو فاز دیگر $\sqrt{۳}$ برابر به همین خاطر است که ترانس را زمین می کنند.


E_1, ϵ_1
E_2, ϵ_2

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

داخل هادی که در شوت میدان صفر است.

اگر شیلد داشته باشیم در بیرون هم میدان صفر است.

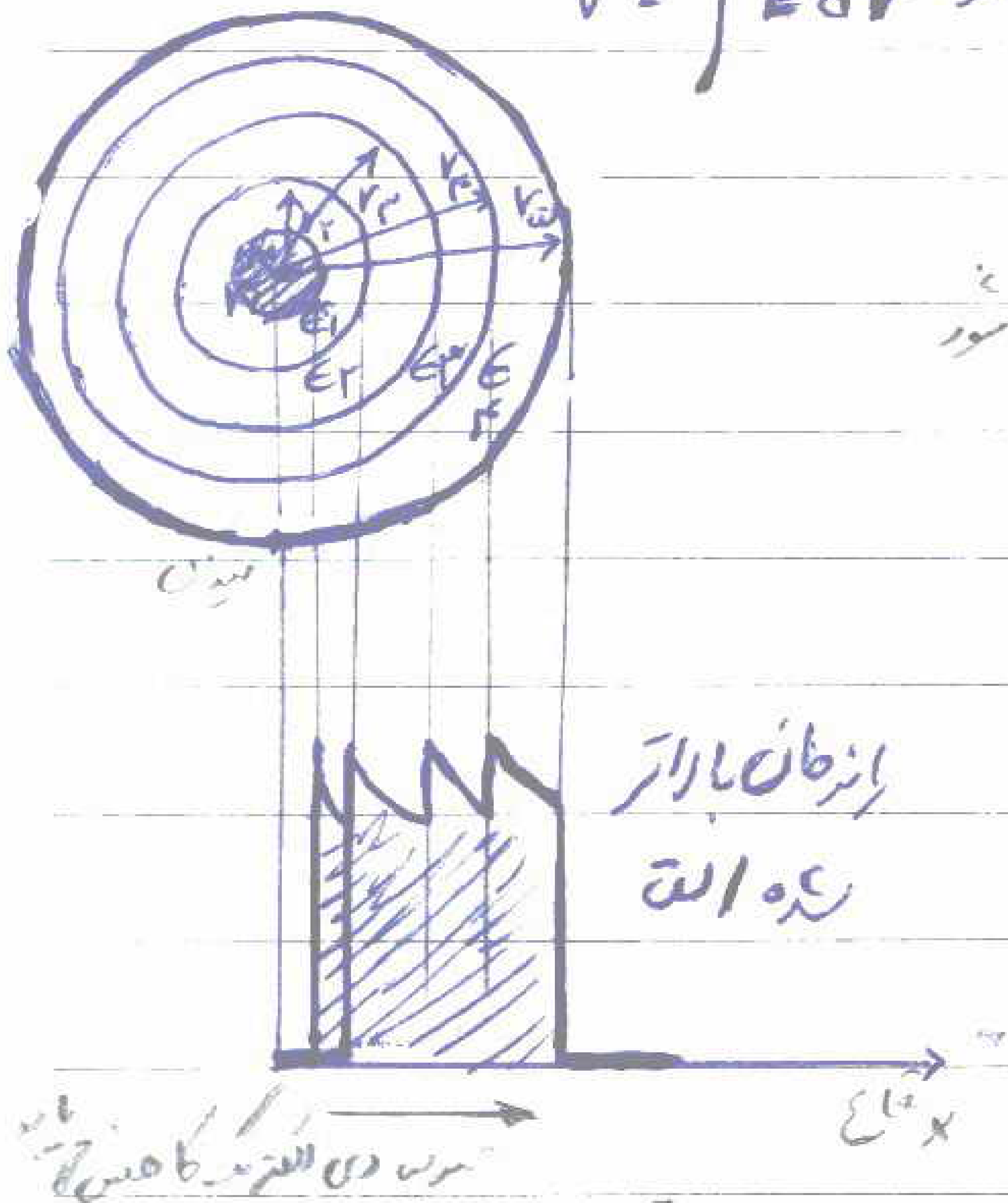

عایق
میدان
$E \propto \frac{1}{\epsilon r}$
V
شعاع
x

$V = \int E\,dr$ مساحت نمودار دوره

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

آنگاه مقدار ماکزیمم میدان‌ها باهم برابر می‌شود

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


r_1
r_2
r_3
r_4
ϵ_1
ϵ_2
ϵ_3
ϵ_4
میدان
ارتفاع بالاتر شده الق
شعاع x
ضریب دی‌الکتریک کاهش یافته

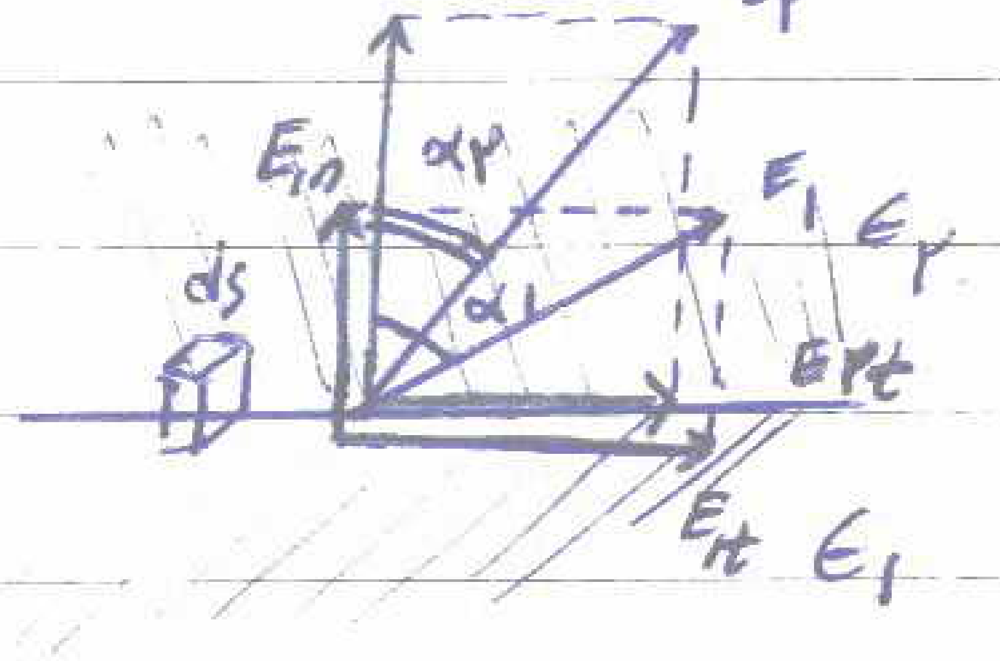
یعنی هر چه به سمت شعاع‌های بالاتر می‌رویم، ε را کوچکتر در نظر می‌گیریم

هر چه تعداد لایه‌ها بیشتر شود، خط صاف‌تر می‌شود.

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

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

فرض کنیم میدان در سطح جدایی عمود باشد:


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

اختلاف ولتاژ این دو نقطه

$\oint E \cdot dl$

اصلاً به مسیر ربطی ندارد

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

مولفه‌های 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

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

$$\boxed{\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = -\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$$

یعنی زاویه با مولفه‌ی قائم با شدت ضریب دی‌الکتریک را ربط دارد →

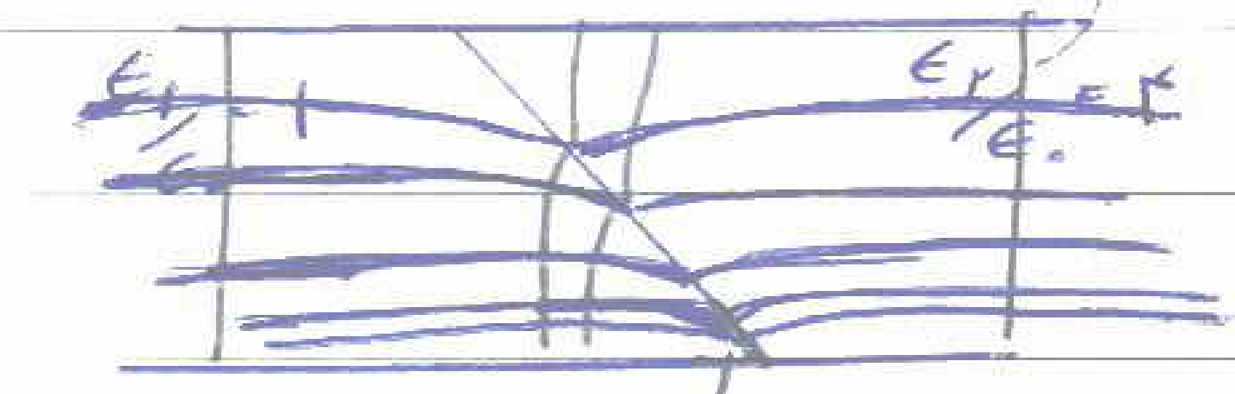
$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{E_{2n}}{E_{1n}} = \frac{\frac{E_{1t}}{E_{1n}}}{\frac{E_{2t}}{E_{2n}}} = \frac{\tan\alpha_1}{\tan\alpha_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$

شکل‌هایی که در آنها کار می‌کنیم که خطوط از هم باز‌تر شود

↑ مثال

این حالت بهتر است چون می‌دانیم که شدت میدان در اطراف‌های داخلی بیشتر است پس در این حالت که سطوح هم‌پتانسیل در اطراف‌ها دورتر هستند، شدت میدان هم کمتر است

سطوح هم‌پتانسیل - خطوط میدان



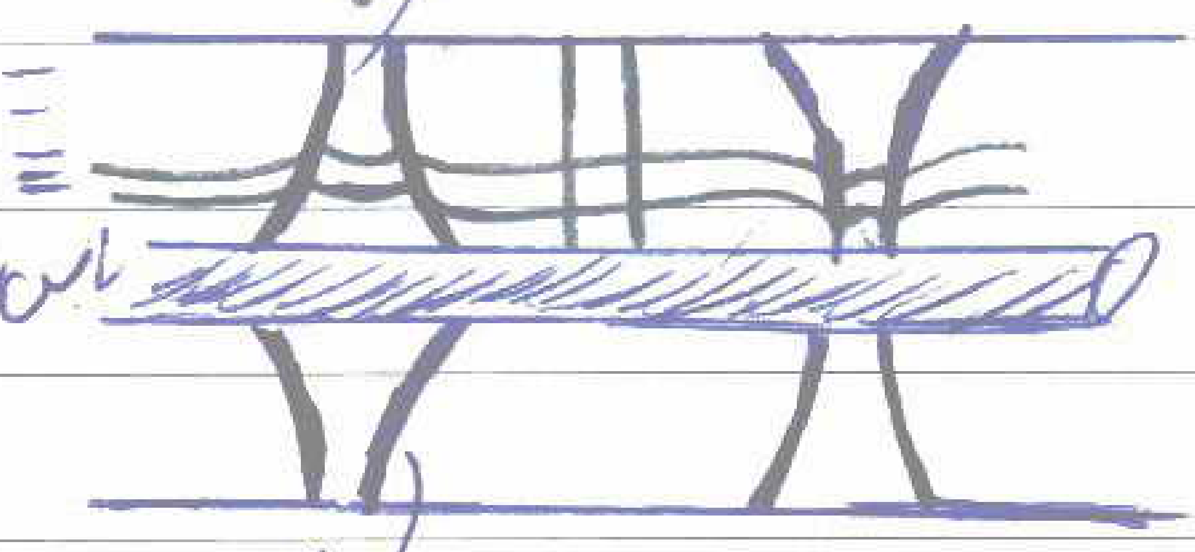
سطوح هم‌پتانسیل

نگهدارنده‌ها

شدت میدان در این نقطه بیشترین مقدار را دارد

چون در راه در حالت عادی سطوح هم‌پتانسیل و در نتیجه خطوط میدان فشرده‌تر خواهند شد ولی اگر به صورت محوری برش می‌زدیم عایق تحمل الکتریکی بیشتری بود

← فشردگی خطوط هم‌پتانسیل



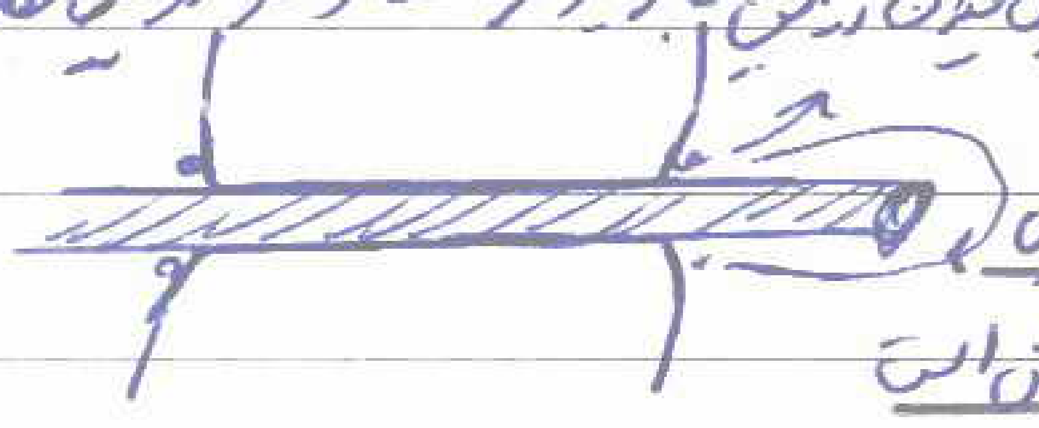
باس‌بار

نگهدارنده‌ها

لبه‌های کج لبه‌هایی هستند که باس‌بار فشار قوی را در بر دارد

دور این لبه از گاز SF_6 که پر شده است قرار دارد.

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

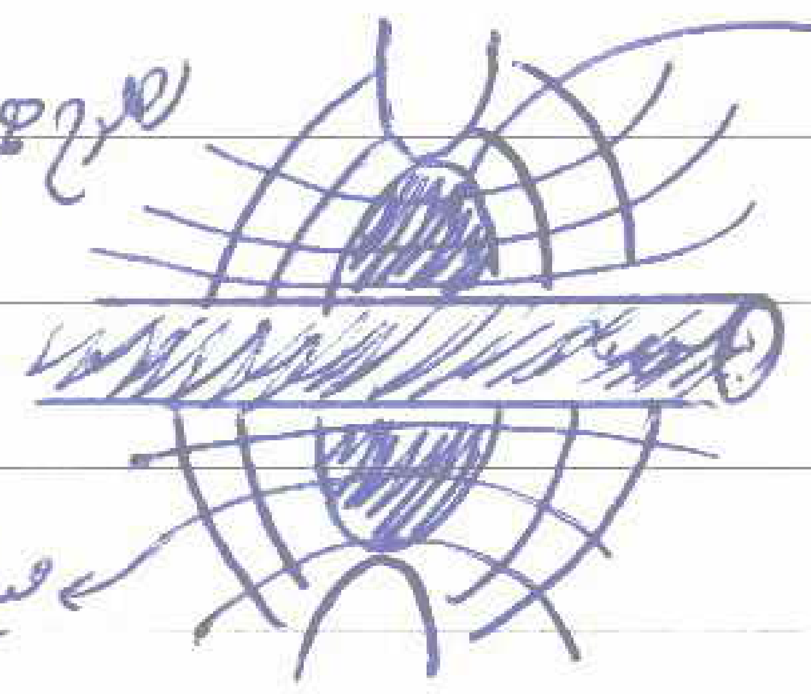


تخلیه از این لبه ممکن است اتفاق بیفتد

برای همین دو الکترود را طولانی‌تر از عایق در نظر می‌گیرند ←

↑ نگهدارنده در شکل بالا

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



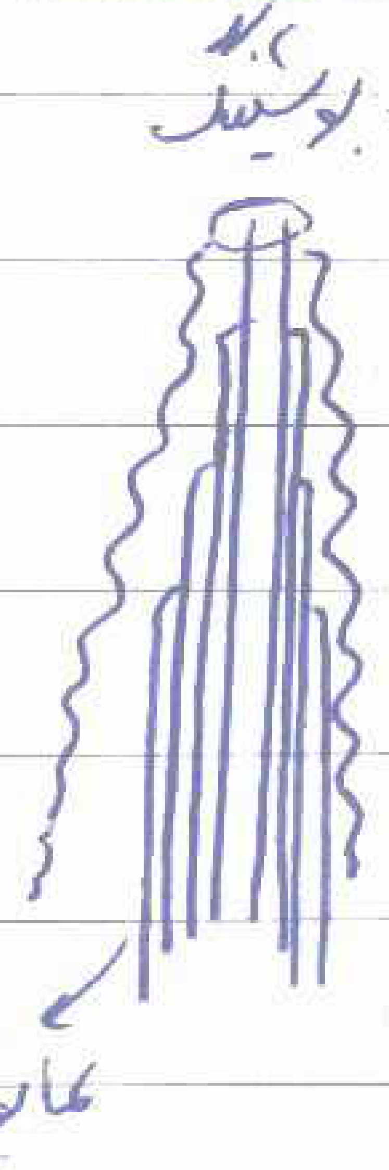
استوانه‌های تو در تو مثل خازن‌هایی اند که با هم سری شده اند $C = \epsilon \frac{A}{d}$ و $A = 2\pi r l$

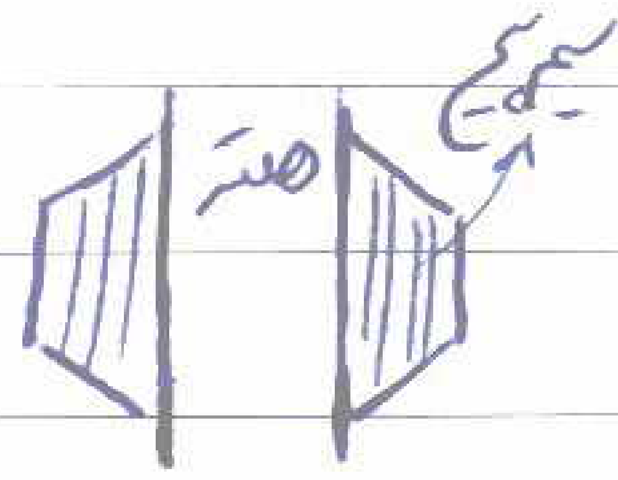
$r\uparrow \; l\downarrow$

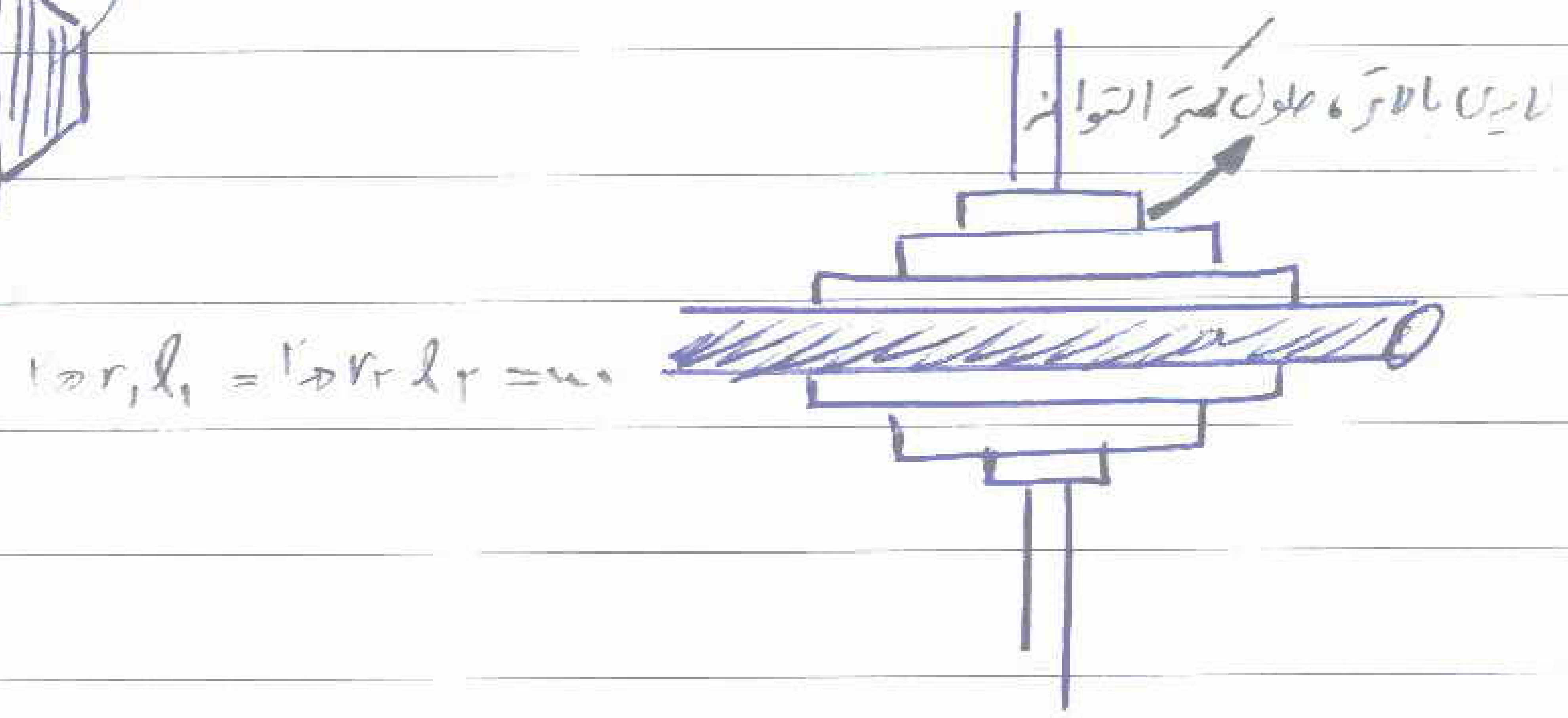
که اگر طول همه آنها برابر باشد ظرفیت لایه‌های بالایی خارجی بیشتر می‌شود ولی اگر طول هر لایه را با بالا رفتن r کم کنیم طوری [illegible]

ظرفیت این خازن‌ها با هم برابر شود خاصیت عایقی بالاتر خواهد شد که در سیم پیچی ترانس‌ها و هم چنین بوشینگ ترانس‌ها

از این نکته استفاده شده است و ولتاژ عایقی را متناسب‌تر کرده اند.


بوشینگ
عایق‌ها

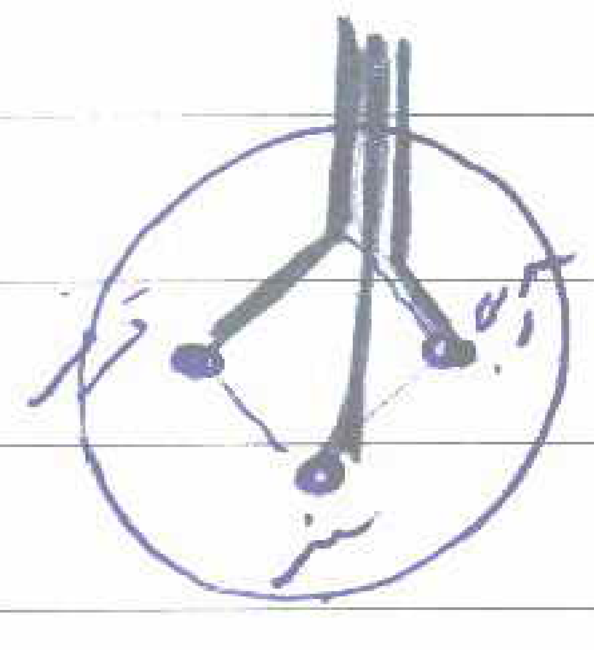

هسته
سیم پیچ

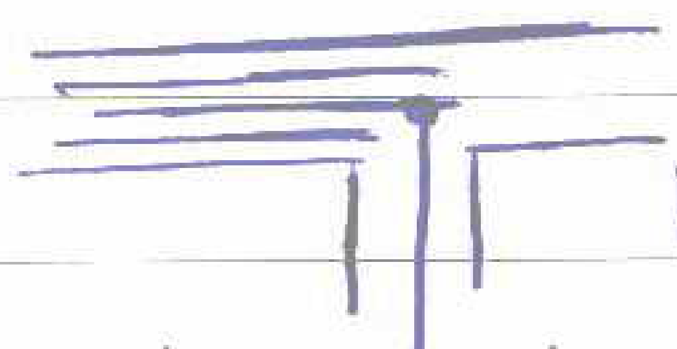

لایه بالاتر، طول کمتر استوانه
$2\pi r_1 l_1 = 2\pi r_2 l_2 = \dots$

در پست‌های GIS:

سه فاز را

به جای قرار دادن روی سه رأس مثلث روی سه رأس یک مربع قرار می‌دهند.





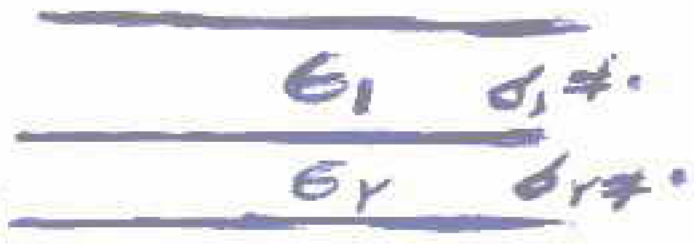
در انشعاب گیری‌ها

با این کار فاصله سه فاز متناسب خواهد بود

ص ۱۷ و ۱۸ جزوه امیر

Subject: ۱۸
Year: Month: Date: ( )

یک مدار RC است.



در حالتی که σ_1 و σ_2 صفر نباشد
یعنی ایده‌آل نباشند دیگر
$\frac{E_2}{E_1}=\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$ نخواهد بود

عایق های گازی:

تخلیه الکتریکی در گازها:

هوا، 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!

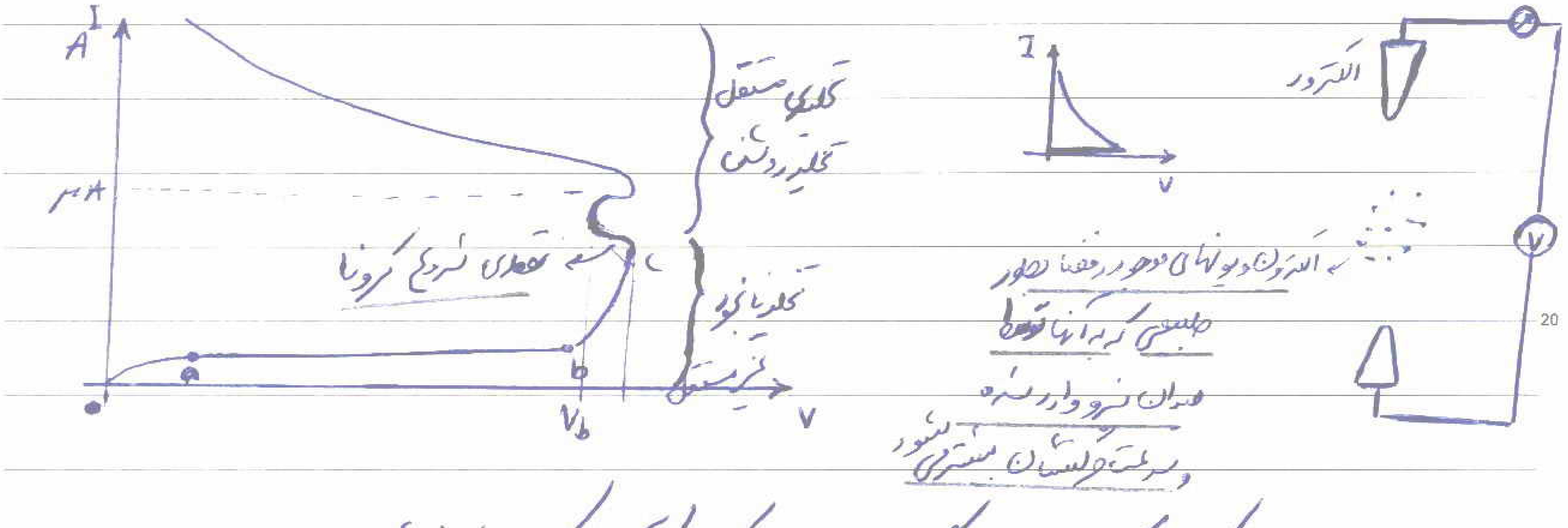
عامل هدایت در فلزات، (فقط) الکترونهای آزاد هستند.

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

عامل هدایت در گازها، الکترون‌ها و یونهای آزاد شده

عایق خوب: ۱- هدایت الکتریکی اش کم باشد ۲- استقامت الکتریکی اش هم زیاد باشد (هر دو مورد)!

خلاء هدایت الکتریکی کم هست اما استقامت الکتریکی آن بعد از حدی کم می‌شود و به همین دلیل هوا از خلاء عایق بهتری است.



* هوا این خاصیت را دارد که از یک حدی به بعد دیگر تعداد یون و الکترونی که آزاد می‌کند بیشتر نمی‌شود و از اینجا به بعد هر چقدر ولتاژ را بالا ببریم دیگر تعداد یون و الکترونهایی که آزادی شود ثابت خواهد بود و سرعت‌شان (فقط) افزایش می‌یابد و به همین دلیل جریان ثابت می‌شود.

ادامه: افزایش ولتاژ ← افزایش میدان ← افزایش نیرو ← افزایش سرعت الکترونها و یونهایی که به طور طبیعی در فضا وجود دارند ← یونها و الکترونها زمان کمتری برای ترکیب مجدد و خنثی شدن دارند ← افزایش جریان تا a که همه الکترونها و یونها می‌رسند

در طراحی ها باید به این توجه داشت که قطرات زیر آب [illegible] عایق خواهد بود

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

در شرایط عادی در فضا آزاد می شوند به آند و کاتد می رسند.

از a تا b: افزایش ولتاژ تأثیری را افزایش جریان ندارد. کلیه الکترونها و یونهای آزاد که به الکترودها می رسند ۹ *

از b تا c: 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 الکترون های جدید می شود ← ایجاد شدن ذرات باردار جدید ← افزایش جریان

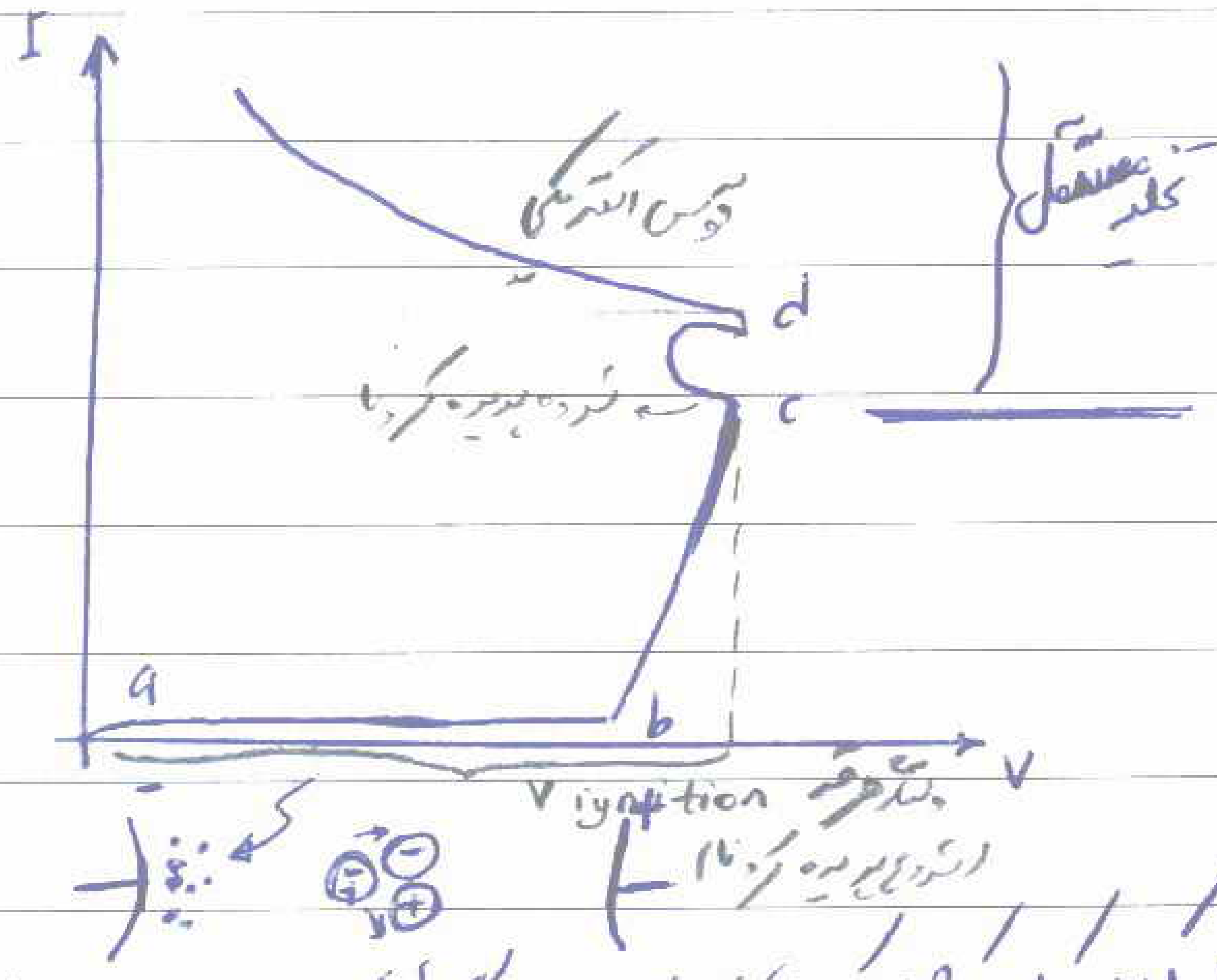
از a تا c را تخلیه ناخود یا غیرمستقل یا Non-self sustained Breakdown

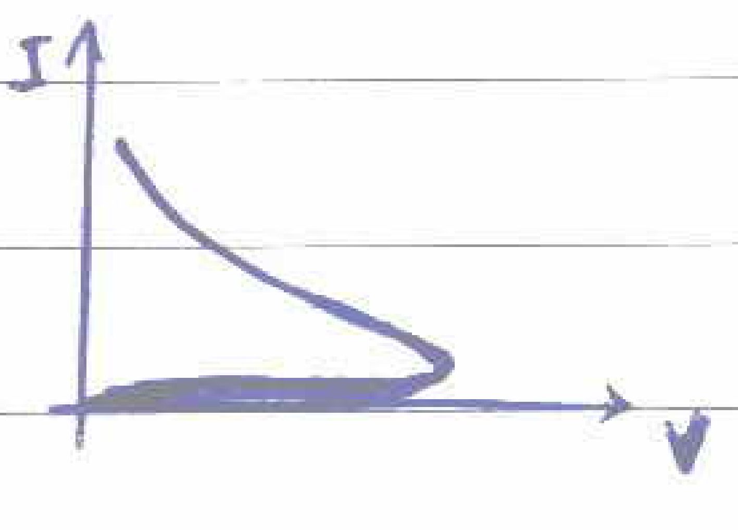
از نقطه c به بعد یک مقدار ولتاژ کاهش می یابد به مقدار V_d کرونا

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

این نوع تخلیه از جایی شروع می شود که سرعت الکترونها به حدی می رسد که در برخورد با ذرات دیگر هر کدام بطور متوسط یک الکترون آزاد می کنند

شکل تخلیه



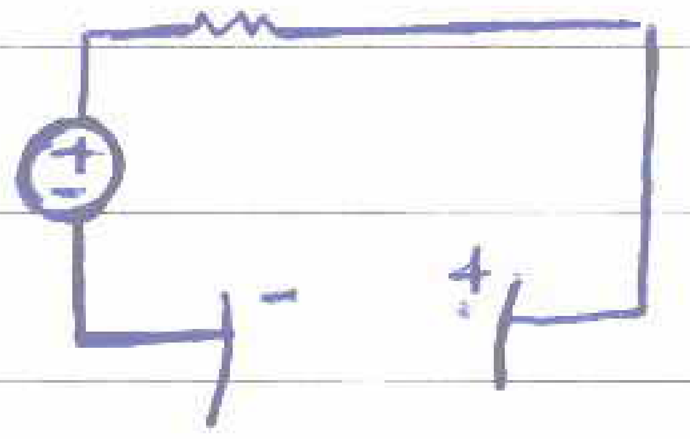


مثلاً
* معمولا مسیرهای حدود ۱۰ تا الکترون آزاد در ثانیه تولید می کنند تولید کننده ها از یک حدی که ولتاژ بیشتر شود دیگر تأثیری در مقدار جریان ندارد چون تمام ۱۰ الکترون را می رساند به الکترودها

- در جاهایی از کابل های خط که آچار زنگ زده ای را گره زده اند کرونا بیشتر خواهد بود و سر و صدا خواهند داشت و جرقه می زنند

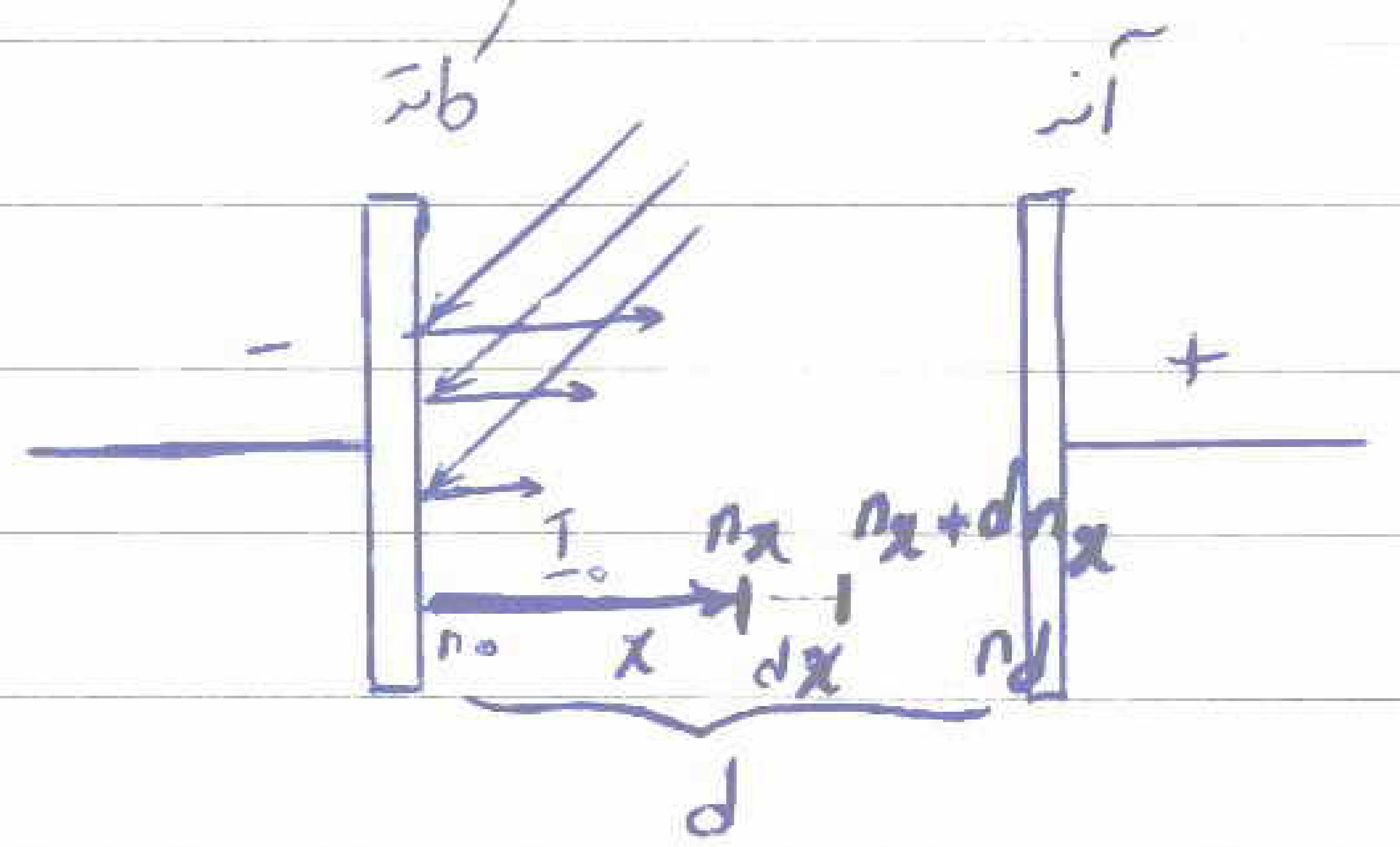
یک الکترون در مسیر حرکت اش آنقدر یون تولید بکند که

اگر منبع یک مقاومت اهمی خیلی بالا را داشته باشد به محض اینکه بخواهد جرقه بزند جریان زیاد می شود و افت ولتاژ روی آن



می افتد و ولتاژ دو الکترود کم می شود و جرقه خاموش می شود.

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



α: تعداد برخوردهای یونیزه کننده به ازای حرکت یک الکترون در طول یک سانتی متر مسیر

اگر یک الکترون یک سانتی متر حرکت کند می شود: α
2α: " دو " "
اگر دو الکترون یک سانتی متر حرکت کند می شود: 2α

α = ثابت یونیزاسیون تاونزند.

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

α به E و P بستگی دارد.

λ = فاصله متوسط آزاد
میانگین فاصله ای که یک الکترون بدون برخورد طی می کند

بالطبع انرژی الکترون هنگام برخورد اضافه می شود

هر چه $E\uparrow$ افزایش یابد ← سرعت حرکت الکترون زیاد می شود

تعداد برخوردهای یونیزه کننده بیشتر می شود $\alpha\uparrow$

$\lambda\uparrow$ هم زیاد می شود

زمان حضور الکترون در فاصله بدون برخورد کم خواهد بود و فاصله بدون برخورد بیشتر خواهد بود

$(\lambda\downarrow)$

P فشار زیاد یعنی تراکم ذرات زیاد باشد، پس هر چه $P\uparrow$ بیشتر باشد ← تراکم ذرات بیشتر است ← فاصله ی متوسط آزاد کم باشد و انرژی الکترون ها کم خواهد بود

احتمال برخورد بیشتر است

احتمال برخورد با P رابطه مستقیم دارد

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

تاثیر 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 فاصله x از کاتد

n_0 : 〃 〃 0 〃 〃

تعداد برخوردهای یونیزه کننده به ازای حرکت یک الکترون در طول یک سانتی متر

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

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

$$x = d \; \Rightarrow \; n_d = n_0 e^{\alpha d}$$

تعداد الکترون هایی که طی مسیر d آزاد می شوند

تعداد نسبی الکترون هایی که آزاد شده اند

یا تعداد الکترون های آزاد نسبی

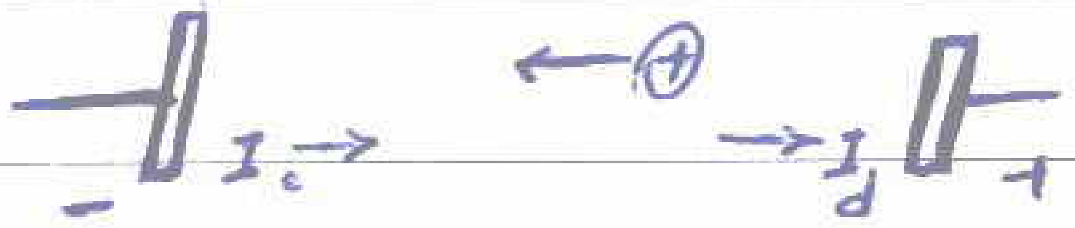
$$\boxed{\frac{n_d - n_0}{n_0} = \frac{n_0 e^{\alpha d} - n_0}{n_0} = e^{\alpha d} - 1}$$

تناقض با قوانین مداری

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

جریان ناشی از الکترون ها در x=0 هست I_0

$I_d > I_0$. و در x=d هست I_d که I_d از I_0 بزرگتر است که این برای این طریق ممکن است که یون های مثبتی که تولید می شود به سمت کاتد می روند



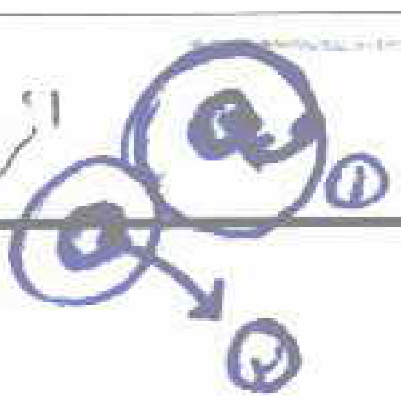
که جمع جبری این جریان ها صفر خواهد بود.

پروسه ثانویه: Secondary Process

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

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

γ_3 (iii) ذرات ناپایدار ممکن است انرژی آزاد کننده داشته و از آن الکترون آزاد شود. الکترون های آزاد شده ی ثانوی



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

تعداد الکترون های آزاد شده در اثر مرحله ی ثانوی که در اثر برخورد یون ها با کاتد در نظر می گیریم

یا الکترون های آزاد ثانوی

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

تعداد کل الکترون های ساطع در کاتد: n''

تعداد کل الکترون هایی که به آند می رسند.

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

$$\overset{\text{در محل آند}}{n} - \overset{\text{در محل کاتد}}{n''} = \underbrace{n - (n_0 + n_0')}_{\text{تعداد e آزاد شده در حرکت های اولیه به سمت آند}}$$

به ازای هر الکترون که آزاد شده در مرحله اولیه، در برخورد یون ها به کاتد γ برابر الکترون آزاد می شود پس:

هم دو بار n_0'

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

(در این جا هر الکترونی که آزاد شده است چند یون مثبت ایجاد می کند که در جهت خلاف حرکت می کنند)

از حذف n_0' بین ① و ②

رابطه ی تانزند:

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

۲۵۵-۱۴ 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: $\gamma(e^{\alpha d} - 1) \geq 1$

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

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

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

که هر الکترون آزاد شده γ تا الکترون ثانوی آزاد می کند

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

در بالای صفحه:

حال این الکترون ها در مسیر حرکت شان تا آند ها الکترون های ثانوی ایجاد می کنند که حالا این تعداد الکترون ها معادل کردیم با الکترون هایی که به خاطر عامل های خارجی ایجاد می شد

از کاتد که به خاطر عامل های خارجی الکترون آزاد می شد که این الکترون ها ممکن که حالا به آند برسند.

قانون پاشن :

فشار × فاصله ی دو الکترود

ولتاژ شروع تخلیه تابعی از pd است.

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

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

min

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

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

گاما

چرا در رابطه γ ، p نداریم؟

چون γ خودش از α مشتق می شود و خود p در α لحاظ شده است

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

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

$$①②③\longrightarrow f_2\left(\frac{E}{p}\right)\left[e^{pd f_1\left(\frac{E}{p}\right)}-1\right]=1$$

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

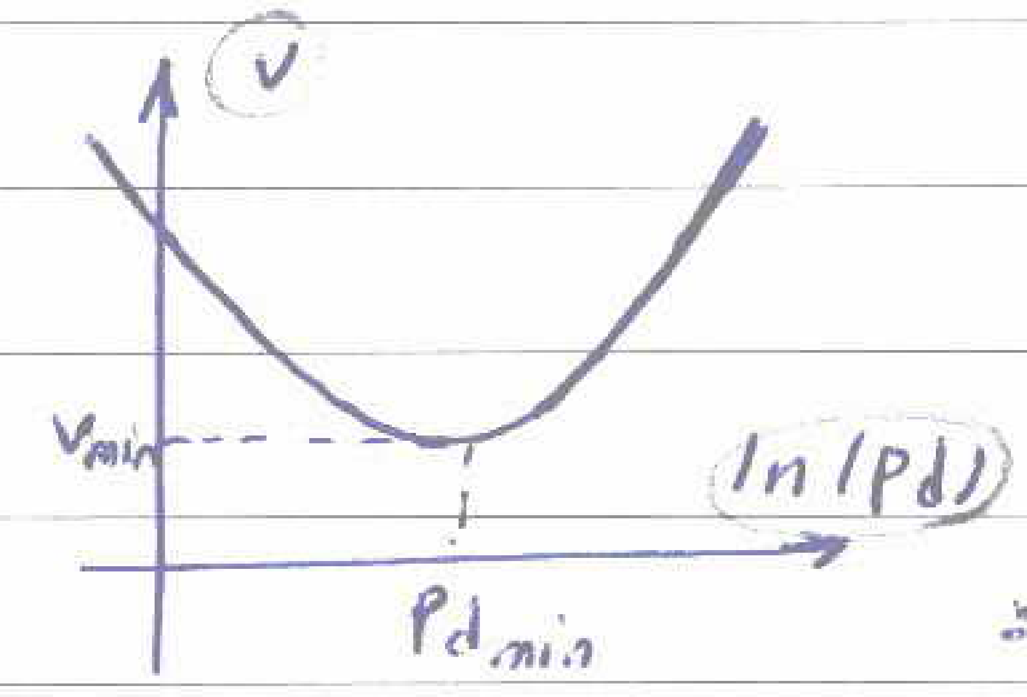
کامل

V ولتاژ شکست (وقتی شروع تخلیه)

d فاصله ی 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 کم 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 ی مسیر آزاد کم می شود که الکترون ها برخوردهایشان انرژی کافی برای یونیزاسیون ندارند یعنی قبل از اینکه سرعت بگیرند برخورد می کنند

یا d بزرگ است ← فاصله زیاد شده است ← احتمال هدر رفت الکترون در اثر [illegible] های هوا زیاد می شود

Subject: ۲۱ [illegible] $\begin{cases} P = ۷۶\,cm\,Hg \\ T = ۲۹۳\,°k \end{cases}$ $V = ۲۴٫۲۲\,d + ۶٫۰۸\sqrt{d} \longrightarrow E = \frac{V}{d} = ۲۴٫۲۲ + \frac{۶٫۰۸}{\sqrt{d}}$

Year: Month: Date: ( )

راههای که برای هوا بدست آورده اند بصورت تجربی:

فشار برحسب mm Hg

cm

ولتاژ شکست هوا برای فاصله d

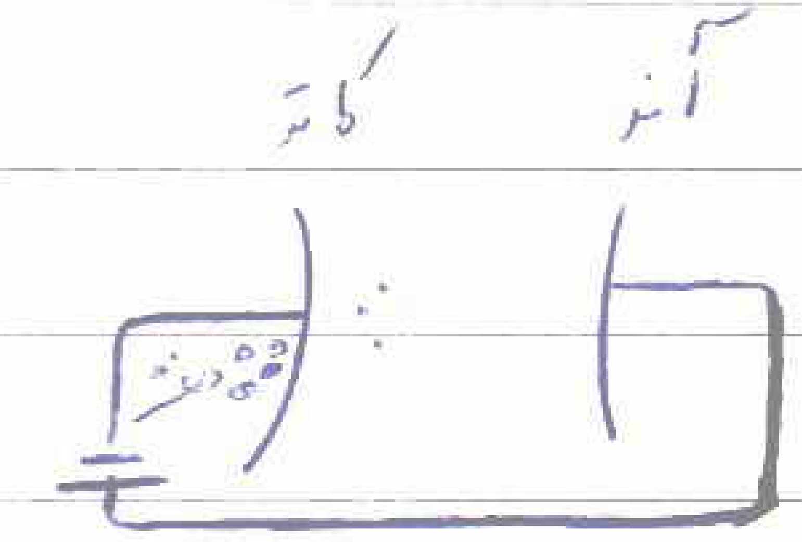
$$\boxed{V = ۲۴٫۲۲\left[\frac{۲۹۳\,Pd}{۷۶۰\,T}\right] + ۶٫۰۸\left[\frac{۲۹۳\,Pd}{۷۶۰\,T}\right]^{۱/۲}}$$

KV

درجه حرارت بر کلوین

ولتاژ شکست هوا برای یک سانتی متر ۳۰ KV است.

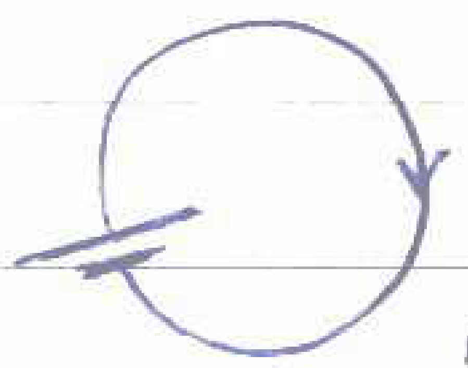
۳۰ KV/cm



اگر کاتد گرم شود باعث می شود الکترون راحت تر از سطحش جدا شود.

-۲۷۳ °C

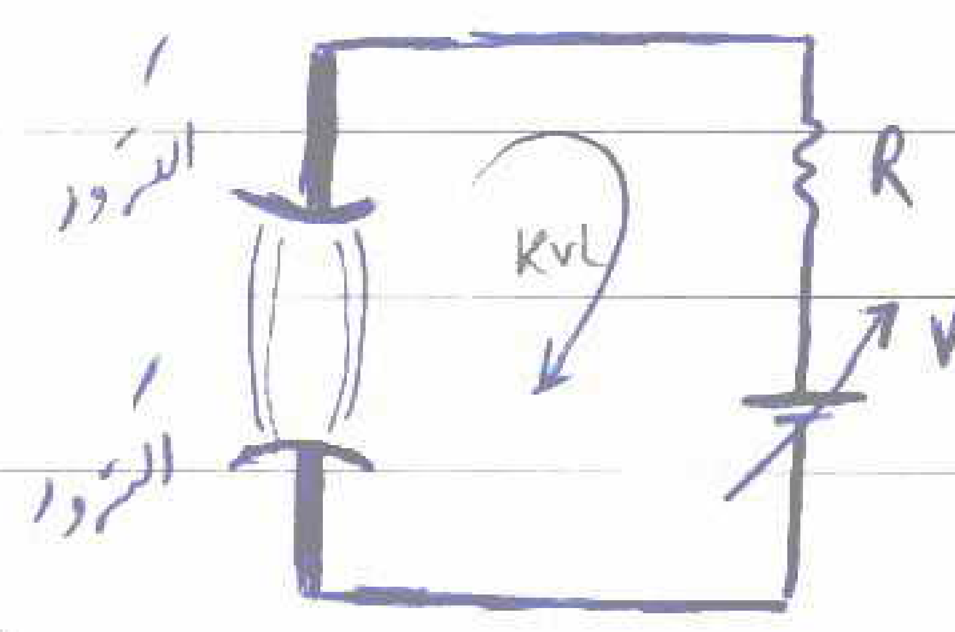
الکترون ها از سطح کاتد آزاد می شوند البته اگر درجه حرارت کاتد از صفر مطلق بیشتر باشد. در اثر این الکترون های آزاد روی کاتد حفره ایی ایجاد می شود که در اثر جاذبه آند الکترون ها به سمت آند می روند دوباره ممکن است حفره های کاتد باز گردند

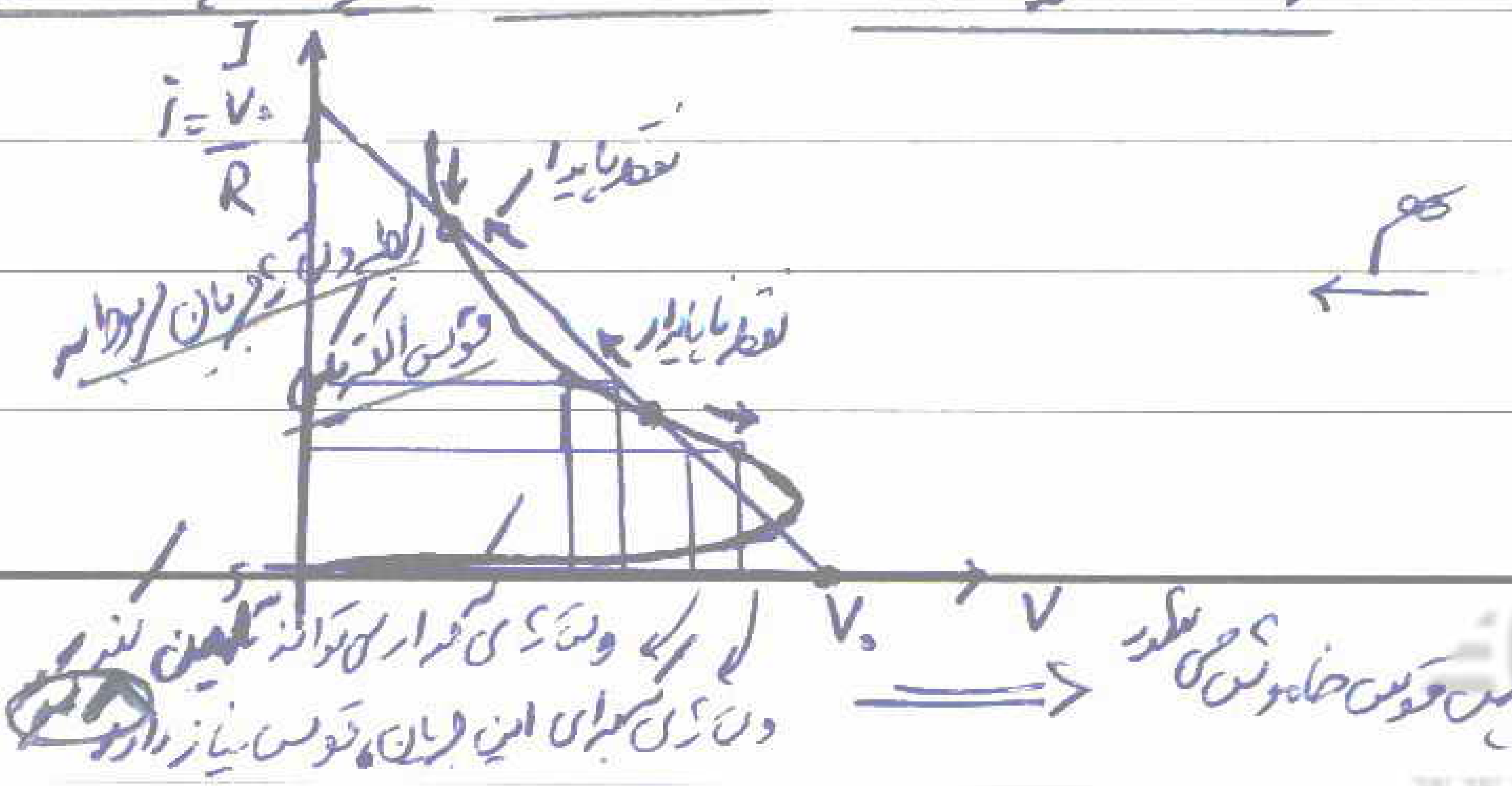


جریان جاری شده در مدار میدان مغناطیسی ایجاد می کند که این میدان نیرویی به سمت خارج وارد می کند و همین عامل مدارها میل به گسترده و باز شدن را دارند

جرقه های [illegible]
طول قوس زیاد می شود
کنتاکت ها

جاهایی که بخواهند استقامت الکتریکی را افزایش دهند فشار را افزایش می دهند که کاهش حجم تجهیزات پست های GIS.





ولتاژی که قرار است تواند تأمین کند

ولتاژی که برای این جریان، قوس نیاز دارد

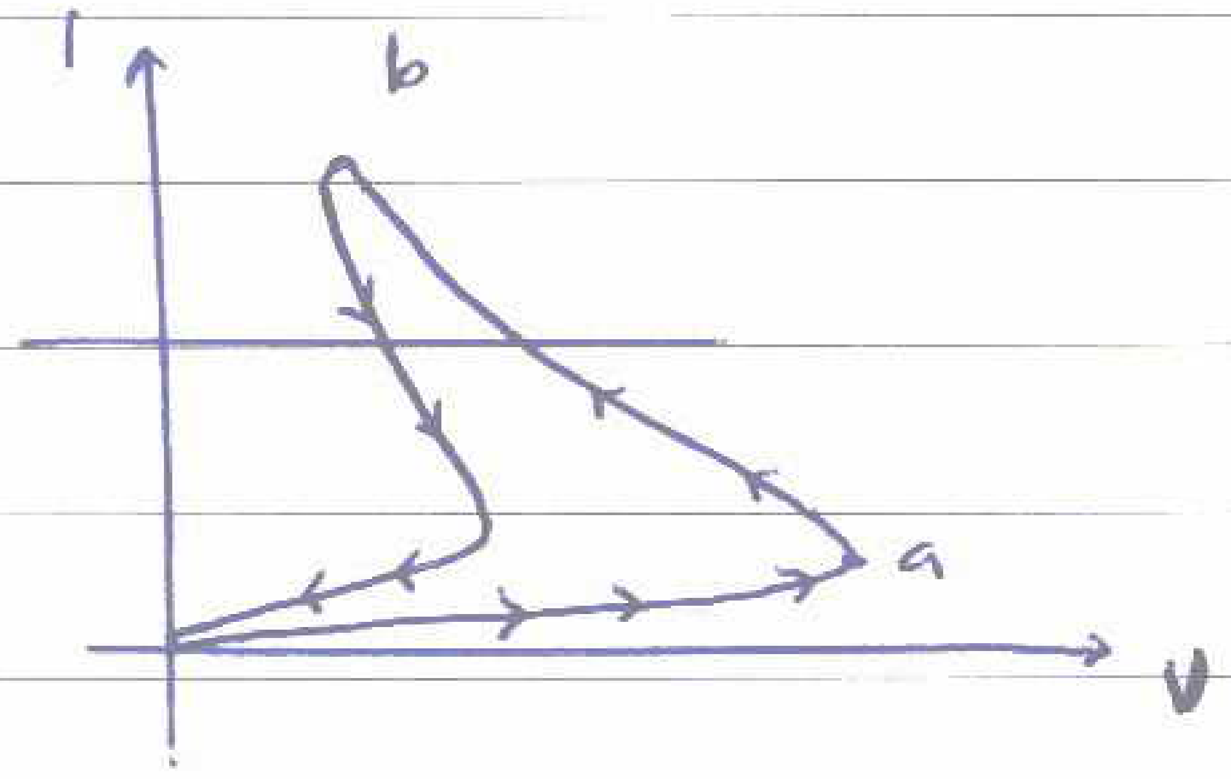
$\Longrightarrow$ میل قوس خاموش شدن می کند

$V = f(i)$

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

مشخصه ی دینامیکی قوس :

اگر آرام ولتاژ را کاهش دهیم روی همان مسیر رفت برمی‌گردیم ولی اگر سریع و نامنظم ولتاژ را کاهش دهیم روی مسیر دیگر برمی‌گردیم



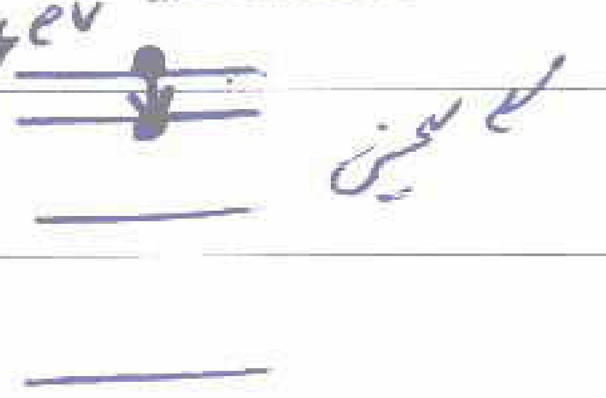
یعنی می‌توان گفت در برگشت چون جسم گرم شده است
ولتاژ کمتری مورد نیاز است.

اثر Penning :

مخلوط آرگون و نئون

آرگون ← سطح پتانسیل یونیزاسیون آن ۱۵/۱ ev است.

نئون ← کوچکترین سطح ناپایدار نئون ۱۶ ev انرژی دارد.



انرژی یونیزاسیون < کوچکترین سطح ناپایدار نئون

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

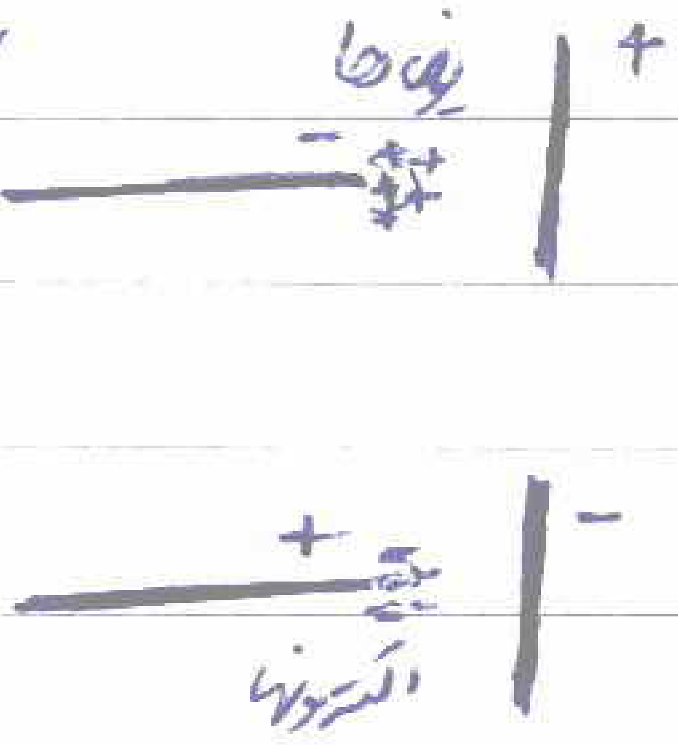
استقامت الکتریکی مخلوط این دو از هر دوی آنها پایین‌تر است و قانون پاشن هم برای مخلوط صادق نیست.

تخلیه‌ی یونی باعث می‌شود اطراف نوک تیز کمی 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 اتفاقاتی‌های ثبت شده در خطوط انتقال در نیم سیکل مثبت است به همین دلیل بالا [illegible] اینکه ولتاژ شکست کرونای مثبت کمتر است

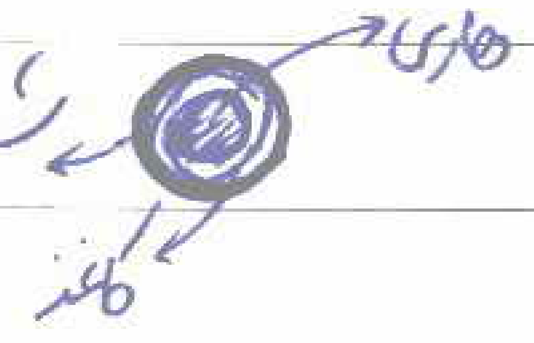
کرونای منفی: بصورت جریان‌های پالسی Trichel Pulses می‌باشد و نور آن تقریباً متمایل به قرمز است.

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 مخصوصاً اگر در شیب استفاده شوند



۲- ترانسفورماتورها

۴- خازن‌ها

۳- کلیدهای روغنی

وظایف روغن:

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

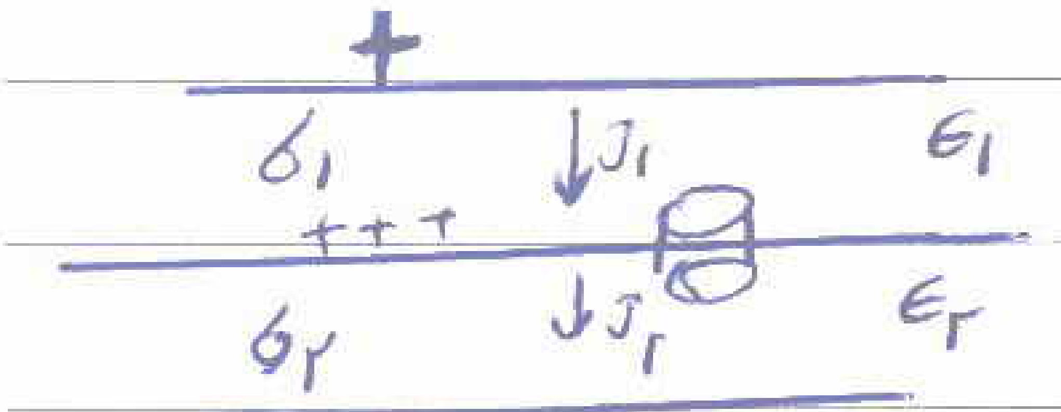
معمولاً از نفت بدست می‌آید ، از هیدروکربن‌ها هم می‌توان روغن تولید کرد ، از گیاهان هم می‌توان روغن تولید کرد.

در درجه حرارت‌های بالا از هیدروکربن فلوردار استفاده می‌کنند.

- در درجه حرارت بالا ← از هیدروکربن‌های فلوردار و روغن سیلیکن استفاده می‌شود

روغن سیلیکن تحمل حرارتی بالاتری دارد.

ابتدا $J_1 > J_2$ بار در مرز جمع شد پس اختلاف پتانسیل خازن بیشتر خواهد شد پس J_2 بیشتر خواهد شد و این ادامه خواهد داشت تا $J_2 = J_1 = J$ شود



به شرطی جریان عبور می‌کند که 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 ثابت

میدان در بلند مدت اینگونه تقسیم می‌شود:

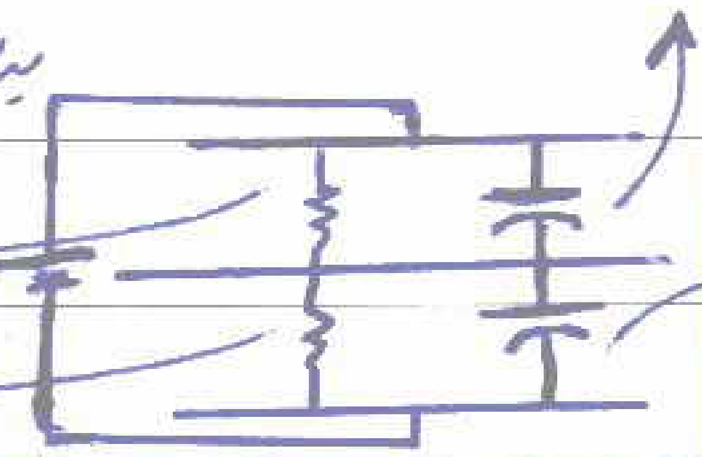
$$\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

برای مدل کردن رفتار زمانی:

یک مدار RC است که اگر در معادله $t = 0$

آن این دو t را بگذاریم این معادله‌ها $t = \infty$ 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.

خصوصیات مهم عایق مایع:

- هدایت الکتریکی باید کم باشد.

ناخالصی‌ها به شکل الیاف هم شده پیوسته استقامت الکتریکی را کاهش می‌دهند چون الیاف، عایق را پل می‌زنند و در میدان قرار می‌گیرند

- ثابت دی‌الکتریک فرض می‌شود معمولاً 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.

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

- پایداری حرارتی باید زیاد باشد

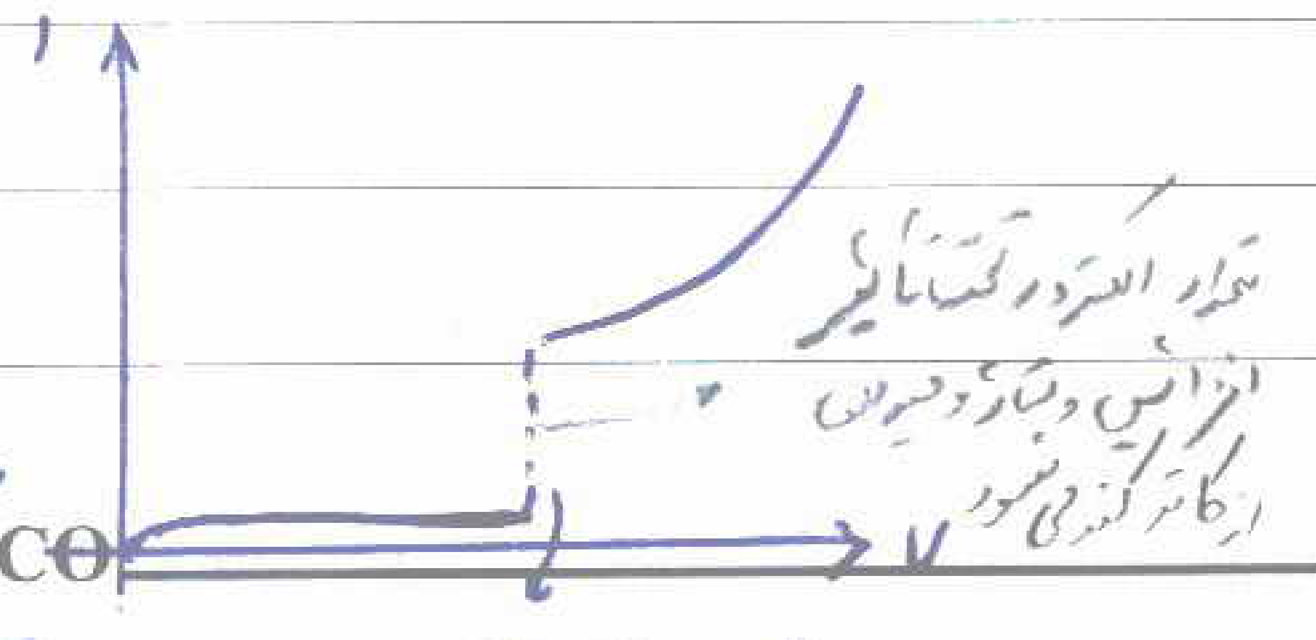
- وزن مخصوص باید کم باشد. - عاری از ناخالصی باشد

- ارزان - کاربردهای متعدد

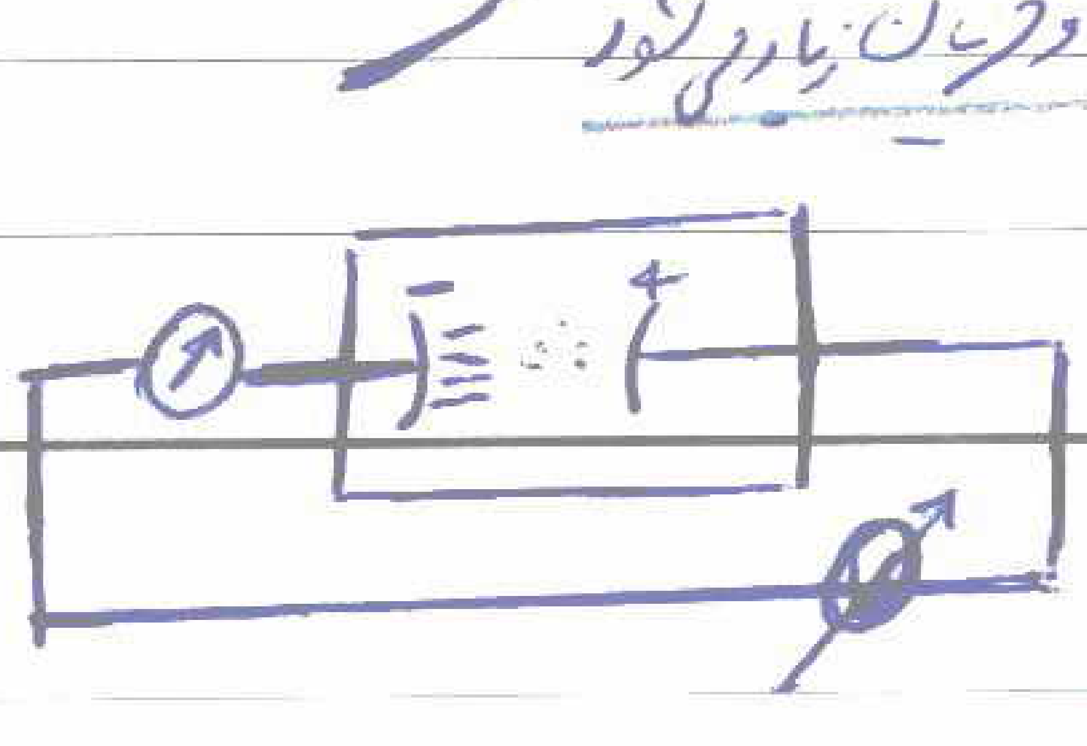
مهم‌ترین معیار انتخاب، پایداری شیمیایی است

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

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

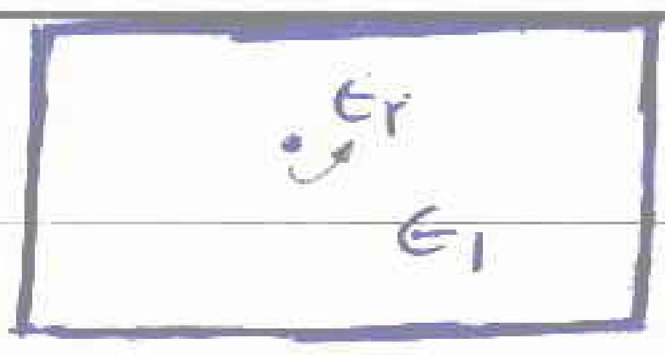


در این قسمت ابتدا مقداری از عایق مایع به تدریج تبدیل به گاز می‌شود



یکی از تئوری‌های که بیان می‌شود

الف) تئوری ذرات معلق در مایع:



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

ذرات پراکنده نمی‌شوند بلکه شکل می‌گیرند و یک زنجیره را تشکیل می‌دهند

و ممکن تکثیر در راستای خط‌ها شود اگر ضریب ذرات از ضریب مایع بیشتر باشد

$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ باشد نیرو به سمت شدت میدان قوی‌تر است.

$\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ باشد " " " " ضعیف‌تر است.

با توجه به فرمول

ب) تئوری حباب‌های هوا و گاز

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

شعاع ذره

شدت میدان در اطراف ذره زیاد خواهد شد و تخلیه ایجاد می‌شود

$E_1 \gg E_2$

در نتیجه روغن هم تجزیه شده و گاز تولید می‌شود

ج) تئوری حجم مایع تحت فشار الکتریکی

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

بررسی
در واقع حجم مایعی که شدت میدان در آن زیاد است با شکست تخلیه زودتر صورت می‌گیرد

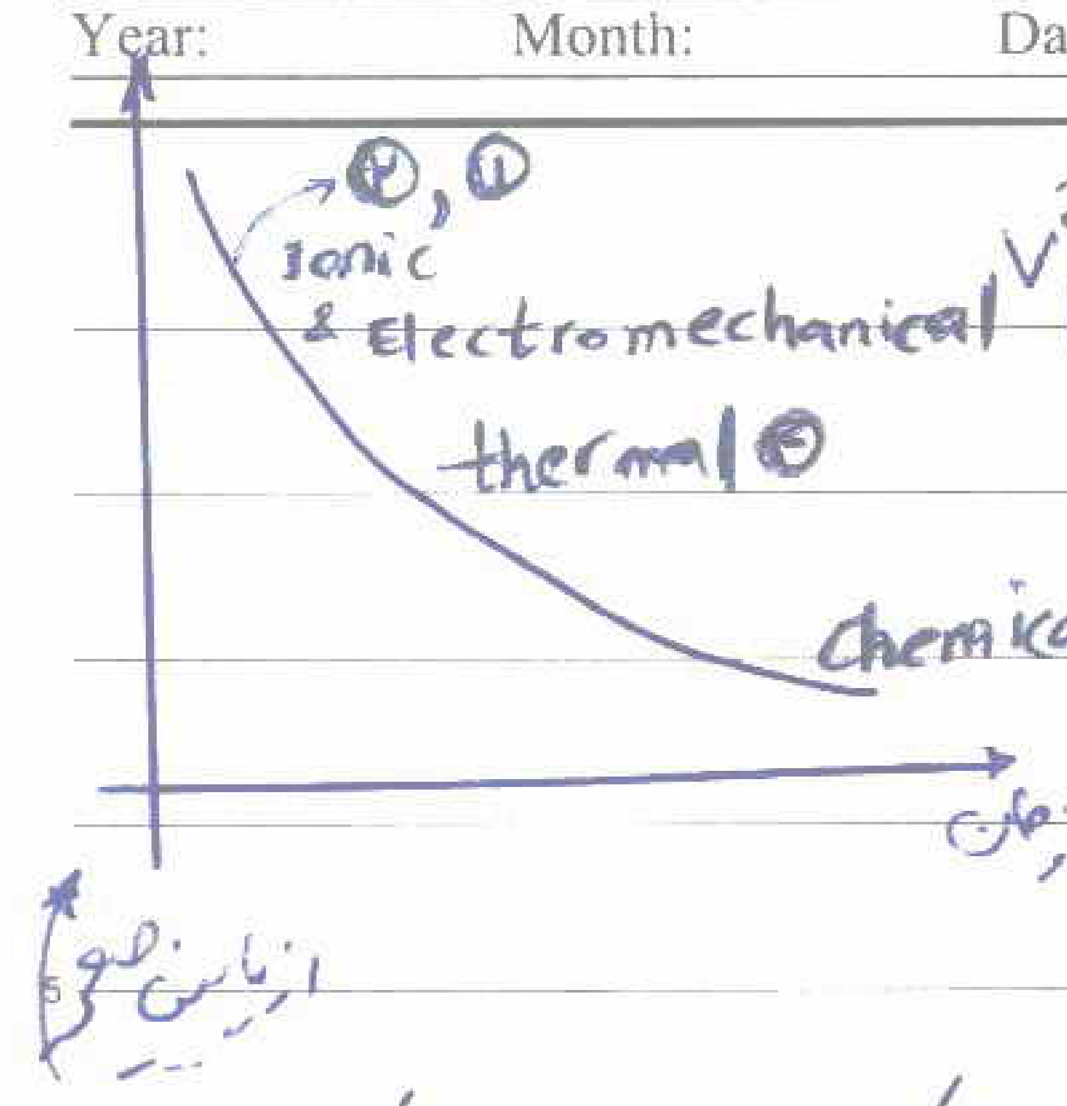
E_{max} شدت میدان ... کمتر شود

$E_{min} \sim E_{max}$

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

ولتاژ شکست بطور معکوس متناسب است با حجم مایع تحت فشار الکتریکی — 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 ← V ؛ کوچکتر از ۱ ← n ؛ فاصله دو الکترود ← d ؛ ثابت ← A

۱- رابطه ولتاژ شکست و فاصله‌ی دو الکترود خطی نیست

۲- ولتاژ شکست به شکل الکترود بستگی دارد.

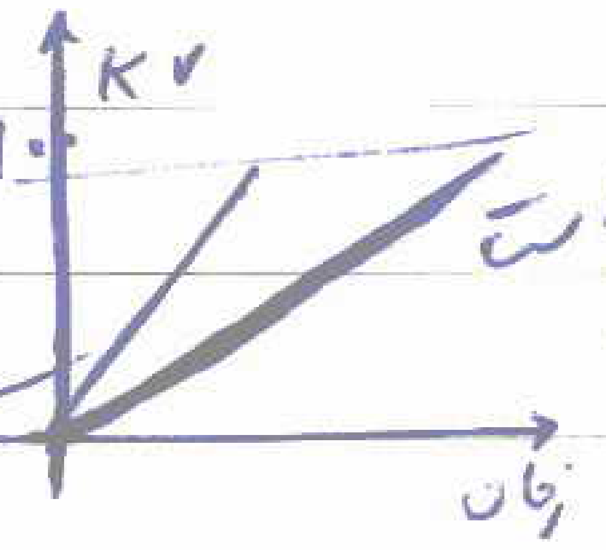
۳- شکل فشار هم روی ولتاژ شکست تأثیر دارد.

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 بالا باشد شکست در ولتاژ بیشتری رخ می‌دهد



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

۵- پیچیدن کاغذ دور سیم باعث می‌شود استقامت عایقی مایع زیادتر شود چون جلوی مقدار زیادی از حامل‌های جریان را می‌گیرد مثل پل شد.

مثلاً: پل برقرار نمی‌شود چون مانع گذاشته‌ایم

عایق‌های جامد:

اگر شکست الکتریکی در عایق جامد اتفاق بیافتد 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 دی‌الکتریک کم ۳- خالص بودن

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

مکانیزم‌های شکست الکتریکی در عایق‌های جامد:

۱- interisic یا Ionic ← که چون دیر در راستا باشد

ولتاژ زیاد هم نیست ولی مدت زمان طولانی لازم دارد

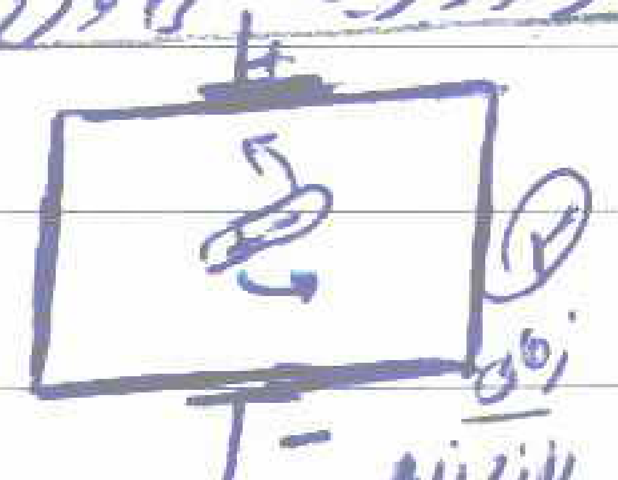
۲- Electromechanical ← در مورد کریستال‌های پلیمری که مولکول‌های حلقوی دارند

۳- شکست به علت Tracking و treeing

۴- شکست حرارتی ← به خاطر عبور جریان نشتی و گرم شدن

۵- شکست شیمیایی (الکتروشیمیایی) یا یونیزاسیون

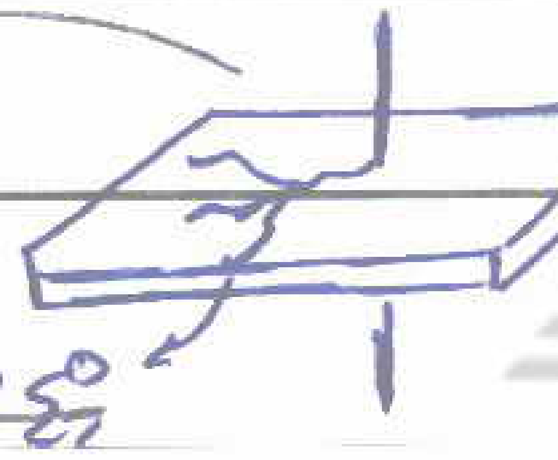
۶- شکست تخلیه جزئی داخلی ← که داخل آن حباب هوا باشد ← یا شکست در اثر حباب‌های هوا و گاز



زمان زیاد لازم دارد

این مورد از سطح عایق شروع می‌شود در حالی که خرابی عایق ← برخلاف ۵ مورد دیگر

③



هیچ دو شاخه‌ای هم نمی‌شود

معمولاً عایق‌های پلیمری مثبت یا منفی دور عایق می‌زنیم

دارای اثرات شیمیایی خواهیم بود که بعد از زمان طولانی ولتاژ