طرح و ساخت دستگاه اندازه‌گیری پریود راکتور اتمی

نوشته

یوسف متولدی نوبر

موسسه علوم وفنون هسته ی دانشگاه تهران

چکیده :

بااستفاده از عناصر نیم رسانا ومدارهای یکپارچه، دستگاهی جهت اندازه‌گیری پریود راکتور اتمی طرح‌و ساخته‌شده‌است یک‌آشکارساز نوترون که‌در محل مناسبی‌در راکتور قرار گرفته‌فلوی‌نوترونی‌راکه معرف توان راکتور است می‌سنجد. بابهره‌گیری از مشخصات ترانزیستورهای مخصوص، از جریان حاصل از آشکارساز نوترون لگاریتم‌گرفته شده وتغییرات لگاریتم جریان اخیر نسبت به‌زمان اندازه‌گیری می‌شود. این تغییرت، متناسب باعکس پریود راکتور است وتوسط میکرو آمپر متری که صفحه آن بصورت زمان درجه بندی شده است نشان داده می‌شود. این زمان بسته به‌نوع راکتور اتمی باید در داخل حدودی قرارگیرد. در راکتور تهران درصورتی که این زمان از ده‌ثانیه یا سه‌ثانیه کمتر شود سیستم‌های ایمنی متفاوت خودکاری بکار افتاده واز بروز هرنوع حادثه جلوگیری می کند.

مقدمه: یکی‌از عوامل بسیارمهمی که برای کنترل یک‌راکتور اتمی در نظرگرفته می‌شود پریود آن است. بنابه تعریف ، پریود راکتور فاصله زمانی‌است که قدرت راکتور در آن فاصله ، موقع افزایش e برابر یاموقع کاهش $\frac{1}{e}$ برابر گردد ($e=2/7$ مبنای لگاریتم نپری است).

بااینکه پریود راکتور بطور مداوم اندازه‌گیری می‌شود ولی اهمیت آن در مواقعی‌است که قدرت راکتورافزایش داده می‌شود: چه‌سیستم خنک کننده در هر فاصله زمانی باید قادر باشد حرارت ایجاد شده در اثر شکست هسته‌های اورانیوم راکه درقلب راکتور بوجود می‌آید خارج نماید بنابراین برای جلوگیری از ذوب وتغییرشکل محلی میله‌های سوخت راکتور که خطرات خیلی جدی ببارمی‌آورد، در بالابردن قدرت راکتور یا بعبارت دیگر در شیب افزایش‌قدرت راکتور محدودیت زمانی قائل می‌شوند ومعمولا بااندازه‌گیری پریود راکتور وقرار دادن سیستم‌های ایمنی متعدد اعمال می کنند بدین ترتیب می‌توان از نحوه کار راکتور اطمینان حاصل کرد. بدیهی‌است سیستم اندازه‌گیری پریوددرموقع کاهش قدرت، پریود منفی و درموقعی که قدرت راکتور ثابت است پریود بی‌نهایت نشان خواهد داد. سیستم کنترل راکتور تحقیقاتی‌تهران که درسال ۱۹۶۰ (۱) طرح وساخته شده‌است‌از لاسپ‌های الکتریکی‌ورله‌های‌الکترومکانیکی‌بهره‌می‌گیرد. مادرضمن برنامه ترانزیستوری کردن قسمت‌های اساسی این سیستم کنترل بااستفاده از عناصر نیم‌رسانا ومدارهای یکپارچه، کانال جدیدی برای اندازه ـ

گیری پریودطرح ریزی کرده وساخته‌ایم. این سیستم در آزمایشگاه وبااستفاده از چشمه‌های نوترون وژنراتورهای امواج مثلثی آزمایش شده ونتایج خوبی داده است ولی متأسفانه بدلیل عدم دسترسی به‌راکتورنتوانسته‌ایم آنرا در روی راکتور آزمایش نمائیم. اطمینان داریم که سیستم، در شرائط واقعی راکتور نیز مانند آزمایشگاه وظائف خودرا انجام خواهدداد.
می‌دانیم تغییرات قدرت P در راکتورها بصورت زیر داده شده است :

$$P = P_{\circ} e^{\mp \frac{t}{T}}$$

دراین رابطه T پریود راکتور است می‌توان نوشت :

$$\log_e \frac{P}{P_{\circ}} = \mp \frac{t}{T}$$

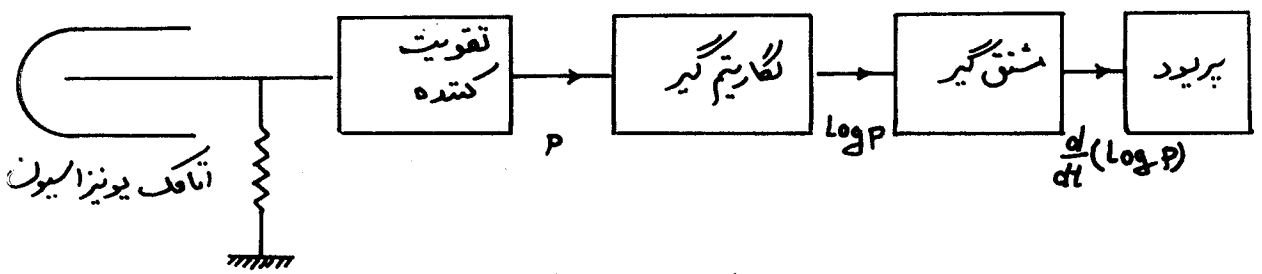
اگر ازطرفین نسبت به‌زمان مشتق‌گرفته شود پریود راکتور ظاهر می‌گردد:

$$\frac{d}{dt}\left(\log \frac{P}{P_{\circ}}\right) = \mp \frac{1}{T}$$

دیده می‌شود که برای اندازه‌گیری پریود باید ابتدا قدرت وسپس تغییرات لگاریتم آن اندازه‌گیری شود تاپریود راکتورمعلوم گردد.
ماازبین روش‌های مختلف اندازه‌گیری قدرت‌دقیق ترین‌آن‌یعنی‌استفاده ازفلوی نوترون موجود درقلب راکتور را انتخاب کرده‌ایم .

مشخصات فنی دستگاه اندازه‌گیری پریود :

جریان حاصل از اطاقک یونیزاسیون برای قدرت راکتور، از حدود چند کیلووات تا ۵ مگاوات، بین $۱۰^{-۱۱}$ آمپر تا $۱۰^{-۶}$ آمپر است (پائین‌تراز قدرت‌های چند کیلووات اطاقک یونیزاسیون حساس نبوده واز اطاقک فیسیون‌استفاده‌می‌شود). جریان فوق باید تبدیل به‌ولتاژ شده وسپس آنقدر تقویت‌گردد تاتقویت‌کننده لگاریتمی بتواند بطور صحیح کارکند. برای این منظور لازم‌است که تقویت‌کننده‌ای بابهره تقویت در حدود ۱۰۰۰ قرار داده شود.
ازولتاژ خروجی تقویت‌کننده‌ها باید لگاریتم‌گرفت تا P $\log$ ظاهر شود. سپس برای‌ظاهرکردن $\frac{d}{dt}(\log_e P)$ که متناسب با $\frac{1}{T}$ است باید از خروجی تقویت‌کننده‌لگاریتمی مشتق گرفته شود . دیاگرام مدار مورد استفاده بصورت شکل ۱ است .



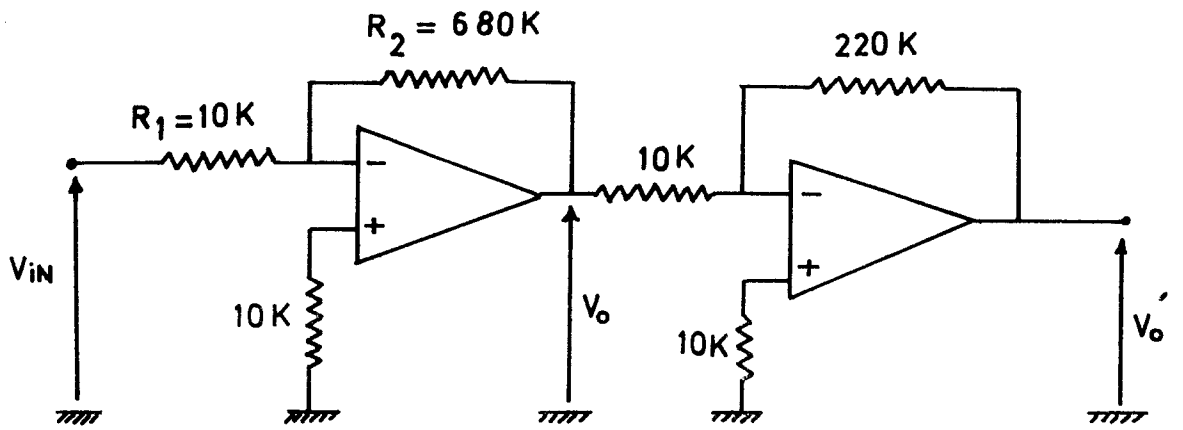
شکل ۱ دیاگرام دستگاه اندازه‌گیری پریود

گفتیم که برای پریود هرراکتور محدودیتی موجود است برای راکتور تهران در امیرآباد، این حدده‌ثانیه است بطوریکه اگر پریود از ده‌ثانیه کمتر شود سیستم شمارش معکوسی بعنوان مهلت به‌مدت ۳۰ ثانیه راه می‌افتد تاکارگردان را ازکم‌شدن پریود آگاه سازد. سیستم دیگری همراه دستگاه اندازه‌گیری پریود وجود دارد که اگر پریود بطور ناگهانی به سه ثانیه برسد درمدت ۰/۱ ثانیه راکتور را بسرعت خاموش می‌نماید.

حال بشرح یک‌یک مدارهای طرح شده می‌پردازیم:

۱ ـ طبقات تقویت کننده :

بطوری که دیدیم خروجی اطاقک باید در یک تقویت کننده در حدود ۱۰۰۰ مرتبه تقویت گردد تاسیگنال ولتی لازم برای کارتقویت کننده لگاریتمی تأمین گردد . برای اینکار از مدار شکل ۲ استفاده شده است. مدار برای تمام سیگنالهای جریانی صادره از اطاقک مناسب است.



شکل ۲ـ تقویت کننده‌های بابهره ۱۰۰۰

می‌دانیم بهره تقویت در تقویت کننده‌های عملیاتی بالا تقریباً برابر $\frac{R_2}{R_1}$ است . بادر نظرگرفتن این رابطه دیده می‌شود که بهره طبقه اول ۶۸ و طبقه دوم ۲۲ بنابراین رویهم برابر با ۱۰۰۰ ≃ است این مقدار بهره برای گرفتن لگاریتم از جریانهای در حدود اطاقک یونیزاسیون کافی است .

۲ ـ تقویت کننده لگاریتی :

می‌دانیم جریان در یک دید نیم رسانا از رابطه زیر بدست می‌آید(۲):

$$I = I_f - I_r = I_{f_0}[\exp(qv/kT) - 1]$$

دراین رابطه I جریان کل دید، I_f جریان در حالت مستقیم، I_r جریان‌در حالت معکوس، I_{f_0} جریان اشباع، q بار الکترون، v ولتاژ دوسردید، kضریب ثابت بولتزمن و Tدرجه حرارت مطلق محیط است. در صورتیکه v مثبت باشدمی‌توان ازیک در داخل پارانتز صرف‌نظر کرد. دیده می‌شود که رابطه جریان دید باولتاژ دوسرآن بصورت‌لگاریتمی در می‌آید.اگر دیدی مانند (۱N۳۰۶۳) را همراه یک تقویت کننده عملیاتی مانند شکل۳ قرار دهیم باتوجه به‌بهره تقویت کننده‌عملیاتی خواهیم داشت:

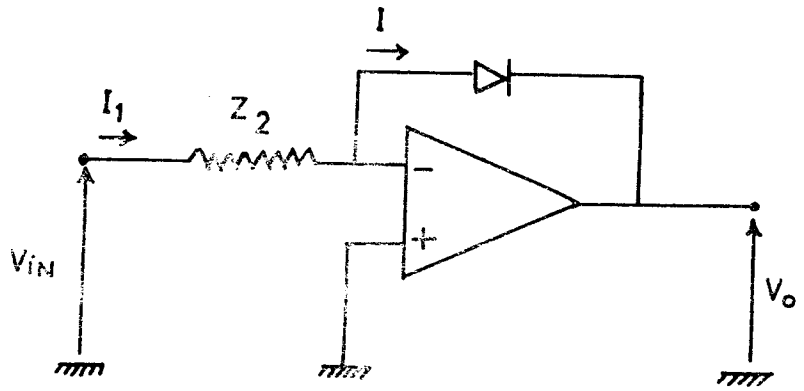
$$I = I_0[\exp(qv/kT) - 1] \simeq I_0 \exp(qv/kT)$$

باتوجه به $qV/KT \gg 1$ خواهیم داشت:

$$I \gg I_0$$

می‌توان نوشت :

$$v = \frac{kT}{q}(\log I - \log I_0) = \frac{kT}{q}\left(\log \frac{I}{I_0}\right)$$



شکل ۳- اساس تقویت کننده لگاریتمی

چون امپدانس ورودی تقویت کننده‌های عملیاتی از دیدگاه دو ورودی بی‌نهایت است لذا عملا جریانی از تقویت کننده عملیاتی عبور نمی کند پس:

$$I = I_1 = \frac{V_{in}}{Z_2}$$

ازطرف دیگر

$$V_o = -V = \frac{kT}{q}\left(log\ \frac{V_{in}}{Z_2 I_o}\right)$$

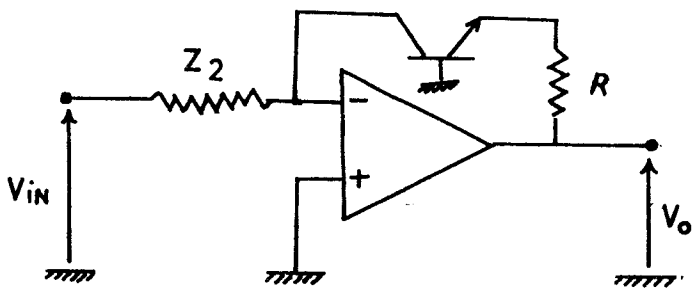
یا

$$V_o = \frac{kT}{q}\ (log V_{in} - log Z_2 I_o) = \frac{kT}{q}\ log V_{in} - k$$

برای ازبین بردن اثر مقاومت مستقیم عنصر لگاریتمی وهمچنین اثر پاسخ دیودبه فرکانس، بجای دیود ازیک ترانزیستور در مداربرگشت تقویت کننده عملیاتی استفاده کرده‌ایم (شکل ٤). بهره تقویت دراین حالت بصورت زیر است :

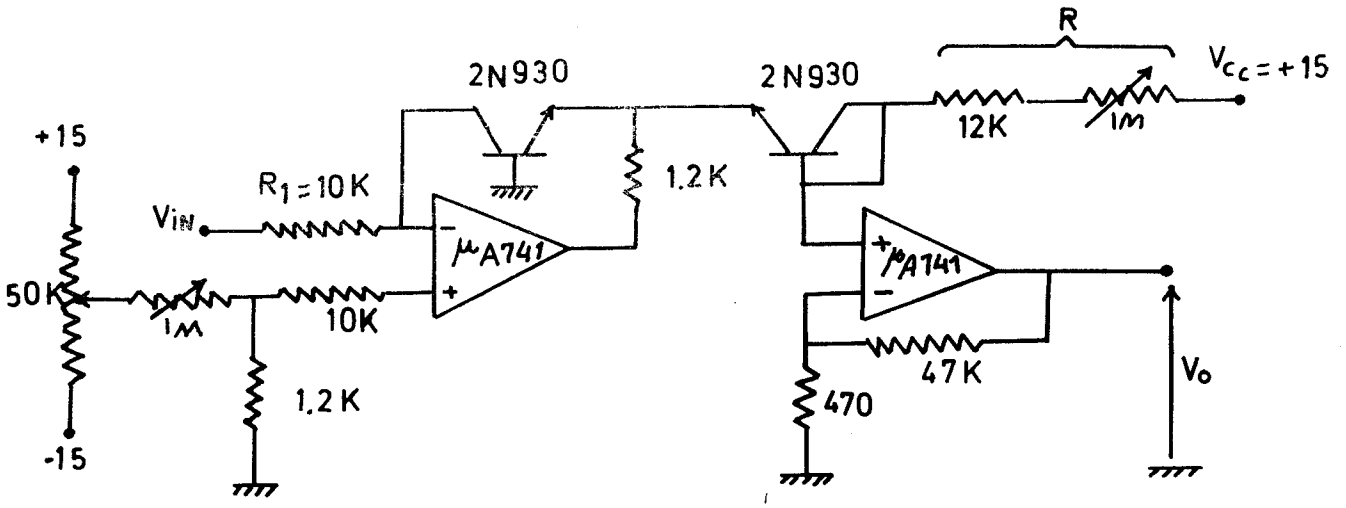
$$\frac{R + r_e}{Z_2}$$

که درآن r_e مقاومت دینامیکی امیتر و R مقاومت خارجی است



شکل ٤- تقویت کننده لگاریتمی بااستفاده از ترانزیستور

باسراجعه به‌مشخصات فنی چندین ترانزیستور برای انتخاب بهترین ترانزیستور از نظر داشتن مشخصات لگاریتمی، ترانزیستور ۲N۹۳۰ انتخاب شد(۳). بعد از چندین مدار، طرح نهائی بصورت مدار شکل ٥ مورد آزمایش قرار گرفت:



شکل ۵ـ تقویت کننده لگاریتمی

در این مدار می‌توان نوشت :

$$I_{E_2} \simeq I_{C_2} = \frac{V_{CC}}{R}$$

(زیرا $I_{B_2} \ll I_{C_2}$ است)

$$V_{BE_2} = \frac{kT}{q} \log I_{C_1}$$

ازطرف دیگر

$$I_{E_1} \simeq I_{C_1} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$V_{BE_1} = \frac{kT}{q} \log I_{C_2}$$

پس

$$V_{BE_1} - V_{BE_2} = \frac{kT}{q} \log \frac{RV_{in}}{R_1 V_{CC}}$$

مقدار ولتاژ فوق بصورت منفی در ورودی تقویت کننده عملیاتی دوم ظاهر می‌شود بنابراین در خروجی تقویت کننده ـ عملیاتی دوم خواهیم داشت:

$$V_o = -V_T A \log \frac{RV_{in}}{R_1 V_{CC}}$$

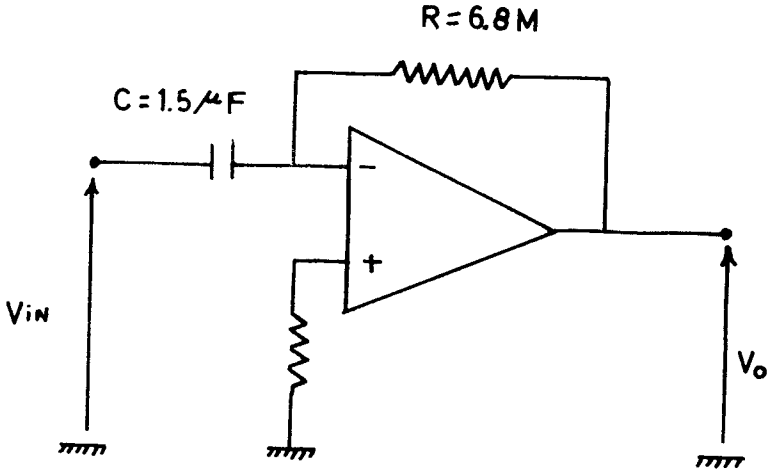
باتغییر ارزش مقاومت R می‌توان صفر خروجی تقویت کننده عملیاتی‌دوم را باهر مقدار ولتاژ ورودی تنظیم کرد. تغییرات جریان ورودی تقویت کننده لگاریتمی برحسب ولتاژ خروجی بصورت خطی است.

۳ ـ مدارمشتق گیری :

همانطورکه قبلاگفته شد از لگاریتم قدرت را کتور باید مشتق‌گرفته شود تا پریود را کتور بدست آید. این‌عمل بامدار شکل ۶ انجام شده است.

می‌توان نوشت:

$$V_o = A_{vd}(V_a - V_b)$$



شکل۶- مدار مشتق گیـری

$$V_a = ۰$$

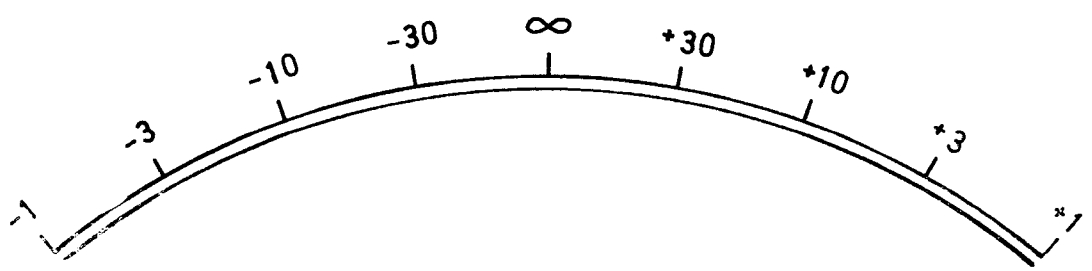
$$V_b = \frac{RV_{in} + \frac{۱}{jc\omega} \cdot V_o}{R + \frac{۱}{jc\omega}}$$

$$V_o = -\frac{Avd}{۱ + (۱ + Avd)\frac{۱}{jc\omega R}} V_{in}$$

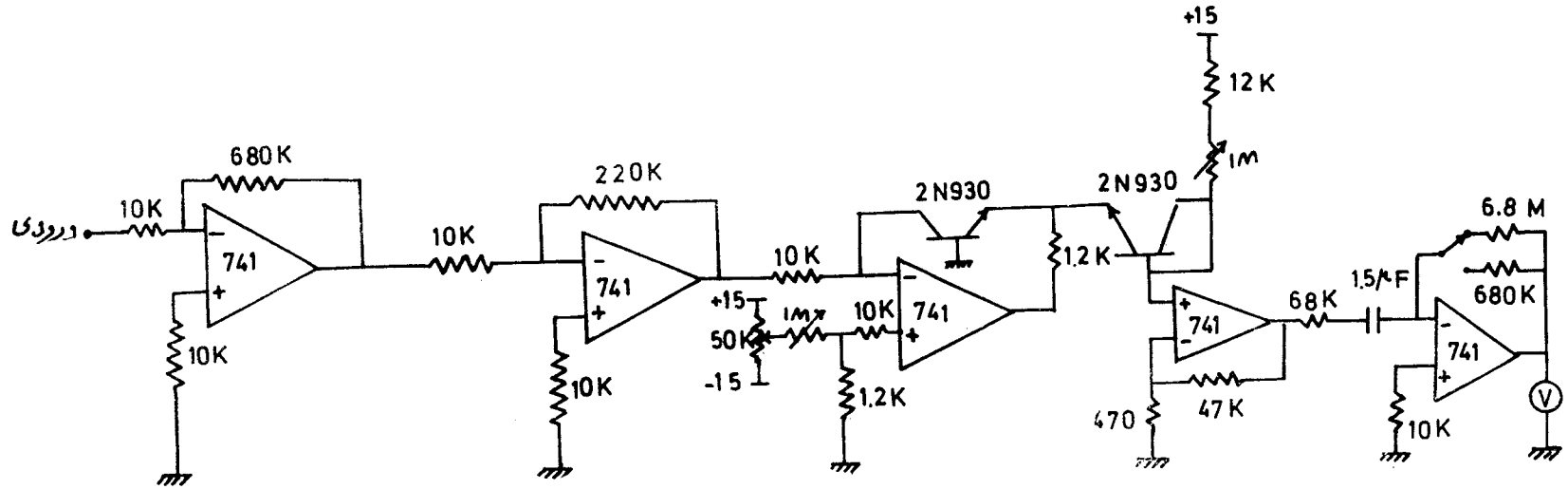
$$V_o = \frac{Avd}{۱ + Avd} \cdot \frac{Jc\omega R}{۱ + J\omega \frac{RC}{۱ + A_{vd}}} \cdot V_{in}$$

$$V_o(p) \simeq -\frac{PRC}{۱ + P\frac{RC}{A_{vd}}} \cdot Vin$$

با توجه به‌اینکه $p\frac{RC}{A_{vd}} \ll ۱$ است خواهیم داشت :



شکل ۷



شکل ۸- شمای کل مدار سنجش پریود راکتوراتمی

$$V_o(P) \simeq -PRCV_{in}$$

$$V_o(P) \simeq -RC\frac{d}{dt}(V_{in})$$

ملاحظه می‌شود که خروجی مشتق ورودی است. RC ثابت زمانی مدار مشتق است. با $R = ۶٫۸ M\Omega$ و $C = ۱٫۵ \mu F$ مقدار $RC \simeq ۱۰$ ثانیه است.

اگر R مساوی ۶۸۰ کیلواهم در نظرگرفته شود مقدار RC مساوی یک ثانیه می‌گردد. خروجی مدار مشتق توسط یک میکرو ولتمتر که درجه بندی آن بصورت شکل ۷ است نشان داده می‌شود .

نتایج تجربی :

شمای کلی مدار طرح شده بصورت شکل ۸ است. باتوجه به مقدار جریان اطاقک‌های یونیزاسیون، بااستفاده از یک مولد امواج مثلثی ، جریانهای بامقادیر مختلف که نسبت به زمان تغییرات خطی بادامنه وزمان تکرار قابل تنظیم دارد دستگاه را آزمایش کرده‌ایم نتایج حاصل بسیار رضایت بخش بوده ودستگاه برای نصب و کالیبره کردن در روی راکتور اتمی آماده است. مدار بصورت مدار چاپی تهیه شده ومنبع تغذیه آن بااستفاده از برق شهر بصورت ۱۵ ولت در داخل مدار آماده می‌شود.

منابع :

1—Operating Manual of T. U. R. R. - AMF , 1963

2—Discret and Integrated Semiconductor Circuitery by L.J. Herbst 1969

3—The Transistor and Diode Data Book, European Edition 1974