

# اندازه‌گیری اتوماتیک دما و کنترل حرارتی

## راکتور اتمی

دکتر علی یوسفخانی

گروه‌های تکنولوژی هسته‌ای و فیزیک دانشگاه تهران

### چکیده :

در طرح جدید برای اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف راکتور اتمی بجای آلمانهای آشکارسازی دما که قبلاً از مقاومتهای حساس به دما و ترسوکوپل استفاده میشد و اندازه‌گیری بطور دستی و بوسیله اپراتور انجام میگرفت، از دیودهای نیمرسانا استفاده شده است. دیود در محفظه شیشه‌ای که غیر قابل نفوذ آب است قرار داده شده. این دیود دارای با یاس مستقیم بوده و جریان کاملاً ثابتی از آن عبور میکند و ولتاژ دوسر دیود تقریباً بطور خطی با دما تغییر میکند. اگر دیود از لحاظ مشخصات مناسب باشد ممکن است دما را از حدود  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $500^{\circ}\text{C}$  با تقریب  $\pm 0.5\%$  اندازه‌گیری نمود. در این طرح کنترل حرارتی راکتور اتمی و همچنین خواندن دمای نقاط مختلف، اتوماتیک و بطور دیجیتال انجام میشود.

در راکتور تحقیقاتی نوع استخری اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف بوسیله اندازه‌گیری مقدار مقاومتی که (معمولاً پلاتین) با دما تغییر میکند انجام میشود. برای اینکار از مدار یک پل و ستون معمولی استفاده میشود که در سه شاخه آن مقاومتهای خیلی دقیق و معلوم و در شاخه دیگر آن مقاومت حساس به دما قرار دارد. در شاخه وسطی پل یک سیکروامپرمتر معمولی قرار داده شده است که وسیله اندازه‌گیری دما را تشکیل میدهد. در این سیستم اندازه‌گیری دمای نقاط چهارده گانه راکتور بوسیله چهارده مقاومت مشابه از نوع فوق‌الذکر انجام میشود باین ترتیب که بر حسب نقطه‌ای از راکتور که اندازه‌گیری دمای آن مورد نظر است بوسیله اپراتور مقاومت مربوطه در شاخه چهارم پل قرار میگیرد و در راکتور هیچگونه کنترلی از نظر حرارتی وجود ندارد و فقط مقدار دمای نقاط مورد نظر نشان داده میشود.

در طرح مورد بحث برای آشکار سازی دما از نیمرساناها استفاده شده و اندازه‌گیری و نشان دادن آن بطور دیجیتال بدو طریق زیر امکان پذیر است.

- ۱ - دمای چهارده دما سنج بترتیب شماره نشان داده میشود.
- ۲ - دمای چهارده دما سنج با هم مقایسه شده و دمای دما سنجی که بالاتر از همه است نشان داده می‌شود.

علاوه بر نشان دادن دمای نقاط مختلف راکتور ممکن است قدرت آنرا نیز معین و کنترل کرد باین ترتیب که قدرت راکتور با فلوی نوترن و یا بادمای تولید شده در قلب راکتور متناسب است لذا میتوان آنرا طوری میزان نمود و تیکه دما و یا قدرت راکتور از میزان مورد نظر تجاوز کند فرمانی تولید شده و راکتور را خاموش نماید.

## انتخاب آشکار ساز دما :

در این طرح ، آشکار ساز دما ، بایستی الکتریکی و غیر قابل نفوذ آب باشد زیرا در داخل استخر راکتور قرار میگیرد و حدود دمای اندازه گیری بین صفر تا  $0^{\circ}\text{C}$  . می باشد و ممکن است از وسایل زیر استفاده شود :

۱- مقاومت های فلزی .

۲- مقاومت های نیم رسانا .

۳- ترموکوپل .

۴- دیوید های نیم رسانا .

دما سنج با مقاومت فلزی با اینکه دارای دقت خیلی زیاد (حدود  $\pm 0.1\%$  در دمای محیط) است ولی چون امپدانس آنها خیلی کم میباشد لذا ظاهر کردن و نشان دادن تغییرات دما وسایل خیلی دقیق و گران قیمتی لازم دارد. در ترمیستورها تغییر مقاومت برحسب دما لگاریتمی و در حدود دمای مورد اندازه گیری ما آشکار ساز مقاومتش را تقریباً بتوان دو تغییر میدهد که اندازه گیری چنین تغییرات نیز مشکل است.

ترموکوپل ساختمانش خیلی ساده و با جریان مستقیم کار میکند و برای کار برد مورد بحث خیلی مناسب ولی کمی تغییراتش غیر خطی است. در دیوید های کرسطالی بین تغییرات دما و افت پتانسیل دو سر آن تقریباً رابطه خطی وجود دارد. از نظر کلی انتخاب ترموکوپل و دیوید های نیم رسانا جهت آشکار سازی دما مناسبتر است ولی انتخاب نهائی با توجه به اشکالات و محاسن زیر انجام گردید.

در ترموکوپل لازم است که اتصال مرجعی که در دمای ثابت قرار داده میشود داشته باشیم و با بایستی مدارات مربوطه طوری طرح شوند که تغییر دمای محیط جبران گردد. از طرف دیگر تغییر پتانسیل خروجی ترموکوپل با تغییر دما خیلی کم است.

در دیود با بایاس مستقیم اشکالات بالا وجود ندارد یعنی به دمای مرجع احتیاجی نبوده و تغییر پتانسیل دو سر دیود برحسب تغییر دما قابل ملاحظه میباشد از این لحاظ دیود نیم رسانا را جهت آشکار سازی دما انتخاب نمودیم. چند نوع دیود کرسطالی از لحاظ میزان خطی بودن تغییرات پتانسیل دو سر آن برحسب تغییر دما و سرعت پاسخ دیود به تغییرات ناگهانی دما مورد بررسی قرار گرفت و دیوید های (PH 5082-2800 , 1N916) که دارای جلد شیشه ای کوچک با جرم حرارتی کم میباشند انتخاب شد. در این دیویدها تغییرات ولتاژ دو سر دیود با دما در جریان مستقیم حوالی  $100\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$  با تقریب خیلی خوبی که در شکل (۲) نشان داده شده است خطی میباشد.

تئوری :

مشخصه استاتیک اتصال سطحی P - n :

جریان حفره‌ها در منطقه n با رابطه زیر معین میگردد :

$$(۱) \quad I_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$$

با در نظر گرفتن :

$$(۲) \quad p - p_n = p_n \left( e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right) e^{-\frac{(x_n - x)}{L_p}}$$

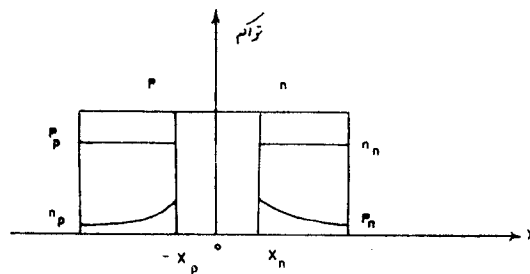
خواهیم داشت :

$$(۳) \quad I_p = I_{sp} \left( e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right) e^{-\frac{(x_n - x)}{L_p}}$$

که :

$$(۴) \quad I_{sp} = \frac{qD_p P_n}{L_p}$$

در دو رابطه بالا q بار الکتریکی و V ولتاژ مستقیم دیود ، K ضریب بولتزمن و T دمای دیود بر حسب دمای مطلق .



شکل ۱

$n_n$  - تراکم الکترون‌ها در ناحیه n

$p_n$  - تراکم حفره‌ها در ناحیه n

$n_p$  - تراکم الکترون‌ها در ناحیه p

$p_p$  - تراکم حفره‌ها در ناحیه p

$D$  - ثابت پخش } برای الکترون‌ها  $D_n$   
 } برای حفره‌ها  $D_p$

$L$  - طول پخش - عبارت از فاصله متوسطی است که حامل‌های اقلیت قبل از ترکیب می‌پیمایند .

θ - طول عمر - عمر متوسط یک حامل از لحظه ایجاد تا لحظه ترکیب.

بهین ترتیب برای جریان الکترونهاى منطقه p خواهیم داشت :

$$(۵) \quad I = qD_n \frac{dn}{dx}$$

اگر بترتیبی که در باره جریان حفره‌ها عمل کردیم انجام دهیم خواهیم داشت :

$$(۶) \quad I_n = I_{sn} \left( e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right) e^{-\frac{(x_p - x)}{L_n}}$$

$$(۷) \quad I_{sn} = \frac{qD_n n_p}{L_n}$$

جریان کل I از جمع دو جریان که بترتیب از تزریق حاملهای اقلیت در دو منطقه p و n حاصل میگردد بدست میاید :

$$(۸) \quad I = I_p(x_n) + I_n(-x_p)$$

از دو رابطه (۳) و (۶) خواهیم داشت :

$$(۹) \quad I_p(x_n) = I_{sp} \left( e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$

$$(۱۰) \quad I_n(-x_p) = I_{sn} \left( e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$

اگر  $I_p(x_n)$  و  $I_n(-x_p)$  را از روابط (۹) و (۱۰) در رابطه (۸) قرار دهیم چنین بدست میاید :

$$(۱۱) \quad I = I_s \left( e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$

که در آن :

$$I_s = I_{sn} + I_{sp}$$

در جهت مستقیم V مثبت بوده و داریم :

$$(۱۲) \quad e^{\frac{qV}{KT}} \gg 1$$

بنابراین رابطه (۱۱) را میتوان چنین نوشت :

$$(۱۳) \quad I = I_s e^{\frac{qV}{KT}}$$

در حالت پلاریزاسیون معکوس V منفی بوده عموماً از لحاظ مقدار مطلق بزرگتر از  $\frac{KT}{q}$  است.

از آنجا نتیجه میشود :

$$(14) \quad \frac{qV}{eKT} \ll 1$$

بنابراین رابطه (۱۱) بصورت زیر نوشته میشود :

$$(15) \quad I = -I_s$$

مشخصه حقیقی با مشخصه نظری تفاوت کوچکی دارد که بوسیله وارد کردن ضریب  $r$  در رابطه (۱۱) بدست میاید :

$$(16) \quad I = I_s(e^{\frac{rKT}{qV}} - 1)$$

برای مقادیر زیاد جریانهای مستقیم ، امپدانس خاص دیود در مقابل امپدانس های اتصال و مقاومت سری دیود کوچک میشود بطوریکه رابطه بین  $V$  و  $I$  دیگر نمائی نبوده و بلکه خطی خواهد بود . پتانسیل معکوس نیز در اثر بعضی از پدیده ها بمقداری محدود میشود . بعلاوه جریان معکوس  $I_s$  با پتانسیل معکوس وارده افزایش پیدا میکند . جریان معکوس دیود (جریان اشباع) با رابطه زیر معین میشود :

$$(17) \quad I_s = I_{sn} + I_{sp} = q \left\{ \frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n n_p}{L_n} \right\}$$

از رابطه (۱۱) یا (۱۳) ولتاژ مستقیم دیود بدست میاید :

$$(18) \quad V = \left( \frac{rKT}{q} \right) \text{Log} \left( 1 + \frac{I}{I_s} \right)$$

و یا :

$$(19) \quad V = \left( \frac{rKT}{q} \right) \text{Log} \left( \frac{I}{I_s} \right)$$

مقدار  $I_s$  بستگی به دما داشته و بطور تقریب از رابطه زیر بدست میاید :

$$(20) \quad I_s = AA^* T^r e^{\frac{-q\phi_B}{rKT}}$$

که در آن  $A$  سطح اتصال  $A^*$  ضریب ریچاردسن  $\phi_B$  ارتفاع سد است .

بنابراین :

$$(21) \quad V = \left[ \frac{rKT}{q} \right] \left\{ \text{Log} \left( \frac{I}{AA^*} \right) - r \text{Log} T \right\} + \phi_B$$

ممکن است رابطه بالا را بشکل زیر هم نوشت :

$$(22) \quad V = \left\{ \left[ \frac{rKT}{q} \right] \text{Log} \left( \frac{I}{AA^*} \right) \right\} T - \left[ \frac{vrK}{q} \right] T \text{Log} T + \phi_B$$

بنابراین تغییر ولتاژ مستقیم دیود با دما و قتیکه جریان مستقیم ثابت نگه داشته شود بوسیله رابطه زیر بیان میشود:

$$(23) \quad \frac{\partial V}{\partial T} \Big|_{I=cte} = \left[ \frac{rK}{q} \right] \left\{ \text{Log} \left( \frac{I}{AA^*T^2} \right) - 2 \right\}$$

حال مقادیر زیر مربوط به دیودهای مورد استفاده را در رابطه (۲۱) قرار میدهم:

$$A = 2.72 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \quad A^* = 120 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2} \quad \text{و} \quad n = 1.01 \quad \text{و} \quad \phi B = 0.17 \text{ V}$$

$$\frac{K}{q} = 86.02 \mu\text{V } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \text{و} \quad I = 9088 \mu\text{A}$$

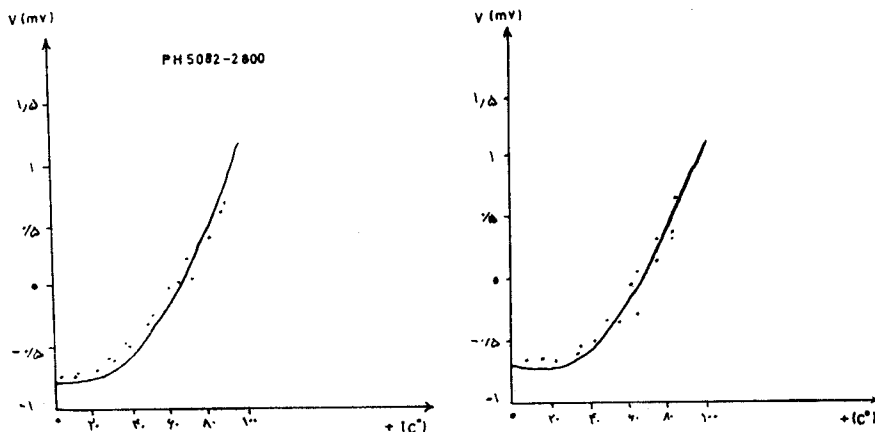
$$(24) \quad V = 8.62 \times 10^{-5} (-2316 - 2 \text{Log } T) T + 0.17$$

بهترین رابطه خطی که ممکن است بین  $V$  و  $t$  از رابطه (۲۴) بدست آورد چنین است:

$$(25) \quad V = 0.3378 - 0.001431 t$$

که در آن  $t$  دمای محل اتصال دیود برحسب درجه سلزیوس در حدود تغییرات ( $100^\circ\text{C}$  تا  $-6^\circ\text{C}$ ) میباشد.

منحنی‌های شکل ۲ عبارتند از تغییرات پتانسیل برحسب دما، در آنها خط پر مربوط به منحنی حاصل از تئوری و نقاط مربوط به نتایج تجربی است.



شکل ۲

### کالیبراسیون دما سنج:

دما سنج آماده شده را با دما سنج مقاومت پلاتین مقایسه کردیم بدین ترتیب که هر دو دماسنج را در محفظه‌ای که دارای دمای ثابتی است قرار دادیم. دماسنج مقاومت پلاتین دمای محفظه ( $0^\circ\text{C}$  تا  $100^\circ\text{C}$ ) را با تقریب  $\pm 0.01^\circ\text{C}$  نشان داد. در این حدود تغییرات دما ولتاژ دیود (۰.۳۳۶۸ تا ۰.۱۷۹۰ ولت) با تقریب  $\pm 1 \mu\text{V}$  اندازه‌گیری و دستگاه کالیبره گردید.

## مدارهای استفاده شده :

سه منبع تغذیه ولتاژ جداگانه مورد استفاده تغذیه کلیه مدارها طرح و سوار گردید :

۱- منبع تغذیه ولتاژ تنظیم شده ۱۸ ولت معمولی که برای تغذیه لامپهای نگسی قسمت نشان دهنده بکار رفته است.

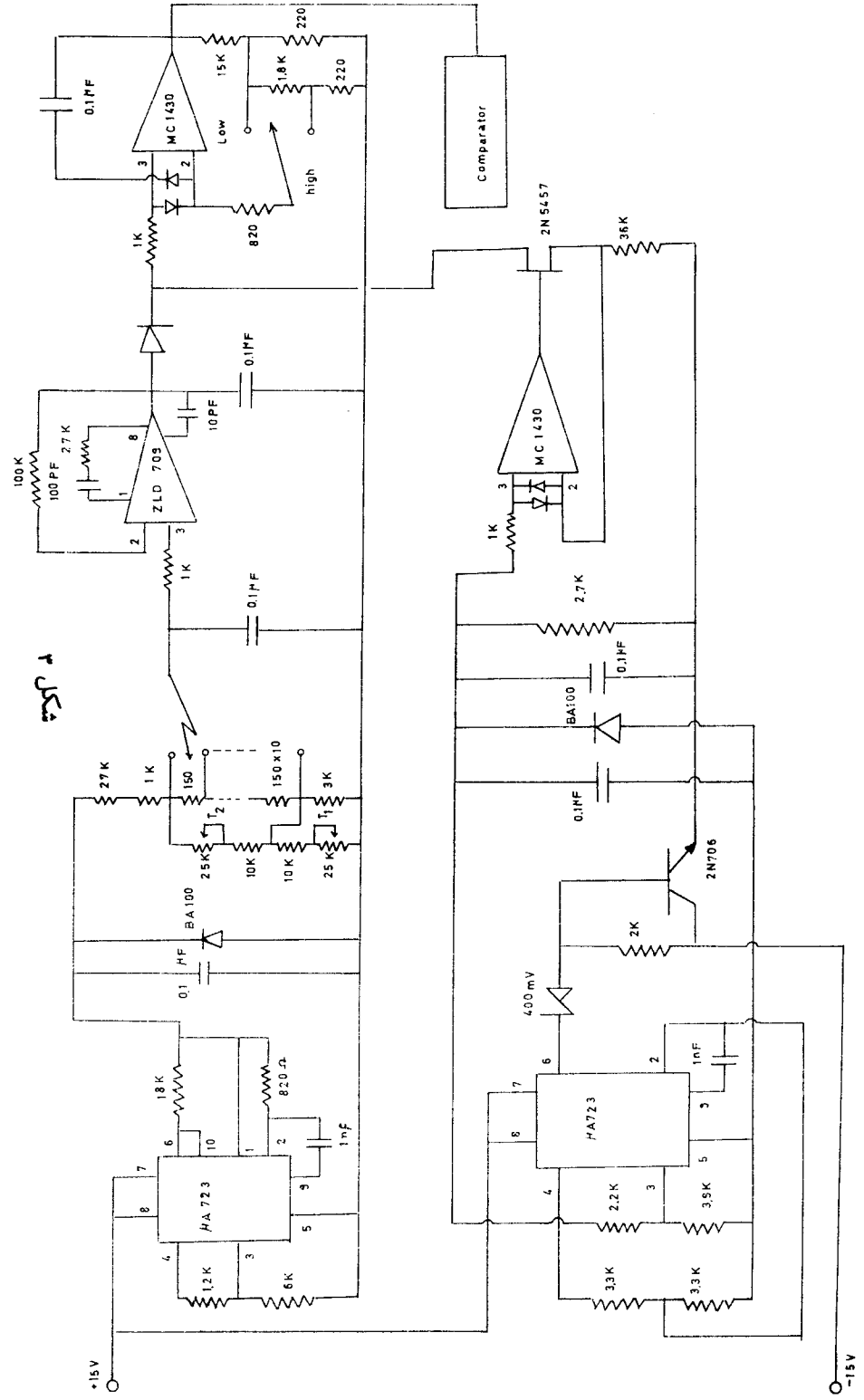
۲- منبع تغذیه  $\pm 10$  ولت کاملاً تنظیم شده که جهت تغذیه مدارهای انتگره و گسترده استفاده شده است.

۳- منبع تغذیه بسیار پایدار که برای تغذیه اند دیود آشکار ساز بکار رفته و بیشتر حساسیت دستگاه به پایداری این ولتاژ بستگی دارد. در این مدار طبق شکل ۳ ولتاژ تنظیم شده  $\pm 10$  ولت بوسیله مدار انتگره تنظیم کننده ( $723 \mu A$ ) به  $\pm 12$  ولت خیلی پایدار تبدیل میشود. قسمت مثبت این ولتاژ بوسیله تقسیم کننده مقاومتی به دوازده قسمت تقسیم شده که از طریق تقویت کننده اپراسیونل (ZLD 709) به اند دیود آشکار ساز وصل میشود. ضریب حرارتی دیود آشکار ساز بکار رفته در این مدار  $108 mV / ^\circ C$  است، حالتی از ولتاژ انتخاب میشود که  $108$  میلی ولت بین دو سر دیود تهیه کند. در هر یک از وضعیت های انتخاب شده تقسیم کننده ولتاژ و در نتیجه مقدار ولتاژ اعمال شده به اند دیود آشکار ساز دما سنج حداکثر  $1^\circ C$  تغییر دما را نشان میدهد و مقدار ولتاژ اعمال شده و یا حالت تقسیم کننده ولتاژ بوسیله فرمانی که از نشان دهنده صادر میشود به یک شمارنده الکترومکانیکی وارد و این شمارنده ضمن شمارش فرمانهای وارده حالت تقسیم کننده ولتاژ را بطور اتوماتیک عوض میکند. تقسیم کننده ولتاژ شامل دو پتانسیومتر ( $T_1, T_2$ ) است. پتانسیومتر  $T_1$  مقدار کل ولتاژ اعمال شده به تقسیم کننده ولتاژ را میزان میکند در صورتیکه پتانسیومتر  $T_2$  مقدار ولتاژ را در هر وضعیت تقسیم کننده ولتاژ میتواند تغییر دهد تا ولتاژ مناسب مشخصات حرارتی دیود آشکار ساز به آن اعمال شود.

## چشمه جریان ثابت :

برای اینکه تغییر جریان داخل دیود آشکار ساز و یا اختلاف پتانسیل دو سر آن بر حسب تغییر دما خطی باشد. بایستی جریان داخل دیود کاملاً ثابت و تغییر آن فقط مربوط به تغییر دما باشد. این جریان بوسیله افت پتانسیل دو سر مقاومت  $26 K\Omega$  که بطور سری با دیود آشکار ساز و ترانزیستور اثر میدان: 2N5457 وصل شده است با ولتاژ مرجع که از قسمت منفی ( $12$  - ولت) منبع تغذیه پایدار (شکل ۳) گرفته میشود مقایسه میگردد. تغییر احتمالی ولتاژ (سیگنال خطا) هم از طریق تقویت کننده اپراسیونل (MC1430G) به دروازه ترانزیستور اثر میدان وارد میشود تا جریان کاملاً ثابتی از دیود عبور کند.

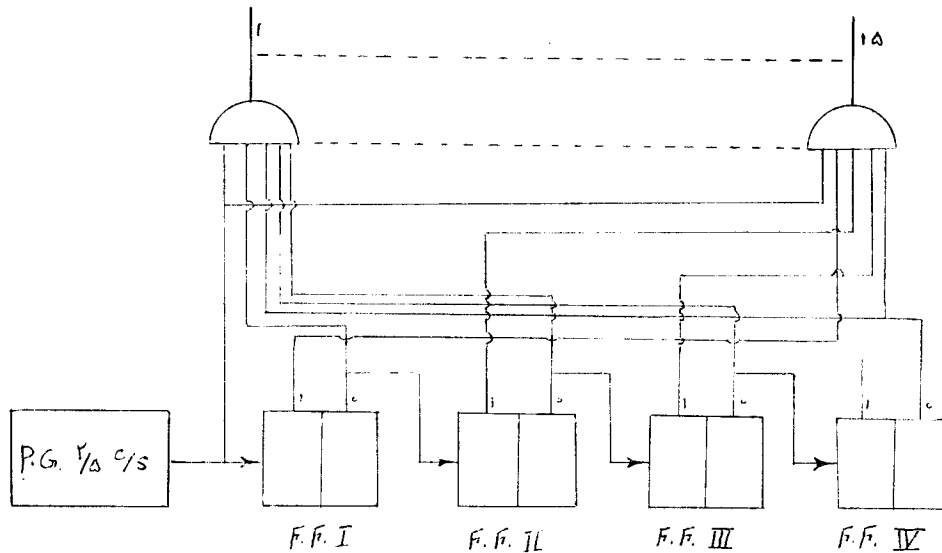
برای دما سنج انتخاب شده جریان داخل دیود  $120.2 \mu A$  است این مقدار جریان بایستی بانوع دیود تغییر کند والا تغییرات دما با تغییر آن خطی نخواهد بود.





ژنراتور S.G. :

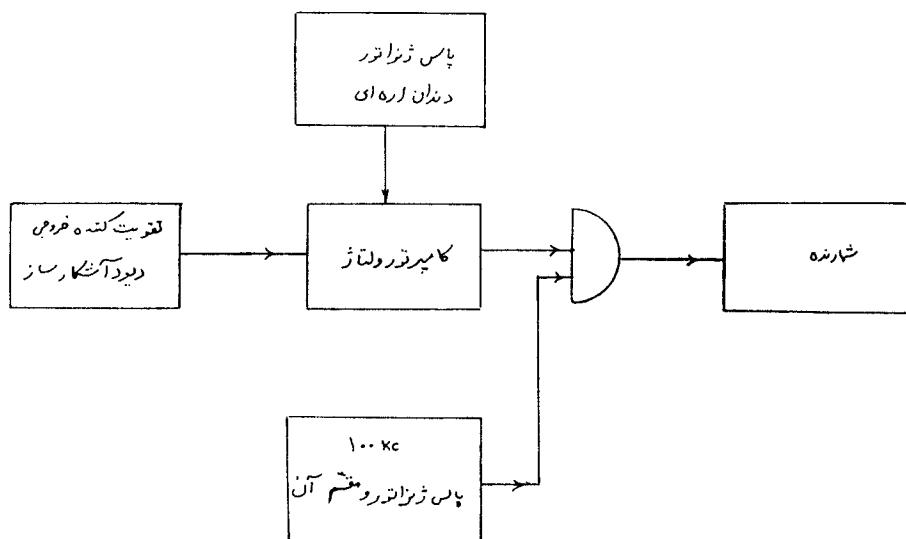
نوسانات با فرکانس  $\frac{2}{\text{s}}$  c/s به ورودی آن وارد و بترتیب روی ۱۰ خروجی ظاهر میشوند.



شکل ۴

### طرز خواندن دما :

تغییرات جریان داخل دیود آشکار ساز که متناسب با تغییرات دمای محیط است از طریق تقویت کننده اپراسیونل MC 1430 که دارای امپدانس ورودی خیلی زیاد است بطور دیجیتال طبق شکل ۵ خوانده میشود. در این مدار با انتخاب بهره تقویت کننده اپراسیونل بطور دستی (در وضعیت بهره بالا یا پائین) اشل اندازه گیری و در نتیجه دقت خواندن دما تغییر میکند ولی بطوریکه اشاره شده با انتخاب اتوماتیک مقدار ولتاژ تغذیه اند دیود آشکار ساز حساسیت مدار عوض میشود.



شکل ۵

بطوریکه در شکل ۴ نشان داده شده است تغییرات جریان دیود آشکار ساز بوسیله تقویت کننده انتگره MC 1430G به تغییرات ولتاژ DC متناسب با تغییرات دمای محیط تبدیل میشود.

این ولتاژ بوسیله مدار کامپرتور با دامنه سیکنال دندان اره‌ای مقایسه میشود و قتیکه دو دامنه با هم یکی شدند خروجی کامپرتور ازین می‌رود و گیت AND که سر راه عبور پالسهای ژنراتور به شمارنده قرار دارد بسته میشود در نتیجه شمارش شمارنده متناسب با ولتاژ خروجی تقویت کننده یا متناسب با دمای محیط میباشد که با کالیبراسیون دقیق شمارش شمارنده درست دمای محیط را نشان میدهد.

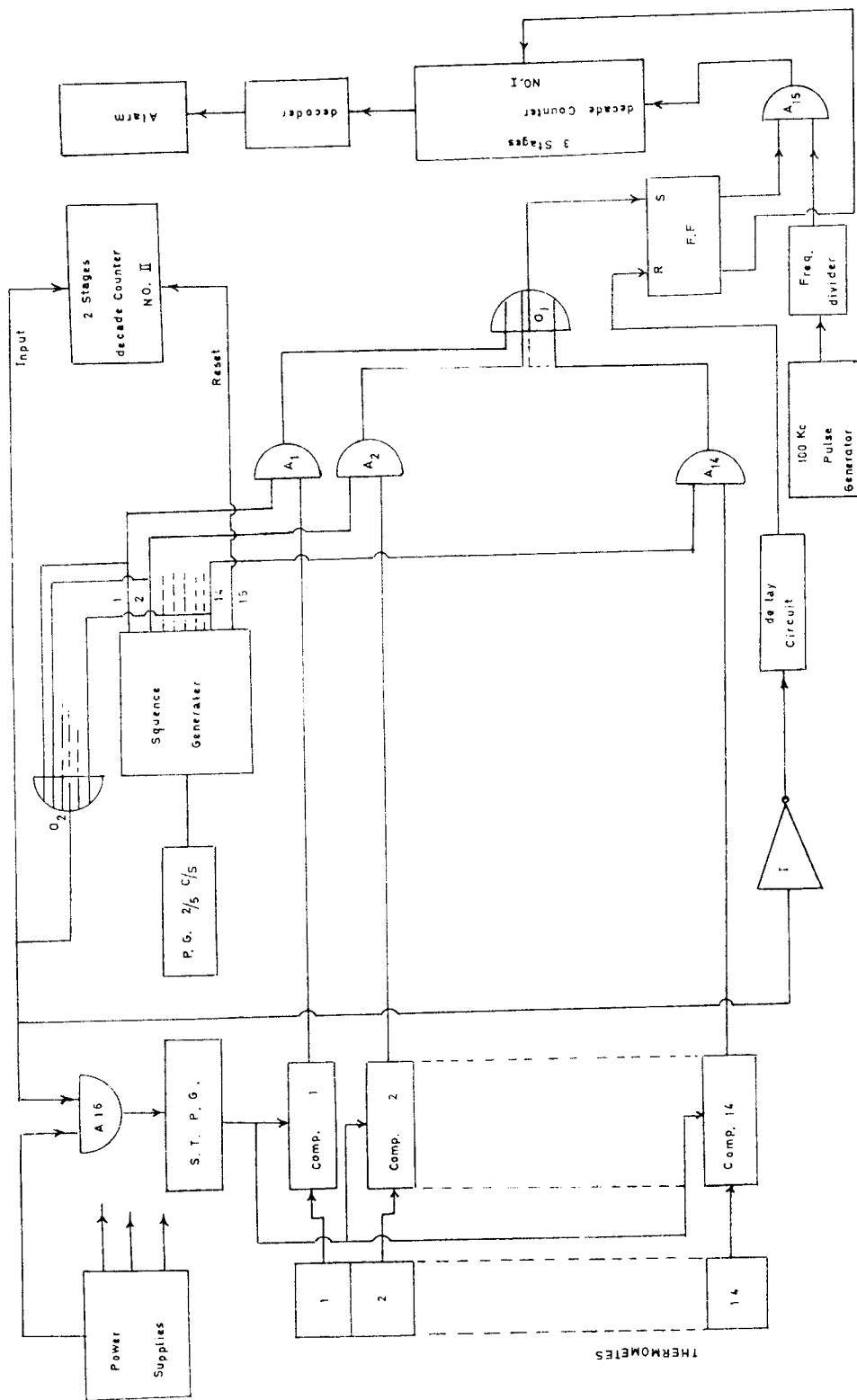
### مدار کامل دماسنج و کنترل حرارتی راکتور اتمی :

طبق شکل ۶ دماسنج‌های چهارده گانه که در نقاط مختلف راکتور قرار داده شده‌اند از طریق گیت‌های  $A_1$  و  $A_2$  و  $A_3$  و  $A_4$  و  $A_5$  و فلیپ فلاپ RS به سیستم نشان دهنده وصل میشوند گیت‌های  $A_1$  ،  $A_2$  ،  $A_3$  و  $A_4$  بترتیب و پشت سرهم بوسیله فرمانیکه از ژنراتور SG صادر میشود بمدت ۱۰ ثانیه باز میشود در این مدت شمارش یا مقدار دما در شمارنده ثبت شده و باقی میماند تا فرصت خواندن دما را داشته باشیم. بعد بوسیله فرمانیکه از همین قسمت صادر میشود پاک شده و نمایش دمای دما سنج بعدی شروع میشود.

با شروع فرمانهای ژنراتور S.G. (Sequence Generator) پالس‌های دندان اره‌ای هم شروع میشود تا مقایسه پالس دندان اره‌ای با ولتاژ D.C. خروجی تقویت کننده دیود آشکار ساز از ابتدای پالس دندان اره‌ای شروع شده و خطای اندازه‌گیری بعداقل برسد. همچنین خروجی‌های ژنراتور S.G. به شمارنده NoII وارد شده این شمارنده، شماره دما سنجی را که دمای آن نمایش داده میشود نشان میدهد. بالاخره خروجی گیت  $O_2$  از طریق مدارهای I و تأخیر دهنده به فلیپ فلاپ RS وارد شده و از طریق آن شمارنده NoI را پاک میکند و پانزدهمین پالس ژنراتور S.G. شمارنده NoII را پاک کرده و دستگاه آماده تکرار سیکل خود میشود.

قسمت اعلام خطر شامل چراغ و زنگ اخبار میباشد که بوسیله مدار د کدر بکار می‌افتد.

مدار د کدر کاملاً مشابه مدار د کدر ژنراتور SG میباشد. بوسیله مدار د کدر دمای مربوط به حداکثر قدرتی که راکتور میتواند داشته باشد انتخاب و در صورت تجاوز دما از این مقدار فرمانی به قسمت اعلام خطر ارسال و آنرا بکار می‌اندازد. و نیز ممکن است از فرمان صادره استفاده کرده و موتوری را بکار انداخت و بوسیله این موتور راکتور را خاموش کرد این قسمت تحت مونتاژ است و موضوع مقاله بعدی خواهد بود.



شکل ۱

## نتیجه :

بعد از امتحان و مقایسه دقت و پایداری و حساسیت آلمانهای مختلف که دیود PH5082 - 2800 برای آشکارساز دماسنج انتخاب شد این دیود در داخل محفظه کوچکی از شیشه پیرکس قرار داده شده و دوسران از محفظه بیرون آمده و سر محفظه کاملاً آب بندی شده و غیر قابل نفوذ آب گردیده است. ثابت زمانی پاسخ در تغییرات ناگهانی دما در هوا ۸۹ ثانیه و در آب -/۹ ثانیه اندازه گیری شده بعلت خیلی پایدار بودن منابع تغذیه ولتاژ و جریان ، پایداری حرارتی آن خیلی خوب و حدود  $0.01^{\circ}\text{C}$  میباشد و دقت اندازه گیری دما  $0.1^{\circ}\text{C} \pm$  برای دمای حدود  $(+0.0^{\circ}\text{C}$  و  $-0.0^{\circ}\text{C})$  میباشد. وسیله خواندن دما و نمایش آن بطور دیجیتال و بوسیله لامپهای نگسی میباشد که شامل یک ولتمتر دیجیتال خیلی حساس میباشد که مدارها و جزئیات طرح آن در مقاله (۱) داده شده است. چون با این دما سنج اندازه گیری تغییرات حرارت تولید شده در استخر را کتور بطور دقیق انجام میشود لذا ممکن است از این طریق قدرت را کتور را نیز با دقت خوبی اندازه گرفت و نیز میتوان با اضافه کردن مدار کامپرتوری دمای چهارده دما سنج را باهم مقایسه کرده و دمای دما سنجی را که بیشتر از بقیه است به نشان دهنده فرستاد.

## References

- 1) Cassignol Physics and Electronics of Semiconductors 1966 Philips
- 2) Bowman M.J. and Sagar F.H. 1971 Phys. E. Sci. Instrument. 4—793
- 3) Griffiths B. Stow C. D. and Syms P. H. 1974 Phys. E. Sci. Istrument. 7—710.
- 4) Chiang C.K. Rev. Sci. Instrument Vol. 45 , No. 8 1974
- 5) Sample H.H. Neuringer L.J. and Rubin L.G. 1974 Rrv. Sci Instrument , Vol. 45 , 64.
- 6) Berman R. and Kopp J. Journal of Phys. 1971 Vol. 1 457
- 7) Denker J.B. and Johnson D.A. Electronics August 2 1973—91
- 8) Dratler J. Rev. Sci. Instrument Vol. 45 No. 11 1974—1435
- 9) Roger P. Ries and B. Keith Moore Rev. Sci Instrument 41—996 1970.