

مطالعه اثر زمان تجدید حیات دیودهای $P\pi N$ روی مقدار ولتاژ خروجی چند برابر کننده ولتاژ کاربرد برای تلویزیون رنگی

نوشته :

دکتر مرتضی شهبازی

موسسه علوم و فنون هسته‌ای دانشگاه تهران

چکیده:

وجود دیودهای چند اتصالی سبب شد تا آخرین مانع در راه ترانزیستوری کردن تلویزیونها برداشته شود. زیرا با این ترتیب مسئله مربوط به ولتاژ زیاد لازم برای لامپ تصویر حل میشد. از نظر بازده مدار و اینکه با سه طبقه بتوان ۲۰... ولت را از ۸۰۰... ولت بدست آمده بوسیله سیم پیچ ترانسفور ماتور بدست آورد، سبب شد تا روی زمان تجدید حیات τ_{RR} دیودها مطالعه گردد و شرطهائی را پیدا کنیم تا بازده این چند برابر کننده حداکثر باشد.

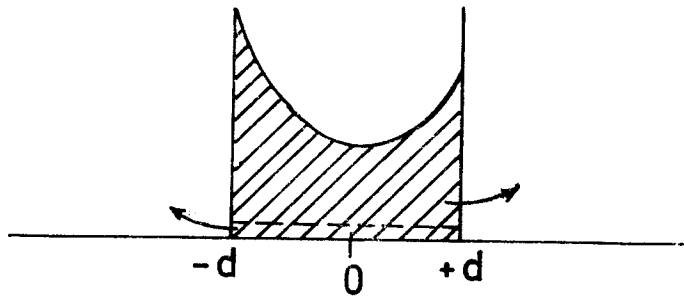
پیش گفتار: میدانیم یک عنصر نیم رسانا وقتی ویژه گیهای خود را بدست می آورد که تراکم حامل های آزاد در نقاط مختلفش برقرار شده باشد. این تراکم های طبیعی متناسبانه بلافاصله بعد از اعمال یک پالس مستقیم یا معکوس بدست نمی آیند. زمانی که بین اعمال پالس و ظاهر شدن ویژه گیهای عنصر طول میکشد، زمان تجدید حیات (Temps de Recouvrement) مینامیم.

τ_{RR} در یک دیود $P\pi N$

بار انبار شده در یک دیود $P\pi N$ که بطور مستقیم در مدار بسته شده باشد برخلاف دیودهای PN که در ناحیه N وجود پیدا میکند، در ناحیه ذاتی π انبار میشود. شکل (۱).

عدم تقارن بار انبار شده در ناحیه π باعث اختلاف بین قابلیت تحرك الكترونها و حفرهها میباشد. حال به دیود که باین صورت در مدار وصل شده در لحظه t_0 جریان معکوس I_R اعمال میکنیم و فرض میکنیم که مستقل از زمان بوده و از مقدار جریان بحال مستقیم نیز بیشتر باشد. در زیر خواهیم دید که تراکم حامل ها در ناحیه π اثر بسیاری روی زمان تجدید حیات دیود خواهد داشت. با توجه به خنثائی الکترونیکی یعنی $n \cong p$ معادله دیفرانسیل زیر را خواهیم داشت (برای مثال برای $(n(x,t))$):

این کار در کارخانجات Silec درپاریس انجام گردیده و برای اولین بار در این نشریه منتشر میگردد.



شکل (۱) ناحیه هاشور زده بار انبار شده و خط چین تراکم رادرفست π نشان میدهد که قابل چشم پوشی است.

$$L^* \frac{\partial^2 n}{\partial X^2} = n(X,t) + \tau_n \frac{\partial n}{\partial t} \quad (1)$$

که در آن L^* طول بخش دو جانبی است و مقدار آن:

$$L^* = \sqrt{2 \cdot \frac{\mu_n \mu_p}{\mu_n + \mu_p} \cdot \frac{KT}{q} \cdot \tau_n} = \sqrt{D^* \tau_n}$$

که در آن D^* ثابت بخش دوجانبی است.
حل این معادله در رژیم ثابت بصورت:

$$n(X,0) = \frac{\tau_n}{2qL^*} \cdot J_D \left[\frac{\cosh \frac{X}{L^*}}{\sinh \frac{d}{L^*}} - B \frac{\sinh \frac{X}{L^*}}{\cosh \frac{d}{L^*}} \right] \quad (2)$$

که در آن

$$B = \frac{\mu_n - \mu_p}{\mu_n + \mu_p}$$

J_D چگالی جریان جابجائی است و ما توزیع الکترونها را در ناحیه به عنوان شرایط اولیه برخواهیم گزید. با در نظر گرفتن شرایط سرزی

$$\begin{aligned} \text{a) } J_p(-d,t) &= J & \text{b) } J_n(-d,t) &= 0 \\ \text{c) } J_p(+d,t) &= 0 & \text{c) } J_n(+d,t) &= J \end{aligned} \quad (3)$$

دیده میشود که بارهای انبار شده در ناحیه ای که ناخالصی زیادی در بردارد یعنی $x < -d$ و $x > +d$ قابل چشم پوشی است.

اینک جریانی بهمان اندازه ولی در جهت مخالف در نظر میگیریم و شرایط سرزی را به مورد اجراء درسیا وریم چگالی جریان حفره ها و الکترونها یعنی:

$$J_p(X,t) = q\mu_p \left[-\lambda \frac{\partial P}{\partial x} + P(x,t)\varepsilon(x,t) \right] \quad (4)$$

$$J_n(x,t) = q\mu_n \left[\lambda \frac{\partial n}{\partial x} + n(x,t)\varepsilon(x,t) \right] \quad (5)$$

و شرایط مرزی و خنثائی الکتریکی $n(x,t) = P(x,t)$ معادله های زیر بدست می آیند :

$$\left(\frac{\partial n}{\partial x} \right)_{x=-d} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{J}{q\mu_p\lambda} \quad (6)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{x=+d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{J}{q\mu_n\lambda} \quad (7)$$

میباشد. $\frac{KT}{q}$

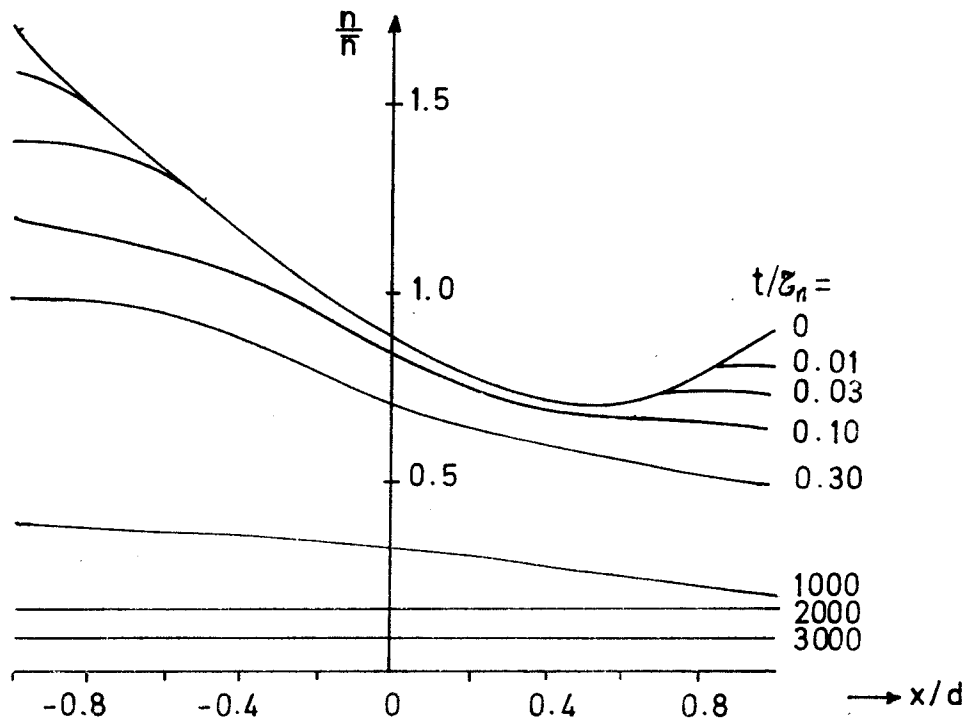
این معادله ها نشان می دهند که وقتی جریان معکوس شروع بگذشتن ازدیودرا میکند گرادیان تراکم در انتهای N ناحیه π ، بتدریج از یک مقدار مثبت به مقدار منفی میرسد. بهمین ترتیب گرادیان تراکم در انتهای P نیز تغییر علامت میدهد. در این حالت حل معادله دیفرانسیل (۱)؛ شرایط اصلی (۲) و معادله (۳) و (۴) بصورت زیر در می آید :

$$\frac{J_D}{J_D + J_R} \cdot \frac{n(x,t)}{n} = \text{Exp} \left(\frac{-t}{\tau_\pi} \right) + 2 \sum_{v=1}^{\infty} \frac{(-1)^v}{1 + (v\pi \frac{L^*}{d})^2} \cdot \cos \left(v\pi \frac{x}{d} \right) \cdot$$

$$\text{Exp} \left\langle - \left[1 + \left(v\pi \frac{L^*}{d} \right)^2 \right] \frac{t}{\tau_\pi} \right\rangle - \frac{J_R}{J_D + J_R} \cdot \frac{\frac{d}{L^*} \cosh \frac{X}{L^*}}{\sin \frac{d}{L^*}} -$$

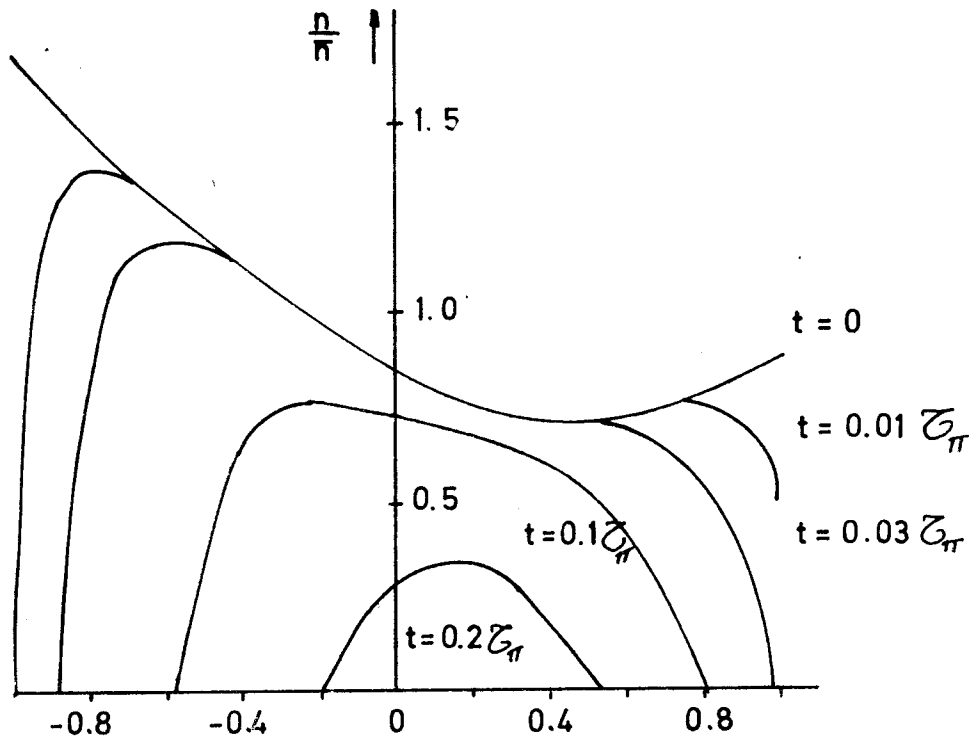
$$B \left\{ 2 \sum_{v=0}^{\infty} \frac{(-1)^v}{1 + \left[\left(v + \frac{1}{2} \right) \pi \frac{L^*}{d} \right]^2} \sin \left[\left(v + \frac{1}{2} \right) \pi \frac{x}{d} \right] \text{Exp} \left\langle - \left[1 + \left(v + \frac{1}{2} \right) \pi \frac{L^*}{d} \right]^2 \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{t}{\tau_\pi} \right\rangle - \frac{J_R}{J_D + J_R} \cdot \frac{\frac{d}{L^*} \cdot \sinh \frac{X}{L^*}}{\cosh \frac{d}{L^*}} \right\} \quad (8)$$



شکل ۲- تخلیه حاملهای انبار شده ناحیه π بوسیله ترکیب مجدد یعنی $J_R = 0$

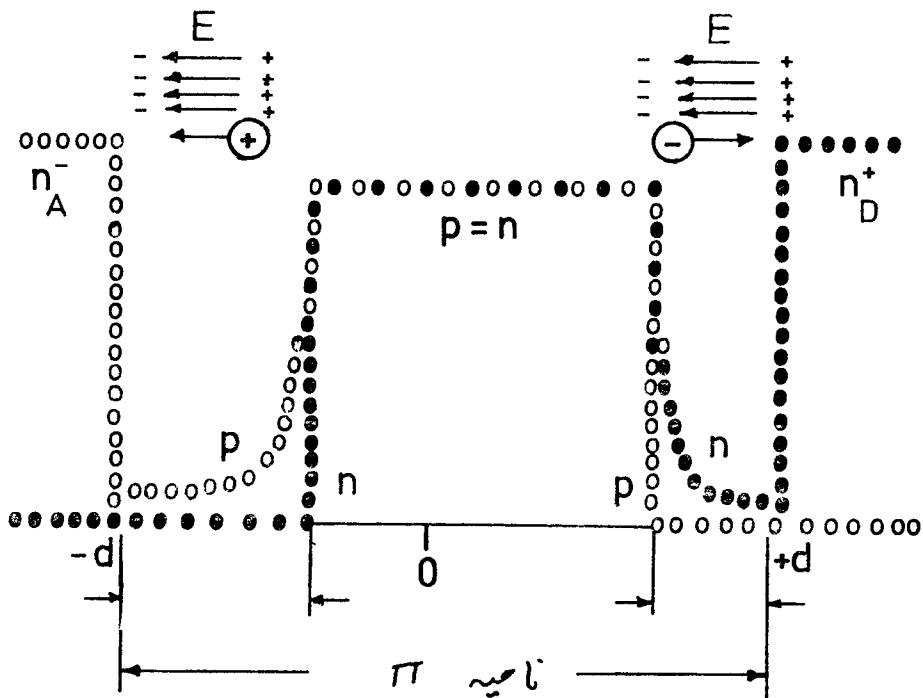
n تراکم ناحیه π میشد (میانگین شمارش بارهای انبار شده). رسم این تابع برای دو حالت $J_R = 10J_D$ و $J_R = 0$ و با در نظر گرفتن $\mu_n = 3\mu_p$ و $d = L^*$ (پهنای ناحیه π سیببند) منحنی های زیر بدست میآید:



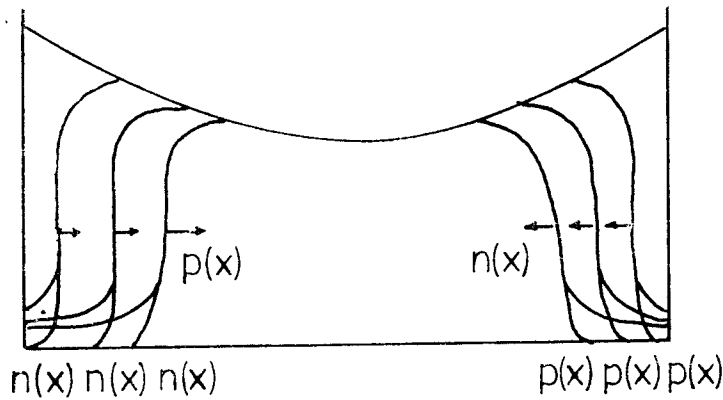
شکل ۳- تخلیه حاملهای ناحیه π بوسیله جریان معکوس خیلی زیاد $J_R = 10J_D$

در شکل های (ε) و (و) به ترتیب چگونگی توزیع حفره ها و پیشرفت بار قضا ئی هنگام تخلیه نشان داده شده

است.



شکل ε- توزیع حفره ها هنگام تخلیه



شکل ۰- پیشرفت بار فضائی هنگام تخلیه

اینک فرض کنیم که $J_R \gg I_D$ باشد در این صورت بواسطه آنکه چگالی جریان مستقیم دقیقاً در مدت یک زمان حیات جایگزین بارانبار شده میشود، یک چگالی جریان تخلیه بسیار زیاد بایستی بارانبار شده را در مدتی خیلی کوچکتر از زمان حیات حذف نماید در زیر خواهیم دید که چگونه در بعضی از شرایط، زمان حیات برابر زمان تجدید حیات یعنی زمانی که بعد از آن دیود ویژه گیهای حالت معکوس خود را دوباره پیدا میکند، میگردد.

بهترین مقدار τ_{RR}

شماره کلی حفره های (الکترونیهای) اضافی در ناحیه π با معادله بار زیر داده میشود.

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau_y} \int \nabla J_p dV \quad (9)$$

که در آن $Q = q \int_v P dv$ بار کلی اضافی ناشی از تزریق حفره ها بداخل ناحیه π ، τ_n زمان حیات حفره ها در ناحیه π میباشد. با توجه به نظریه گوس و شرایط مرزی زیر

$$\text{در } X=0 : J_n=0, J_p=J$$

$$\text{در } X=\omega : J_n=J, J_p=0$$

برابری (۹) بصورت زیر درمیآید:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau_n} + I(t) \quad (10)$$

که در آن $\frac{Q}{\tau_n}$ جریان ترکیب مجدد و $I(t)$ جریان کلی که از دیود میگذرد میباشد. در جهت مستقیم $I(t)$ همان I_D است.

برای $t_0 \leq t \leq t_1$ که $t_1 = t_0 + \frac{\pi}{\omega}$ این جریان کلی بصورت زیر نوشته میشود:

$$I(t) = I_D \sin \omega(t - t_0) \quad (11)$$

که در آن $\frac{\pi}{t_1 - t_0}$ است پس :

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{\tau_n} + I_D \sin \omega(t - t_0) \quad (12)$$

معادله دیفرانسیل درجه اول که حل آن بصورت:

$$Q(t) = \frac{\tau_{\pi} I_D}{1 + \omega^2 \tau_{\pi}^2} \left[\omega \tau_{\pi} e^{-\frac{t-t_0}{\tau_{\pi}}} + \sin \omega(t-t_0) - \omega \tau_{\pi} \cos \omega(t-t_0) \right] \quad (13)$$

در لحظه $Q(t_2) = 0$ ، $t = t_2$ و

$$\frac{\tau_{\pi} I_D}{1 + \omega^2 \tau_{\pi}^2} \left[\omega \tau_{\pi} e^{-\frac{t_2-t_0}{\tau_{\pi}}} + \sin \omega(t_2-t_0) - \omega \tau_{\pi} \cos \omega(t_2-t_0) \right] = 0$$

با در نظر گرفتن $t_2 = t_1 + \tau_{RR}$ داریم

$$\omega \tau_{\pi} \left[e^{-\frac{\pi + \omega \tau_{RR}}{\omega \tau_{\pi}}} - \cos(\pi + \omega \tau_{RR}) \right] = -\sin(\pi + \omega \tau_{RR}) \quad (14)$$

بفرض اینکه $\tau_{RR} \omega \ll \pi/2$ باشد میتوان نوشت.

$$\cos(\pi + \omega \tau_{RR}) = -1$$

$$\sin(\pi + \omega \tau_{RR}) = -\tau_{RR}$$

رابطه (14) بصورت

$$\omega \tau_{\pi} (e^{-\frac{t_2-t_0}{\tau_{\pi}}} + 1) = \omega \tau_{RR}$$

واز آنجا:

$$\tau_{RR} = (e^{-\frac{t_2-t_0}{\tau_{\pi}}} + 1) \tau_{\pi}$$

بدیهی است که وقتی $(t_1 - t_0) \gg \tau_{\pi}$ باشد جمله نمائی در مقابل 1 قابل چشم پوشی است پس:

$$\tau_{\pi} (1 + e^{-\frac{t_1-t_0+\tau_{RR}}{\tau_{\pi}}}) = \tau_{RR}$$

واز آنجا

$$\tau_{\pi} = \tau_{RR}$$

برای برداشتن زمان تجدید حیات کوچک بایستی زمان حیات حاملها یعنی τ_{π} کوچک باشد پس بایستی تراکم ناحیه π بمراتب بزرگتر از تراکم نیمه رسانای ذاتی باشد. برای این منظور در ناحیه π پلا بپخش نمودیم تا زمان تجدید حیات را کاهش دهیم. در جدول زیر مشخصه های سه دیود که یکی از آنها دیود شاهد است آورده شده است.

جدول 1 اثر مدت طلای پخش شده و درجه حرارت روی زمان حیات

	زمان برحسب پخش طلا	درجه حرارت $T_{\theta_{UA}}$	طول پخش $L_n(\mu m)$	زمان حیات $\tau_{\pi}(\mu s)$
اولین دیود با ناخالص طلا	o	۸۶.۰	۳۰	۰/۳
دومین دیود با ناخالص طلا	o	۸۷.۰	۲۶	۰/۲۳
دیود شاهد	.	.	۲۲/۰	۱۷

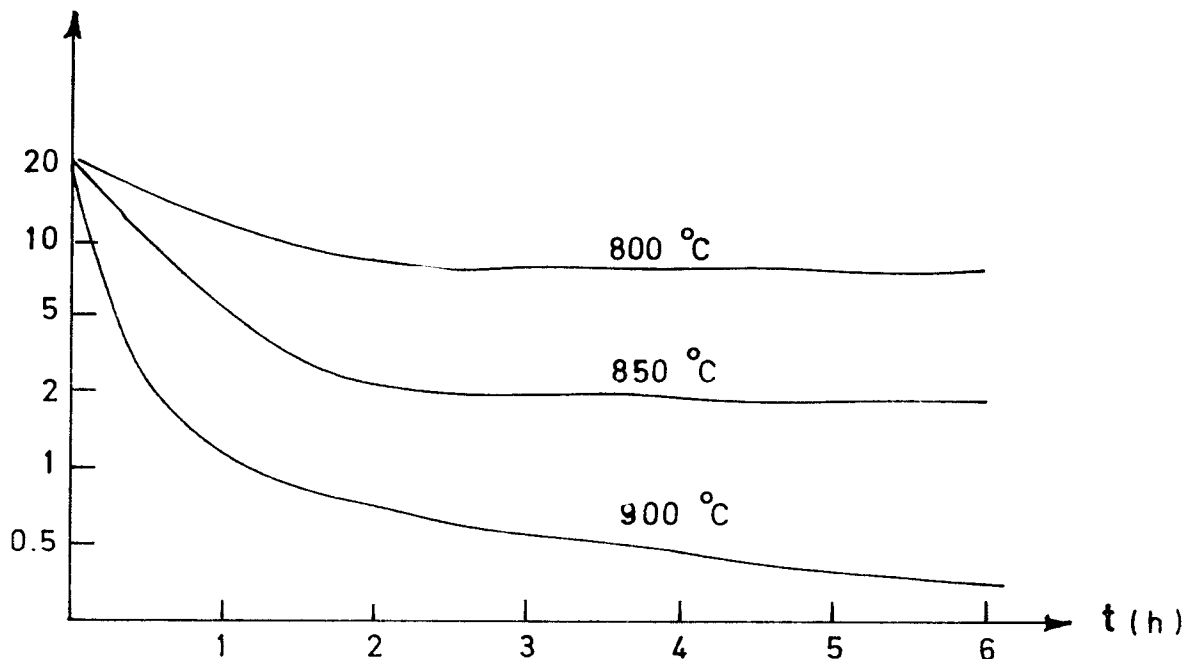
جدول ٢

Papirite	Capacite PF	Vs KV	Haut mA	Larg US	Haut mA	Larg US
Standard (P)	117	7,85	90	0,48	100	0,48
	500	8,05	180	0,5	150	0,45
	2500	8,15	150	0,57	200	0,45
	5000	8,2	180	0,53	200	0,45
825 °C (P)	117	8,40	120	0,39	50	0,25
	500	8,6	110	0,33	50	0,24
	2500	8,75	100	0,45	50	0,23
	5000	8,78	100	0,45	50	0,22
835 °C (P)	117	8,48	140	0,39	50	0,26
	500	8,50	125	0,40	50	0,25
	2500	8,75	100	0,43	50	0,22
	5000	8,78	100	0,43	50	0,22
850 °C (P)	117	8,6	110	0,37	32	0,16
	500	8,78	100	0,38	30	0,16
	2500	8,8	90	0,41	30	0,15
	5000	8,8	90	0,41	30	0,14
900 °C (P)	117	8,68	95	0,36	8	0,09
	500	8,85	90	0,38	8	0,09
	2500	8,82	80	0,42	8	0,1
	5000	8,8	80	0,45	8	0,1
850 °C (n)	117	8,63	95	0,35	35	0,14
	500	8,8	95	0,36	35	0,13
	2500	8,8	95	0,38	36	0,13
	5000	8,8	100	0,36	36	0,13
860 °C (n)	117	8,65	95	0,34	20	0,08
	500	8,85	85	0,38	20	0,09
	2500	8,75	80	0,38	20	0,1
	5000	8,7	80	0,40	20	0,12
875 °C (n)	117	8,65	90	0,34	15	0,08
	500	8,72	85	0,35	15	0,08
	2500	8,8	85	0,37	17	0,11
	5000	8,82	85	0,37	17	0,12

جدول ۳

D_3 / R_2	C_2	Standard	825 °C	835 °C	850 °C	900 °C
Standard	117	14.2	15.2	15.2	15.2	15.2
	500	14.6	16	16	16	16
	1250	15.0	16	16	16	16.2
825 °C	117	14.8	15	15	15.2	15.4
	500	15.4	15.6	15.6	15.8	16.4
	1250	15.6	15.8	16	15.8	16.4
835 °C	117	14.8	15.2	15.2	15.2	15.4
	500	15.3	15.5	15.6	16	16.2
	1250	15.5	15.8	16	16	16.4
850 °C	117	15.2	15.4	15.2	15.4	15.4
	500	15.6	15.8	15.8	16	16.2
	1250	15.6	16	16	16	16.4
900 °C	117	15.2	15.4	15.2	15.4	15.4
	500	15.6	16	16	16	16.4
	1250	15.6	16	16	16	16.4

چنانکه در منحنی‌های شکل ۷ نیز دیده میشود τ_{RR} با زیاد شدن درجه حرارت و همچنین زمان پخش، کوچکتر میگردد.

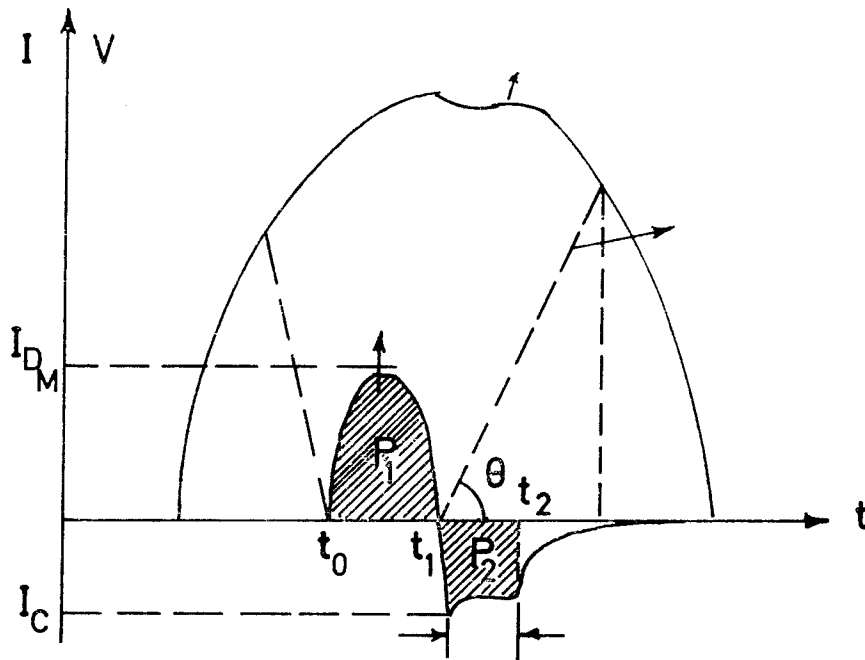


شکل ۷- تغییرات τ_{RR} بر حسب زمان پخش.

مطالعه تلف انرژی در تبدیل (حالت یک سه برابر کننده).

در شکل (۸) چگونگی ایجاد جریان ولتاژ در یکی از دیودهای چند برابر کننده نشان داده میشود:

سه برابر کننده



شکل ۸- چگونگی وجود ولتاژ اعمال شده و جریان عبور داده شده در دیود $P\pi N$ در مدار یک سه برابر کننده ولتاژ.

در شکل ۸، P_1 و P_2 بترتیب توانهای منتقل شده و توان تلف شده میباشند. که

$$P_1 = V_F A \quad (17)$$

که در آن $A = \int_{t_0}^{t_1} i dt$ میباشد

و

$$P_2 = I_c \alpha \int_{t_1}^{t_2} (t - t_1) dt$$

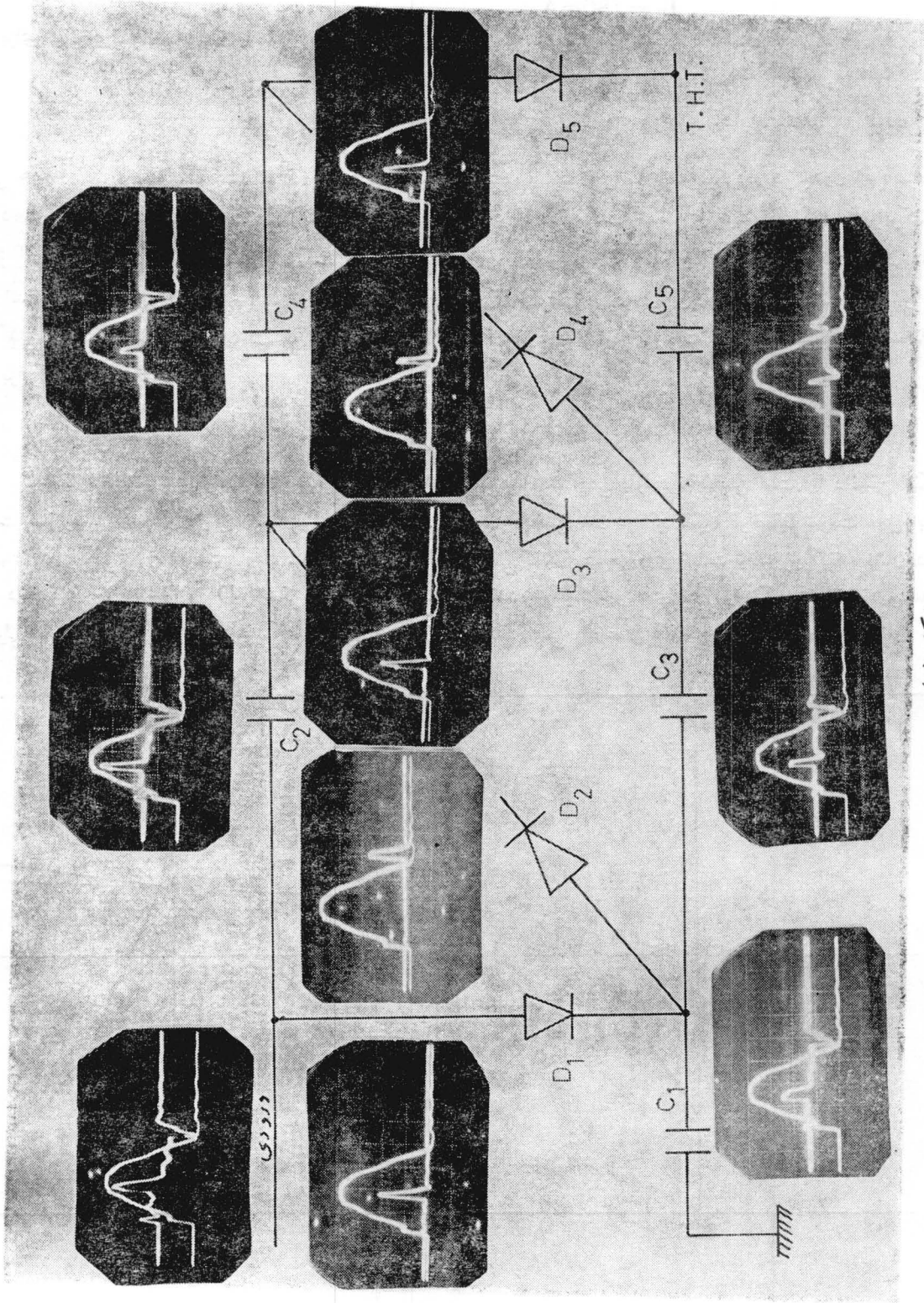
که در آن $\alpha = \frac{v}{t - t_1}$ بوده و بعد از انتگرال گیری و تغییرمبداء $t_1 - 0$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot I_c \alpha t_{RR}^2$$

دیده میشود که توان مصرفی به توان τ_{RR} بستگی پیدا میکند. برای یک دیود کند معمولی داریم:

$$\alpha \# 2000V/\mu S$$

$$I_c = 150mA$$



شکل (۹)

$$\tau_{RR} = 0,45 \mu S$$

$$I_R = 180 mA$$

که برای توانهای خواهیم داشت:

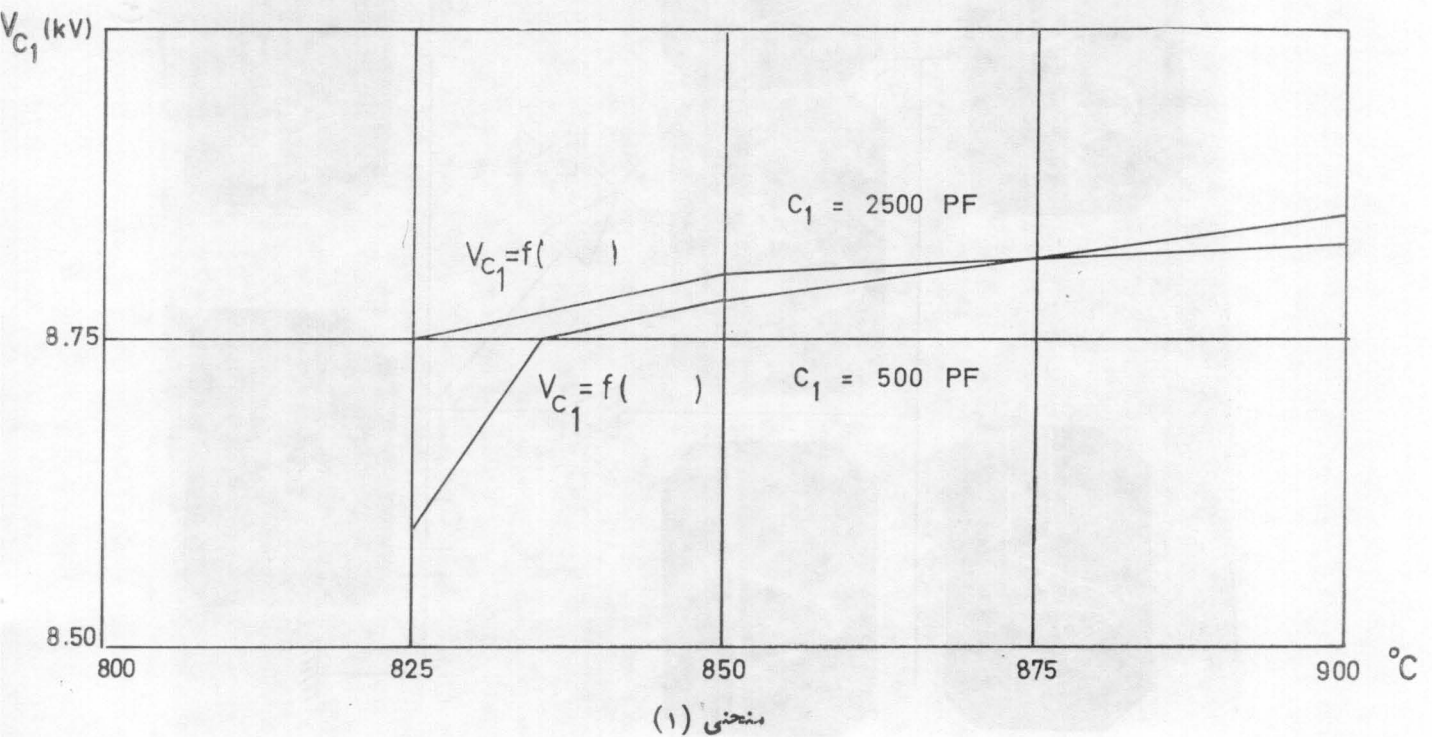
$$P_1 = 28.8 mW$$

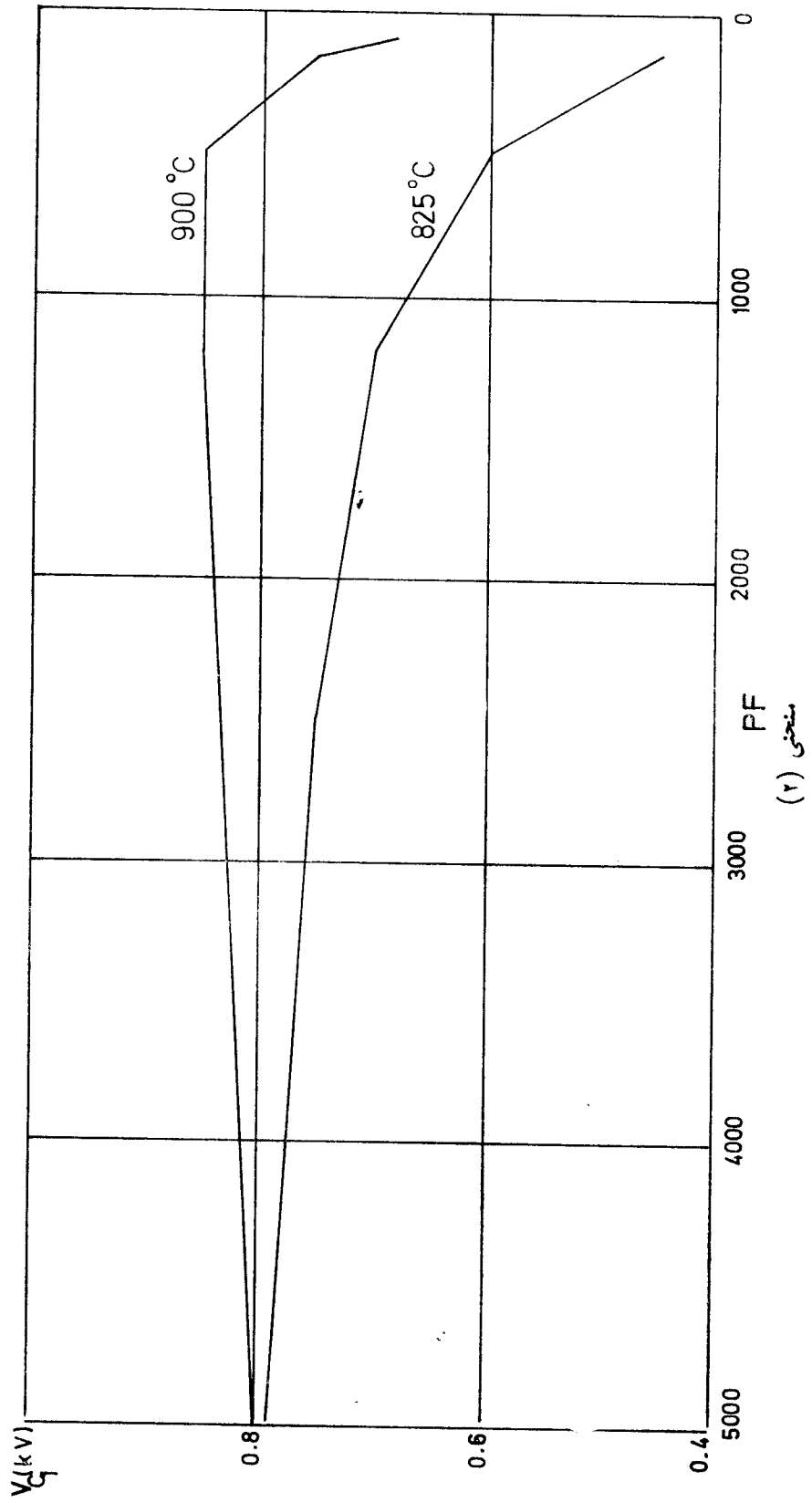
$$P_2 = 0,37 mW$$

یعنی هرچه τ_{RR} کوچکتر باشد توان مصرفی نیز کوس چکتر شده و بازده قابل ملاحظه میگردد. در جدول (۲) سرعت دیودهای مختلف برحسب ظرفیت ولتاژ خروجی، ارتفاع وپهنای پالس بدست آمده روی طبقه اول یک سه برابرکننده ولتاژ آورده شده است. در جدول (۳) سرعت دیودهای طبقه دوم و سوم سه برابرکننده ولتاژ برحسب ظرفیت نشان داده شده است. در منحنی‌های (۱) و (۲) V_{CI} برحسب مقدارهای C_1 و سرعت دیود D_1 آورده شده است در منحنی (۳) و (۴) V_s کلی برحسب (C_1) با بار وبدون بار نشان داده شده‌اند. بالاخره در شکل (۹) جزئیات جریان وپتانسیل نقاط مختلف چند برابرکننده نموده شده است.

نتیجه گیری

با مطالعه روی زمان تجدید حیات پیدا نمودیم که درچه شرایطی بازده رضایتبخش است. با دانستن اینکه سرعت عمل یک دیود $P\pi N$ به ناحیه مرکزی π بستگی دارد با پخش طلا در این ناحیه توانستیم سرعت عمل را بالا ببریم، که منحنی‌ها وجدولهای آورده شده جزئیات امر را روشن می‌کنند. مطالعه روی طبقات چند برابرکننده نشان داد که دیودهای D_1 و D_3 و D_5 بایستی دیودهای سریع‌العمل باشند در صورتیکه دیودهای D_2 و D_4 می‌توانند از دیودهای معمولی انتخاب شوند. بالاخره دیدیم که دیود D_1 و خازن C_1 نقش مهمی را در عمل چند برابرکننده عهده‌دار هستند.





منابع

- 1 – Oscillateur à relaxation
M.Sauzade. pp. 193 – 197
Dunod Université 1970
- 2 – Reverse recovery processes in silicon power rectifiers hansjochen benda and ebrhard spenka proceedings of the IEEE, Vol. 55 No. 8 August 1967.
- 3 – Correlation between recovery time and lifetime of P—N junction driven by a current ramp.
Yuc. KAO and John R. Davis
IEEE transactions on electron devices. Vol. ED – 17 No. 9 Sept. 1970.
- 4 – Role des couches extrêmes dans la caractéristique directe V.I. des diodes de puissance du type PIN.
J. Aronould. L'ond électrique Nov. 1970.