به نام خدا

موضوع امتحان: الکترونیک قدرت و محرکه‌ها رشته: مهندسی رباتیک تاریخ امتحان: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

نام و نام‌خانوادگی:..... شماره دانشجویی:..... زمان امتحان: ۹۰ دقیقه

در جدول زیر چیزی ننویسید.

سوال ۱	سوال ۲	سوال ۳	سوال ۴	سوال ۵	جمع
۲۸	۱۴	۱۴	۲۳	۲۱	۱۰۰

سوال۱: شکل‌موج‌های یک سوئیچ ترانزیستوری در شکل زیر نشان داده شده است. پارامترهای این سوئیچ به صورت زیر است:

$$V_{CC} = ۲۵۰\,V, V_{BE(sat)} = ۳\,V, I_B = ۸\,A, V_{CS(sat)} = ۲\,V, I_{CS} = ۱۰۰\,A,$$

$$t_d = ۰/۵\,\mu s, t_r = ۱\mu s, t_s = ۵\,\mu s, t_f = ۳\,\mu s, f_s = ۱۰\,kHz$$

جریان نشتی کلکتور به امیتر $I_{CEO} = ۳\,mA$ است. توان تلف‌شده توسط جریان کلکتور را در حالت‌های زیر محاسبه کنید:

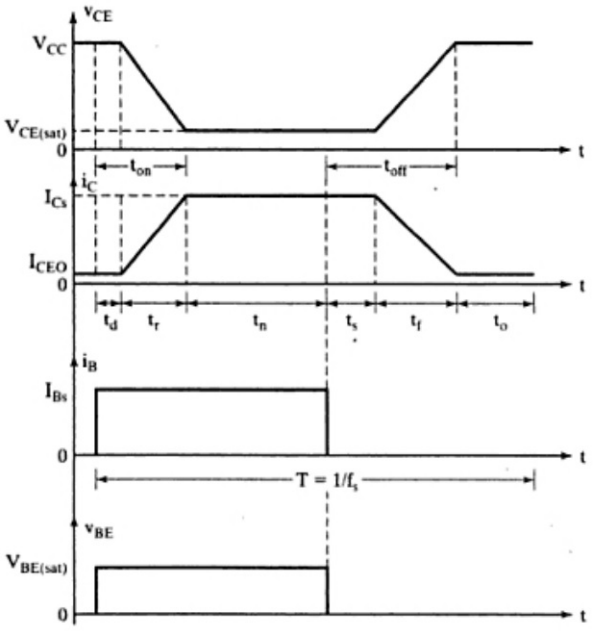
الف- در فاصله زمانی روشن شدن $t_{on} = t_d + t_r$

ب- در فاصله زمانی هدایت t_n

ج- در فاصله زمانی خاموش شدن $t_{off} = t_s + t_f$

د- در فاصله زمانی خاموشی کامل t_o

ه- توان متوسط تلف شده P_T را در هر بازه زمانی محاسبه کنید.



$$T = \frac{۱}{f_s} = ۱۰۰\,\mu s, k = ۰/۵, kT = t_d + t_r + t_n = ۵۰\,\mu s, t_n = ۵۰ - ۰/۵ - ۱ = ۴۸/۵\mu s,$$
$$(۱ - k)T = t_s + t_f + t_o = ۵۰\,\mu s, t_o = ۵۰ - ۵ - ۳ = ۴۲\,\mu s$$

الف- در مدت زمان تاخیر $۰ \leqslant t \leqslant t_d$

$$i_C(t) = I_{CEO},\ v_{CE}(t) = V_{CC}$$

توان لحظه‌ای ناشی از جریان کلکتور به صورت زیر است:

$$P_c(t) = i_C v_{CE} = I_{CEO} V_{CC} = ۳ \times ۱۰^{-۳} \times ۲۵۰ = ۰/۷۵W$$

توان متوسط تلف شده در مدت زمان تاخیر:

$$P_d = \frac{۱}{T}\int_{۰}^{t_d} P_c(t)dt = I_{CEO} V_{CC} t_d f_s = ۳ \times ۱۰^{-۳} \times ۲۵۰ \times ۰/۵ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}$$
$$= ۳/۷۵mW$$

در مدت زمان بالا رفتن $۰ \leqslant t \leqslant t_r$ با صرف‌نظر کردن از جریان نشتی I_{CEO}:

$$i_C(t) = \frac{I_{CS}}{t_r}t,\ v_{CE}(t) = V_{CC} + (V_{CE(sat)} - V_{CC})\frac{t}{t_r}$$

$$P_c(t) = i_C v_{CE} = I_{CS}\frac{t}{t_r}\left[V_{CC} + (V_{CE(sat)} - V_{CC})\frac{t}{t_r}\right]$$

$$P_r = \frac{۱}{T}\int_{.}^{t_r} P_c(t)dt = f_s I_{CS}\left[\frac{V_{CC}}{۲} + \frac{V_{CE(sat)} - VCC}{۳}\right]$$

$$= ۱۰ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰۰ \times ۱ \times ۱۰^{-۶}\left[\frac{۲۵۰}{۲} + \frac{۲ - ۲۵۰}{۳}\right] = ۴۲/۳۳W$$

کل توان تلف شده در فاصله زمانی روشن شدن:

$$P_{on} = P_d + P_r = ۰/۰۰۳۷۵ + ۴۲/۳۳ = ۴۲/۳۳W$$

ب- فاصله زمانی هدایت $۰ \leqslant t \leqslant t_n$

$$i_C(t) = I_{CS},\ v_{CE}(t) = V_{CE(sat)}$$

$$P_c(t) = i_C v_{CE} = I_{CS}V_{CE(sat)} = ۲ \times ۱۰۰ = ۲۰۰W$$

$$P_n = \frac{۱}{T}\int_{.}^{t_n} P_c(t)dt = I_{CS}V_{CE(sat)}t_n f_s = ۲ \times ۱۰۰ \times ۴۸/۵ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}$$

$$= ۹۷W$$

ج- در زمان ذخیره $۰ \leqslant t \leqslant t_s$

$$i_C(t) = I_{CS},\ v_{CE}(t) = V_{CE(sat)}$$

$$P_c(t) = i_C v_{CE} = I_{CS}V_{CE(sat)} = ۲ \times ۱۰۰ = ۲۰۰W$$

$$P_s = \frac{۱}{T}\int_{.}^{t_s} P_c(t)dt = I_{CS}V_{CE(sat)}ts f_s = ۲ \times ۱۰۰ \times ۵ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}$$

$$= ۱۰W$$

در زمان کاهش $۰ \leqslant t \leqslant t_f$ با صرف‌نظر کردن از جریان نشتی I_{CEO}:

$$i_C(t) = I_{CS}\left(۱ - \frac{t}{t_f}\right),\ v_{CE}(t) = \frac{V_{CC}}{t_f}t$$

$$P_c(t) = i_C v_{CE} = V_{CC}I_{CS}\left[\left(۱ - \frac{t}{t_f}\right)\frac{t}{t_f}\right]$$

$$P_f = \frac{۱}{T}\int_{.}^{t_f} P_c(t)dt = \frac{V_{CC}I_{CS}t_f f_s}{۶} = \frac{۲۵۰ \times ۱۰۰ \times ۳ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}}{۶}$$

$$= ۱۲۵\,W$$

توان تلف‌شده در مدت زمان خاموشی:

$$P_{off} = P_s + P_f = I_{CS}f_s\left(t_s V_{CE(sat)} + \frac{V_{CC}t_f}{۶}\right) = ۱۰ + ۱۲۵ = ۱۳۵\,W$$

د- در زمان خاموشی $0 \leqslant t \leqslant t_o$

$$i_c(t) = I_{CEO},\ v_{CE}(t) = V_{CC}$$

$$P_c(t) = i_c v_{CE} = I_{CEO} V_{CC} = ۳ \times ۱۰^{-۳} \times ۲۵۰ = ۰/۷۵\, W$$

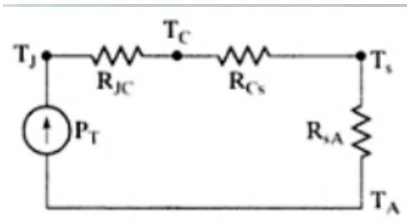
$$P_o = \frac{۱}{T} \int_{.}^{t_o} P_c(t)dt = I_{CEO} V_{CC} t_o f_s = ۳ \times ۱۰^{-۳} \times ۲۵۰ \times ۴۲ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}$$

$$= ۰/۳۱۵\, W$$

ه- کل توان تلف‌شده در ترانزیستور به دلیل جریان کلکتور به صورت زیر خواهد بود:

$$P_T = P_{on} + P_n + P_{off} + P_o = ۴۲/۳۳ + ۹۷ + ۱۳۵ + ۰/۳۱۵ = ۲۷۴/۶۵\, W$$

سوال۲: ماکزیمم دمای پیوند یک ترانزیستور $T_J = ۱۲۵^oC$ و دمای محیط $T_A = ۲۵^oC$ است. اگر امپدانس‌های گرمایی $R_{JC} = ۰/۴ \frac{^oC}{W}$، $R_{CS} = ۰/۲ \frac{^oC}{W}$ و $R_{SA} = ۰/۶ \frac{^oC}{W}$ باشد، محاسبه کنید: الف) ماکزیمم توان تلف‌شده، ب) دمای جسم. (مدار معادل گرمایی یک ترانزیستور را رسم کنید.)



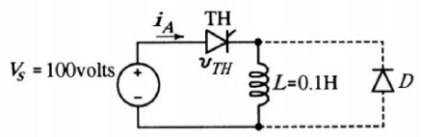
پاسخ: الف)

$$T_j - T_A = P_T(R_{JC} + R_{CS} + R_{SA}) = P_T R_{JA}, R_{JA} = ۰/۶ + ۰/۲ + ۰/۴ = ۱/۲,$$

$$۱۲۵ - ۲۵ = ۱/۲ \times P_T \Rightarrow P_T = ۸۳/۳\, W$$

ب) $T_C = T_J - P_T R_{JC} = ۱۵۰ - ۱۲۵ \times ۰/۴ = ۱۰۰^oC$

سوال۳: یک سیم‌پیچ هدایت بالا (بدون مقاومت) توسط یک منبع ایده‌آل و یک تریستور به عنوان کنترلر، شارژ می‌شود. اگر جریان راه‌اندازی تریستور ۵ میلی‌آمپر باشد، مدت زمانی را که پالس گیت باید اعمال شود تا از روشن شدن تریستور اطمینان حاصل شود، محاسبه کنید.



پاسخ: با توجه به اطلاعات محدود مسئله، باید تریستور را ایده‌آل فرض کنیم. یعنی، با اعمال پالس گیت تریستور بدون تاخیر روشن می‌شود و امپدانس آن را صفر در نظر بگیریم. طول پالس گیت باید به اندازه‌ای باشد که جریان اصلی را از صفر به ۴ میلی‌آمپر برساند. پالس گیت در $t = ۰$ آغاز می‌شود. از قانون ولتاژ کیرشهف داریم:

$$V_s = v_{th} + L\frac{di_A}{dt}$$

اما $v_{th} = V_{th(on)} = ۰$، بنابراین با انتگرال‌گیری داریم:

$$i_A = (\frac{V_s}{L})t + C$$

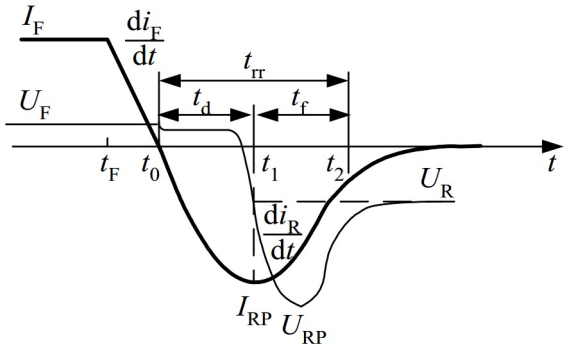
که C یک ثابت است. در $t = ۰$، $i_A = ۰$ بنابراین $C = ۰$. پس، $i_A = (\frac{V_s}{L})t$. بنابراین برای $i_A = ۴\,mA$، $t = \frac{۵ \times ۱۰^{-۳} \times ۰/۱}{۱۰۰} = ۵\,\mu s$.

سوال۴: به سوالات زیر پاسخ دهید.

الف- سوئیچ‌ها از نظر کنترل‌شوندگی به چند دسته تقسیم می‌شوند؟ مثال بزنید.

۱- کنترل‌ناپذیر: دیود. ۲- نیمه کنترل‌پذیر: تریستور. ۳- تمام کنترل‌شونده: ماسفت.

ب- مشخصه سوئیچینگ یک دیود قدرت (ولتاژ و جریان) در حالت خاموش شدن را رسم کنید و در مورد زمان‌های مهم آن توضیح دهید.



ج- چهار نوع SCR مهم را نام ببرید.

۱- تریستورهای کلیدزنی سریع

۲- تریستورهای خاموش‌شونده با گیت (GTO)

۳- تریستورهای سه‌قطبی دو جهته (TRIAC)

۴- تریستورهای کنترل‌شده از نوع MOS (MCT)

د- انواع ماشین‌های القایی را نام ببرید و توضیح دهید.

۱- اگر درون شیارهای روتور، سیم‌پیچی مسی یا آلومینیومی جاسازی شود، روتور سیم‌بندی شده خواهیم داشت. این سیم‌پیچی شبیه سیم‌پیچی استاتور سه‌فاز می‌باشد. بنابراین در روتور سیم‌بندی شده با سه سیم‌پیچی مواجه‌ایم و در نتیجه شش پایانه خواهیم داشت. سه پایانه را در درون ماشین به هم متصل می‌کنند و سه پایانه دیگر را از ماشین خارج کرده به سه حلقه لغزان برروی محور موتور وصل می‌کنیم. برروی این سه حلقه لغزان سه جاروبک ساکن وجود دارد و توسط این جاروبک‌ها می‌توان مدار روتور را به مدارهای دیگر از قبیل رئوستا جهت کنترل سرعت متصل نمود.

۲- اگر درون شیارهای روتور میله‌های آلومینیومی یا مسی تعبیه شود، روتور قفس سنجابی خواهیم داشت. این میله‌ها از هر دو سمت به هم متصلند. به عبارت دیگر میله‌ها از هر دو سمت اتصال کوتاه شده‌اند. بنابراین در روتورهای قفس سنجابی حلقه لغزانی نداریم و هیچ‌گونه پایانه‌ای از روتور خارج نمی‌شود.

ه- جدول زیر را کامل کنید:

نیمه‌هادی	ظرفیت توانی	سرعت سوئیچینگ
BJT	متوسط	متوسط
MOSFET	پایین	سریع
GTO	بالا	کند
IGBT	متوسط	متوسط

و- مشکل سوئیچ‌های GTO چیست؟ چه راهی برای آن پیشنهاد می‌دهید؟

اگرچه GTO یک سوئیچ قابل کنترل مانند ماسفت و BJT است، حالت گذرای سوئیچینگ برای خاموش شدن آن بسیار متفاوت است. به این دلیل که یک GTO برای خاموشی القایی باید به همراه یک مدار اسنابر به کار گرفته شود. چون که مقدار $\frac{dv}{dt}$ بزرگی برروی آن قرار می‌گیرد که GTO معمولی نمی‌تواند خاموشی القایی را تحمل کند. بنابراین نیاز به یک مدار اسنابر R، C و D دارد تا بتواند $\frac{dv}{dt}$ را کاهش دهد.

سوال۵: یک موتور القایی سه‌فاز ۵۰ هرتز، سرعت بار کامل ۱۴۴۰ r.p.m دارد. برای این موتور مطلوبست محاسبه:

۱. تعداد قطب‌ها

۲. لغزش بار کامل و فرکانس روتور

۳. سرعت میدان استاتور نسبت به استاتور

۴. سرعت میدان استاتور نسبت به روتور

۵. سرعت میدان روتور نسبت به روتور

۶. سرعت میدان روتور نسبت به استاتور

۷. سرعت میدان روتور نسبت به میدان گردان استاتور.

حل:

۱. چون سرعت بار کامل کمی از سرعت سنکرون کمتر است، بنابراین می‌توان از آن اه جای سرعت سنکرون استفاده نمود:

$$n_s = \frac{۱۲۰ f_s}{p} \Rightarrow ۱۴۴۰ = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{p} \Rightarrow p = ۴/۱۷$$

چون تعداد قطب‌ها باید عدد صحیح زوج باشد بنابراین $p = ۴$ است.

۲.

$$n_s = \frac{۱۲۰ f_s}{p} = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۴} = ۱۵۰۰ \text{ r.p.m}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴۴۰}{۱۵۰۰} = ۰/۰۴$$

$$f_r = s f_s = ۰/۰۴ \times ۵۰ = ۲ \, Hz$$

۳. سرعت میدان گردان استاتور نسبت به استاتور $n_s = ۱۵۰۰ \text{ r.p.m}$ است.

۴. $n_s - n_m = ۱۵۰۰ - ۱۴۴۰ = ۶۰ \text{ r.p.m}$

۵. $$sn_s = \frac{۱۲۰ f_r}{p} = \frac{۱۲۰ \times ۲}{۴} = ۶۰ \text{ r.p.m}$$

۶. $n_r + sn_s = n_s = ۱۵۰۰ \text{ r.p.m}$

۷. از آنجایی که میدان‌های استاتور و روتور در سرعت سنکرون ۱۵۰۰ r.p.m نسبت به استاتور می‌چرخند، سرعت میدان روتور نسبت به میدان استاتور صفر است.

موفق باشید- آدینه