

Tecnología Electrónica
Cálculo de confiabilidad de Sistemas Electrónicos

Gallo Facundo 63579
Guazzaroni Luca 62630

Profesor: Ing. Centeno, Carlos
Ing. Gonzalez Dondo, Diego

Índice

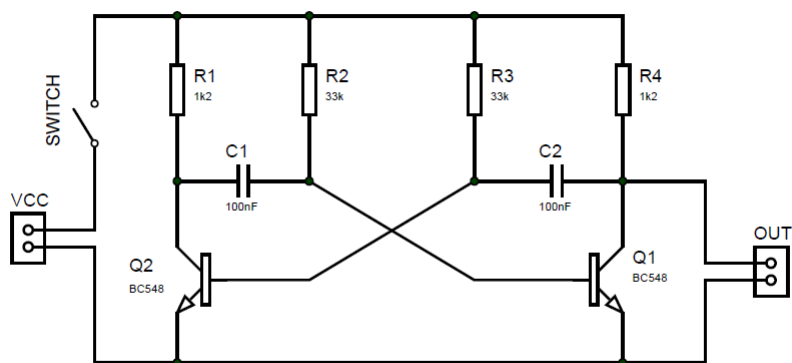
1. Objetivos	3
2. Circuito bajo estudio	3
2.1. Transistores	3
2.2. Resistencias	3
3. Análisis de estrés por partes	4
3.1. Tasa de probabilidad de falla del BC548	4
3.2. Tasa de probabilidad de falla de las resistencias	4
3.3. Tasa de probabilidad de falla de los capacitores	4
3.4. Tasa de probabilidad de falla de los conectores	5
3.5. Tasa de probabilidad de falla del interruptor	5
3.6. Tiempo medio sin fallas	5
4. Análisis por cuenta partes	5
5. Análisis de modo de falla y sus efectos (FMEA)	6
5.1. Fallas en el interruptor	6
5.2. Fallas en los capacitores	7
5.3. Análisis de falla y avería	7
6. Modo de falla y análisis crítico (FMECA)	8
6.1. Análisis por severidad de la falla	8
6.2. Análisis por probabilidad de ocurrencia	8
6.3. Matriz crítica	9
6.4. Número Crítico	9
7. Conclusiones	9

1. Objetivos

El trabajo consiste en determinar el tiempo medio de falla de un circuito electrónico de al menos 10 componentes aplicando las técnica de la norma HDBK-MIL-217, fallas por estrés y cuenta de las partes. Realizar los cálculos en base a los datos proporcionados en las tablas que figuran en dicha norma teniendo en cuenta las condiciones reales de funcionamiento del circuito. Luego, realizar un análisis del modo de fallas y sus efectos, es decir afectar los resultados anteriores por las posibles formas de fallar (FMEA). Por último, en base a las funciones que desempeñan cada uno de los componentes en el circuito, realizar un análisis critico de los modos de falla (FMECA). Clasificar las misma según su severidad y probabilidad de ocurrencia, determinando su número crítico.

2. Circuito bajo estudio

El circuito estudiado es un multivibrador astable de 440Hz, el cual acciona la bocina de un automóvil.



A continuación se mostrarán los cálculos de cada uno de los componentes, considerando que la temperatura ambiente a la que está sometido el circuito es de 40°C.

2.1. Transistores

Los transistores a utilizar son BC548C. Los parámetros máximos y de operación son mostrados en la siguiente tabla:

Parámetro	Parámetros máximos	Parámetros de operación	Relación
V_{CE}	30V	12V	0,4
I_C	100mA	10mA	0,1
P	625mW	3mW	0,0048

Ademas la temperatura de juntura es $T_j = 40,5^\circ C$

2.2. Resistencias

Las resistencias utilizadas son de 1/4 de Watt, en la siguiente tabla se muestra la relación entre la potencia máxima y la de operación.

Resistencias	Potencia máxima	Potencia de operación	Relación
R_1 y R_4	0,25W	0,12W	0,48
R_2 y R_3	0,25W	3,85mW	0,0015

3. Análisis de estrés por partes

Para el análisis se utiliza la norma MIL-HDBK-217F. La cual brinda los datos necesarios para calcular la cantidad de fallas cada 1000000 de horas de cada componente (λ_P). Para calcular el total del circuito, se suman los λ_P de cada componente. En nuestro caso

$$\lambda_{PT} = 2\lambda_{P(BC548)} + 2\lambda_{P(R1)} + 2\lambda_{P(R2)} + 2\lambda_{P(C1)} + 2\lambda_{P(Conn)} + \lambda_{P(Switch)}$$

3.1. Tasa de probabilidad de falla del BC548

El λ_P del BC548 se calcula con la siguiente fórmula:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E$$

Los datos extraídos del handbook están en la siguiente tabla

λ_b	π_T	π_A	π_R	π_S	π_Q	π_E
0,00074	1,4	0,7	1	0,16	5,5	9

Por resultado tenemos

$$\lambda_{p(BC548)} = 0,00574 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

3.2. Tasa de probabilidad de falla de las resistencias

El λ_P de las resistencias se calcula con la siguiente fórmula:

$$\lambda_{p(R)} = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E$$

Los datos extraídos del handbook están en la siguiente tabla

	λ_b	π_T	π_P	π_S	π_Q	π_E
R_1 y R_4	0,0017	1,5	0,44	1,2	10	16
R_2 y R_3	0,0017	1,5	0,068	0,78	10	16

Por resultado tenemos

$$\lambda_{p(R1)} = 0,143616 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

$$\lambda_{p(R2)} = 0,002164 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

3.3. Tasa de probabilidad de falla de los capacitores

Los capacitores utilizados son cerámicos de propósito general, su $\lambda_{p(C)}$ se calcula como sigue:

$$\lambda_{p(C)} = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E$$

Los datos extraídos del handbook están en la siguiente tabla

λ_b	π_T	π_C	π_V	π_Q	π_E
0.00099	1.9	0.82	1	10	20

Por resultado tenemos

$$\lambda_{p(C)} = 0,308484 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

3.4. Tasa de probabilidad de falla de los conectores

Se calcula con la siguiente fórmula

$$\lambda_{p(Conn)} = \lambda_b \pi_T \pi_K \pi_Q \pi_E$$

λ_b	π_T	π_K	π_Q	π_E
0.04	1.3	1	2	8

Por resultado tenemos

$$\lambda_{p(Conn)} = 0,0832 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

3.5. Tasa de probabilidad de falla del interruptor

Se calcula con la siguiente fórmula

$$\lambda_{p(Switch)} = \lambda_b \pi_L \pi_C \pi_Q \pi_E$$

λ_b	π_L	π_C	π_Q	π_E
0.1	1.06	1	2	18

Por resultado tenemos

$$\lambda_{p(Switch)} = 3,816 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

3.6. Tiempo medio sin fallas

Partimos sumando las tasas de probabilidad de falla de cada uno de los componentes del circuito

$$\lambda_{PT} = 2\lambda_{P(BC548)} + 2\lambda_{P(R1)} + 2\lambda_{P(R2)} + 2\lambda_{P(C1)} + 2\lambda_{P(Conn)} + \lambda_{P(Switch)}$$

Obteniendo,

$$\lambda_{PT} = 4,902408 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

Por lo que la cantidad media de horas que el circuito funcionará sin fallas es de

$$MTFB = 203981,4 \text{ Horas}$$

Expresado en años nos da

$$MTFB = 23,3 \text{ Años}$$

4. Análisis por cuenta partes

A diferencia del análisis de estrés por partes, el cuenta partes considera menos parámetros para estimar el tiempo medio de falla. se calcula como

$$\lambda_P = \sum N_i (\lambda_g \pi_Q)_i$$

- N_i : Cantidad de partes genéricas.
- λ_{p_i} : Tasa de falla de parte genérica.
- π_{p_i} : Factor de calidad de parte genérica.

Teniendo en cuenta los componentes utilizados y basándonos en el apéndice A del MIL-HDBK-217F, se confeccionó la siguiente tabla.

Componente	Especificación	λ_g	π_Q
BC548	NPN < 200MHz	0.0017	8
Resistencias	Composition (RC)	0.051	10
Capacitores	Cerámico propósito general	0.064	10
Conectores	Terminal Block	0.43	2
Interruptor	Toogle	1.8	2

El resultado es

$$\lambda_p = 8,6672 \frac{fallas}{10^6 Horas}$$

por lo que queda

$$MTFB = 13,12 \text{ Años}$$

5. Análisis de modo de falla y sus efectos (FMEA)

Aquí se analizan los modos más probables de fallo de los componentes y su impacto en el circuito. Como punto de partida, se realizará una tabla con los resultados del tiempo medio de falla calculado por el método de estrés por partes. De manera de ver claramente cuales son los que tienen mayor probabilidad de fallo.

Componente	λ_p
Interruptor	3,816
Capacitores	0,308484
R_1 y R_4	0,143616
Conectores	0,0832
Transistores	0,00574
R_2 y R_3	0,002164

Como la mayor probabilidad de fallo corresponden al interruptor y a los capacitores, se analizará las consecuencias de los fallos más probables de esos componentes.

5.1. Fallas en el interruptor

Según la norma MIL-HDBK-338 la probabilidad de los distintos fallos de un interruptor son los siguientes:

- Interruptor Abierto: $\alpha = 0,65$
- Interruptor Trabado: $\alpha = 0,19$
- Interruptor Cerrado: $\alpha = 0,16$

Donde α es la probabilidad de modo de fallo.

La probabilidad de falla del circuito debida a que el interruptor quede abierto es:

$$\lambda_{PT_{switchOpen}} = 2\lambda_{P(BC548)} + 2\lambda_{P(R1)} + 2\lambda_{P(R2)} + 2\lambda_{P(C1)} + 2\lambda_{P(conn)} + \alpha_{switchOpen}\lambda_{P(switch)}$$

$$\lambda_{PT_{switchOpen}} = 3,1585392 \frac{fallas}{10^6 horas}$$

Por ende,

$$MTFB = 36,14 \text{ Años}$$

5.2. Fallas en los capacitores

Según la norma MIL-HDBK-338 la probabilidad de los distintos fallos de un capacitor son los siguientes:

- Capacitor en corto: $\alpha = 0,49$
- Cambio en el valor de capacitancia: $\alpha = 0,29$
- Capacitor abierto: $\alpha = 0,22$

La probabilidad de falla del circuito debida a que uno de los capacitores quede en cortocircuito es:

$$\lambda_{PTSCap} = 2\lambda_{P(BC548)} + 2\lambda_{P(R1)} + 2\lambda_{P(R2)} + \alpha_{SCap}\lambda_{P(C1)} + \lambda_{P(C1)} + 2\lambda_{P(conn)} + \lambda_{P(switch)}$$

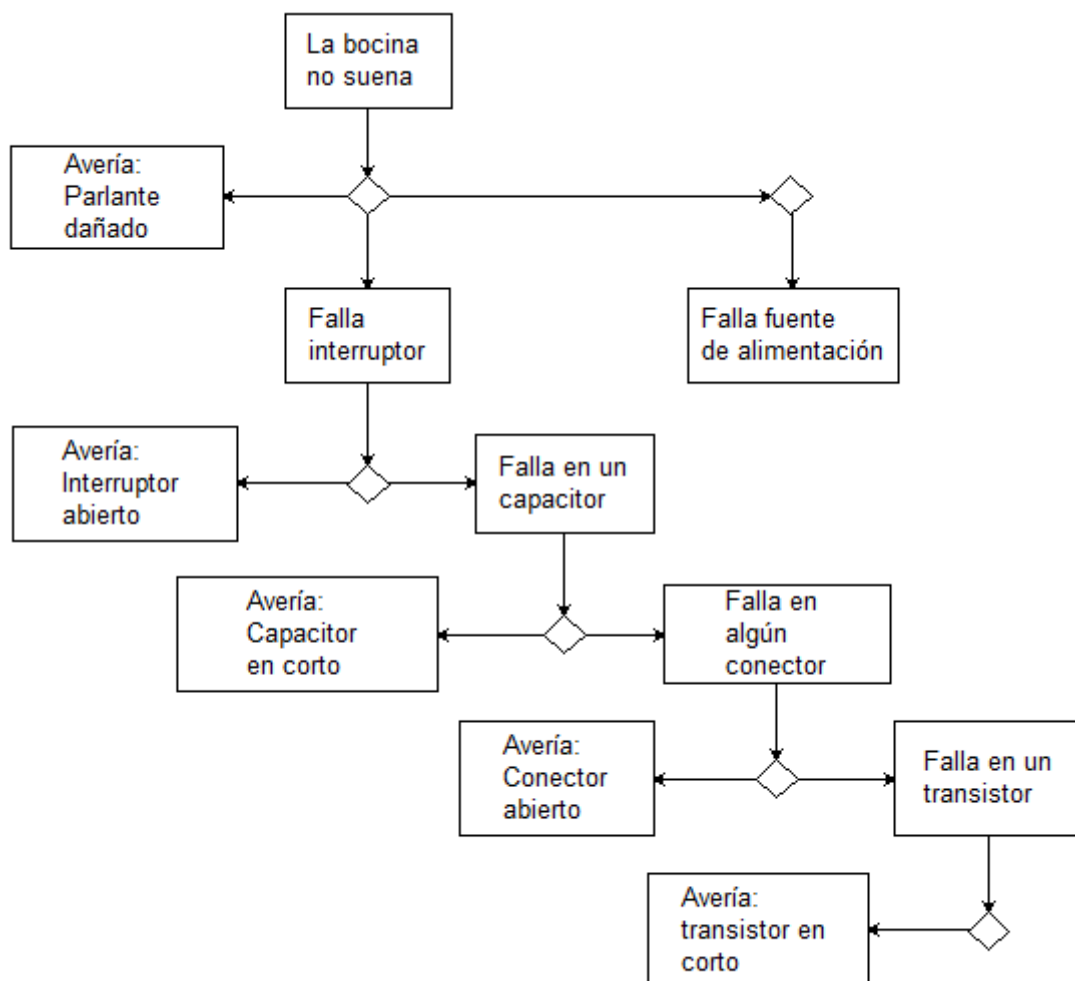
$$\lambda_{PTSCap} = 4,74508 \frac{fallas}{10^6 horas}$$

Por ende,

$$MTFB = 24,1 \text{ Años}$$

5.3. Análisis de falla y avería

En el siguiente diagrama, se muestra a que se puede deber la falla del sistema según su probabilidad de falla de los componentes. Por ejemplo, como el interruptor es el componente del circuito con más probabilidad de fallar, es el primero que hay que inspeccionar en caso de que la bocina no funcione.



6. Modo de falla y análisis crítico (FMECA)

En este análisis se pretende determinar si un componente puede provocar una falla que sea catastrófica, la probabilidad de esa falla y la tolerancia a las mismas. La realización de un estudio FMECA permite identificar aquellos componentes críticos en los que debe enfatizarse el mantenimiento, o que deben ser objeto de rediseño. En el FMECA se analizan las fallas desde dos puntos de vista:

- Severidad: Se evalúa teniendo en cuenta las peores consecuencias que se pueden dar ante una falla.
- Probabilidad de aparición: Es el análisis en base a la probabilidad de su ocurrencia. Tiene como base el análisis MTBF y FMEA.

6.1. Análisis por severidad de la falla

Se analiza la severidad de las consecuencias en el circuito ante la posible falla de uno de sus componentes. Las categorías son:

- Catastrófico: La falla del componente puede causar la pérdida total del sistema.
- Importante: Una falla puede causar lesiones graves o importantes daños materiales.
- Marginal: Una falla puede causar lesiones leves o, daños materiales que se traducirían en pérdida de disponibilidad del sistema.
- Menor: Falla mínima que solo provocaría la necesidad de un mantenimiento o reparación programada.

A nuestro entender cada uno de los componentes se ubica en estas categorías:

Dispositivo	Categoría
Interruptor	4
Capacitores	4
R_1 y R_4	4
Conectores	4
Transistores	4
R_2 y R_3	4

6.2. Análisis por probabilidad de ocurrencia

Aquí los niveles de probabilidad de las fallas son los siguientes:

- Nivel A (Frecuente): $\lambda_P > 0,2$
- Nivel B (Razonablemente probable): $0,2 > \lambda_P > 0,1$
- Nivel C (Ocasional): $0,1 > \lambda_P > 0,01$
- Nivel D (Remota): $0,01 > \lambda_P > 0,001$
- Nivel F (improbable): $\lambda_P < 0,001$

Según el análisis de estrés por partes, los componentes pertenecen a los siguientes niveles:

Dispositivo	Nivel
Interruptor	A
Capacitores	A
R_1 y R_4	B
Conectores	C
Transistores	D
R_2 y R_3	D

6.3. Matriz crítica

La matriz crítica relaciona el nivel de probabilidad de ocurrencia de la falla, con lo catastrófica que puede ser. Mientras mas arriba y a la derecha se esté, más crítico es el componente en cuestión.

Nivel A	Interruptor y capacitores			
Nivel B	R_1 y R_4			
Nivel C	Conectores			
Nivel D	R_2 , R_3 , Transistores			
Nivel E				
	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I

6.4. Número Crítico

El numero crítico de falla determina por si mismo la peligrosidad de un modo de falla determinado. Se define como:

$$C_m = \beta \alpha \lambda_P t$$

Donde

- β : Probabilidad de perdida de función.
- α : Probabilidad de modo de falla.
- λ_P : probabilidad de falla total – MBTF.
- t : tiempo de funcionamiento requerido.

Para calcular β nos guiamos por los siguientes valores:

Efecto de la falla	Valor de β
Pérdida segura	1
Probable pérdida	$1 > \beta > 0,1$
psible pérdida	$0,1 > \beta > 0$
Sin efecto	0

Por lo que los números críticos de los componentes de nuestro circuito, considerando que el tiempo de funcionamiento requerido es 15 años (131400 horas), son los siguientes:

Dispositivo	Número crítico
Interruptor	325924,56
Capacitores	9931
R_1 y R_4	622,7
Conectores	3334,4
Transistores	275,3
R_2 y R_3	9,4

7. Conclusiones

Al analizar el tiempo medio de falla (por los dos métodos) se llegó a varias conclusiones sobre cuales son los factores que mas afectan la confiabilidad de un circuito. Durante el análisis, se observó que el ambiente de trabajo, temperatura y calidad de componentes, son los factores que más reducen el tiempo medio de falla. Por ende, siempre que sea posible se los debe corregir. Por ejemplo, mantener la temperatura baja con un sistema de refrigeración, reducir las vibraciones con sistemas de amortiguamiento. Otro factor a tener en cuenta para mejorar la confiabilidad del sistema, es mantener el mayor margen posible entre las magnitudes a las que opera cada dispositivo y sus máximos admisibles.



En cuanto a los posibles modos de falla y sus consecuencias, es importante tenerlos en cuenta por dos razones. La primera, nos permite predecir las consecuencias de un posible fallo, permitiéndonos diseñar circuitos de protección que no estaban previstos en primera instancia. La segunda, para diseñar el manual de servicio del sistema. Ya que para cada error de funcionamiento que se produzca, sabremos cual es la causa más probable y por ende el primer testeado que se debe hacer.

Por último, la matriz crítica puede ser una herramienta muy útil para analizar si se debe corregir sí o sí el diseño, o simplemente conseguir un componente de mayor calidad.