

# Apéndice B

## Diseño de los componentes del filtro

Como se ha mencionado en el capítulo 5, el filtro reconoce estándares de interferencia electromagnética, como es el caso de la norma VDE 0871 clase A.

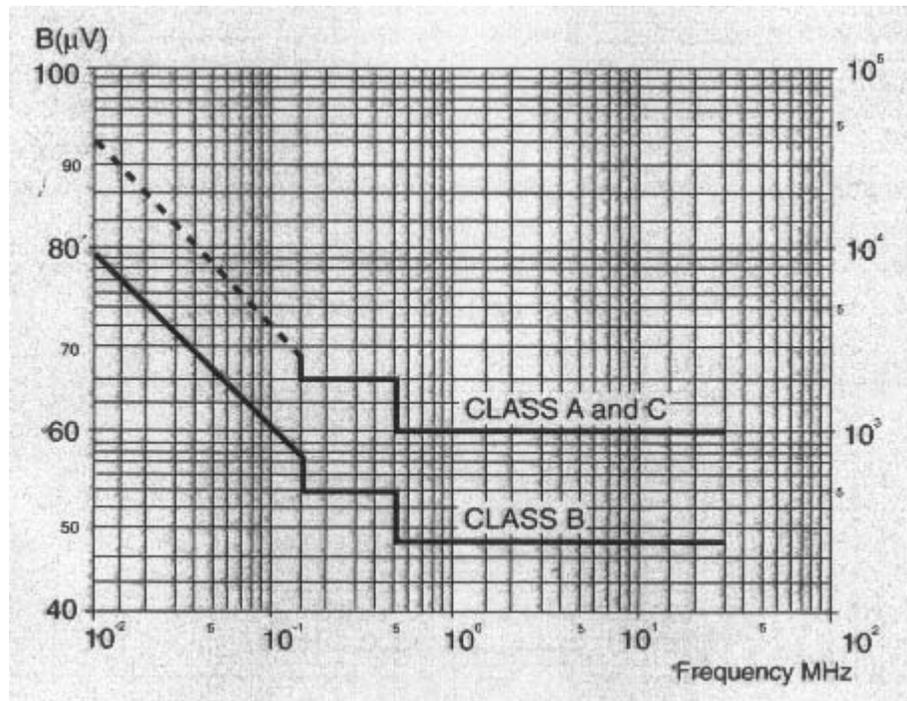
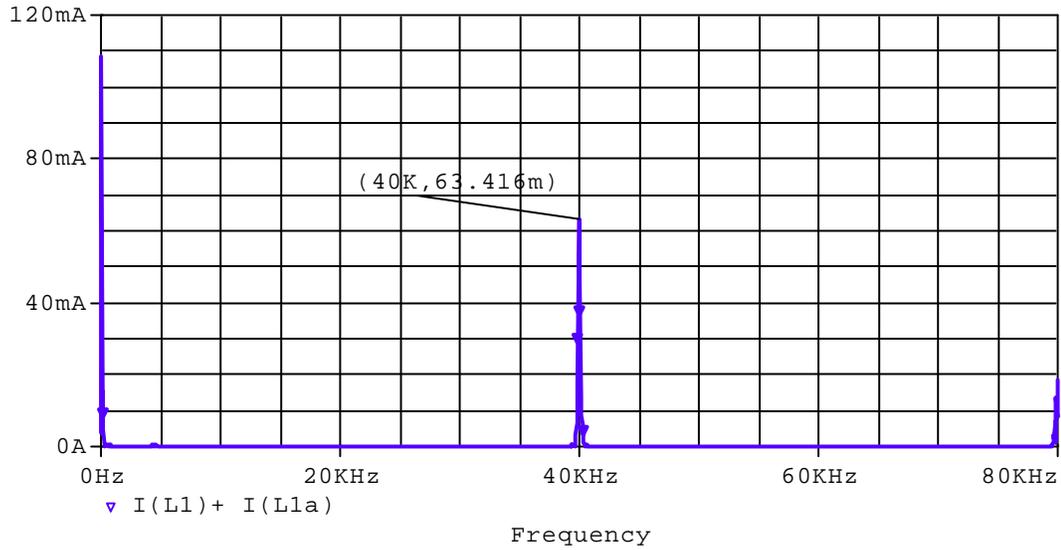


Figura B.1 Límites de ruido electromagnético de la norma VDE 0871

Como se aprecia en la figura anterior, la frecuencia de conmutación (40kHz) debe estar atenuada al menos  $80 \text{ dB}\mu\text{V}$  para la clase A. A este valor se le conoce como  $V_{EMI}$ . Este voltaje es el que se encuentra en una resistencia de  $50\Omega$  ( $R_{LSIN}$ ) por la cual fluye la componente de 40kHz de la corriente ( $I_{SW}$ ) [26]. Para conocer la atenuación mínima de la frecuencia de conmutación en decibeles, se utiliza la siguiente ecuación.

$$A_{\min} = 20 \log \left( \frac{R_{LSIN} I_{SW}}{1 \times 10^{-6} \left( 10^{\left( \frac{V_{emi}}{20} \right)} \right)} \right) \quad (B.1)$$

La corriente  $I_{SW}$  se encuentra por medio de una simulación en Orcad, la cual se muestra a continuación.



**Figura B.2 Componente de 40kHz de la corriente de línea**

La atenuación mínima en decibeles es la siguiente.

$$A_{\min} = 20 \log \left( \frac{(50)(63.416 \times 10^{-3})}{1 \times 10^{-6} \left( 10^{\left( \frac{80}{20} \right)} \right)} \right) = 50dB \quad (B.2)$$

Para hacer el filtrado más eficiente, se selecciona una atenuación de **80dB**. Los parámetros normalizados para esta atenuación se encuentran en la tabla (B.1)

A continuación se determina la capacitancia máxima del filtro. Esta se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$C_{\max} = \frac{I_{PK}}{2\pi f_e V_{PK}} \tan(\cos^{-1}(IDF)) \quad (B.3)$$

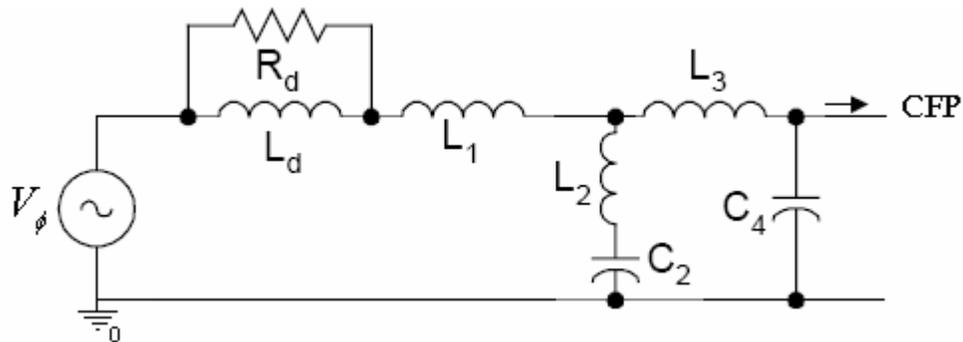
Donde  $I_{PK}$  y  $V_{PK}$  son la corriente y el voltaje pico de línea respectivamente, IDF es el factor de desplazamiento del voltaje ( $IDF = \cos \theta$ ) y  $f_e$  es la frecuencia eléctrica (60Hz).  $V_{PK}$  se selecciona 10V y la corriente  $I_{PK}$  se obtiene a partir de figura 4.11.

$$I_{PK} = \frac{d^2 V_o V_{PK}}{2L f_s (V_o - V_{PK})} = 120mA \quad (B.4)$$

El factor de desplazamiento se propone de tal modo que el desfaseamiento entre corriente fundamental y voltaje sea mínimo ( $IDF = 0.99$ ). Estos valores se sustituyen en la ecuación (B.3) para encontrar la capacitancia máxima del filtro.

$$C_{\max} = \frac{120 \times 10^{-3}}{120\pi(10)} \tan(\cos^{-1}(0.99)) = 4.535 \mu F \quad (B.5)$$

Debido a que el filtro presenta dos capacitores, la suma de estos no debe superar a  $C_{\max}$ . El filtro a diseñar es de orden  $n = 4$ . Esto es debido a que la banda de transición es corta y los componentes resultantes son más pequeños. El filtro a diseñar es el siguiente.



**Figura B.3 Filtro elíptico pasa - bajas**

A continuación se muestra una lista de los parámetros normalizados para distintas atenuaciones [21].

$\Omega_s$	Atenuación	L1n	L2n	C2n	L3n	C4n
7.783	103	1.134	0.007212	1.391	1.983	1.258
7.297	99.14	1.132	0.009741	1.389	1.981	1.258
6.752	95.4	1.13	0.01249	1.385	1.979	1.258
6.194	91.87	1.127	0.01549	1.381	1.977	1.258
5.665	88.58	1.124	0.01879	1.377	1.975	1.259
5.198	85.54	1.12	0.02241	1.373	1.972	1.259
4.803	82.74	1.117	0.02636	1.367	1.97	1.259
<b>4.464</b>	<b>80.14</b>	<b>1.113</b>	<b>0.03065</b>	<b>1.362</b>	<b>1.967</b>	<b>1.26</b>
4.172	77.71	1.108	0.03528	1.356	1.964	1.26
3.916	75.44	1.104	0.04026	1.35	1.96	1.26
3.69	73.31	1.099	0.04559	1.343	1.956	1.261
3.49	71.29	1.094	0.05128	1.336	1.953	1.261
3.311	69.38	1.088	0.05734	1.328	1.949	1.262
3.151	67.56	1.082	0.06377	1.32	1.944	1.262
3.006	65.83	1.076	0.07059	1.312	1.94	1.263
2.874	64.17	1.07	0.0778	1.303	1.935	1.264
2.754	62.59	1.063	0.08542	1.294	1.93	1.264
2.644	61.06	1.056	0.09344	1.285	1.925	1.265
2.543	59.6	1.049	0.1019	1.275	1.92	1.265
2.451	58.19	1.041	0.1108	1.264	1.914	1.266
2.365	56.83	1.033	0.1201	1.253	1.908	1.267
2.286	55.51	1.025	0.1299	1.242	1.902	1.268
2.212	54.24	1.017	0.1402	1.231	1.896	1.268
2.143	53	1.008	0.151	1.219	1.89	1.269
1.47	39.9	0.8204	0.414	0.9715	1.764	1.286
1.444	36.05	0.8057	0.4383	0.9526	1.754	1.287
1.42	35.21	0.7905	0.4638	0.9334	1.745	1.288
1.397	34.38	0.775	0.4908	0.9137	1.736	1.29
1.374	33.57	0.7591	0.5193	0.8937	1.726	1.291
1.353	32.76	0.7427	0.5494	0.8733	1.716	1.292
1.333	31.97	0.7259	0.5813	0.8525	1.706	1.293
1.314	31.18	0.7087	0.6152	0.8313	1.697	1.295
1.295	30.4	0.691	0.6513	0.8097	1.687	1.296
1.278	29.63	0.6728	0.6896	0.7877	1.677	1.297
1.261	28.86	0.6542	0.7306	0.7654	1.667	1.298
1.245	28.11	0.6351	0.7744	0.7427	1.656	1.3
1.23	27.35	0.6154	0.8214	0.7197	1.646	1.301
1.215	26.6	0.5952	0.8719	0.6963	1.636	1.302
1.201	25.86	0.5745	0.9264	0.6725	1.626	1.303

**Tabla B.1 Parámetros normalizados del filtro elíptico pasa - bajas**

El procedimiento para desnormalizar los parámetros se muestra a continuación. Primeramente, se calcula la frecuencia de referencia.

$$w_r = 0.85 \frac{2\pi f_s}{\Omega_s} = 0.85 \frac{2\pi(40 \times 10^3)}{4.464} = 47855.8 \text{ rad/s} \quad (\text{B.6})$$

Donde  $f_s$  es la frecuencia de conmutación del CFP. La resistencia  $R_d$  se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$R_d = \frac{C_{2n} + C_{4n}}{w_r C_{\max}} = 12\Omega \quad (\text{B.7})$$

Los componentes resultantes se calculan mediante los valores normalizados de la tabla (B.1).

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{L_{1n} R_d}{w_r} = 280.94 \mu H \\ L_2 &= \frac{L_{2n} R_d}{w_r} = 7.73 \mu H \\ L_3 &= \frac{L_{3n} R_d}{w_r} = 496.5 \mu H \end{aligned} \quad (\text{B.8})$$

A continuación se calculan los valores de las capacitancias.

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{C_{2n}}{w_r R_d} = 2.35 \mu F \\ C_4 &= \frac{C_{4n}}{w_r R_d} = 2.17 \mu F \end{aligned} \quad (\text{B.9})$$

Por último se comprueba que la suma de las capacitancias no sea mayor que  $C_{\max}$

$$2.35 \mu F + 2.17 \mu F = 4.52 < 4.535 \mu F \quad (\text{B.10})$$

El inductor  $L_d$  tiene el mismo valor que  $L_1$ . Esto es debido a que misma la corriente de alta frecuencia pasa por ambos inductores.