

Apéndice B. Voltajes de trabajo en condensadores e interruptores.

En este apéndice se presentan los voltajes de trabajo de los condensadores y los interruptores para cada una de las topologías analizadas, bajo el supuesto de componentes ideales y operación en régimen estacionario.

B.1. Topología de Dickson

A continuación, se determinarán los voltajes de operación en cada condensador y las tensiones de bloqueo en los interruptores durante su estado de no conducción. Se explicará de manera detallada el procedimiento para la topología Dickson con relación de conversión 3:1. Para el caso Dickson 1:3 y las demás topologías con las mismas relaciones de conversión, únicamente se presentarán los resultados obtenidos.

B.1.1. Dickson 3:1

El análisis para obtener las tensiones del sistema parte del método propuesto por Seeman (2009) el cual define el vector de tensiones de la siguiente manera:

$$v = \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ \vdots \\ V_{c,n} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (B.1)$$

Para el conversor Dickson 3:1 que se presenta en la Figura 2 se pueden obtener dos conjuntos de ecuaciones que cumplen con KVL, uno por cada fase de operación:

$$\begin{aligned} \varphi_1 \begin{cases} -V_{in} + V_{c,2} + V_{out} = 0 \\ -V_{c,1} + V_{out} = 0 \end{cases} \\ \varphi_2 \begin{cases} -V_{c,2} + V_{c,1} + V_{out} = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (B.2)$$

Cada sistema de ecuaciones puede representarse en forma de matrices para la Fase 1 se crea la matriz B^1 y para la fase 2 la matriz B^2 . Estas matrices se pueden combinar para formar

una nueva matriz que represente por completo el sistema por medio de la matriz B de la siguiente forma:

$$Bv = \begin{bmatrix} B^1 \\ B^2 \end{bmatrix} v = 0 \quad (\text{B.3})$$

El conversor de la Figura 2, entonces quedaría representado así:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} = 0 \quad (\text{B.4})$$

Como la matriz B esta compuesta por ecuaciones lineales independientes es posible solucionar el sistema de ecuaciones en términos de la tensión de entrada V_{in} . Para hallar los voltajes del sistema en términos de V_{in} , Seeman (2009) propone modificar la matriz B dividiéndola de la siguiente forma:

$$\left[\begin{array}{c|ccc} -1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 \end{array} \right] \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} = [b_{in} \quad B_c] \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_c \\ V_{out} \end{bmatrix} = 0 \quad (\text{B.5})$$

La expresión anterior se puede describir como:

$$B_c \begin{bmatrix} V_c \\ V_{out} \end{bmatrix} = -b_{in} V_{in} \quad (\text{B.6})$$

Resolviendo el anterior es posible determinar el voltaje de salida y el voltaje en cada capacitor, ya que B_c es una matriz cuadrada si el conversor esta bien planteado. Multiplicando por la matriz inversa de B_c a ambos lados de la Ecuación B.6 se obtiene:

$$\begin{bmatrix} V_c \\ V_{out} \end{bmatrix} = -B_c^{-1} b_{in} V_{in} \quad (\text{B.7})$$

Para la Figura 2 entonces los voltajes en los condensadores y en la salida en términos de V_{in} están dados de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 2/3 \\ 1/3 \end{bmatrix} V_{in} \quad (\text{B.8})$$

Para determinar el voltaje de bloqueo en cada interruptor durante su estado de no conducción, se emplean los voltajes de operación previamente obtenidos, sin considerar la caída de tensión en los interruptores que se encuentran conduciendo. Con este fin, se establece un conjunto de ecuaciones mediante KVL, que relaciona cada interruptor en estado abierto con las tensiones de los condensadores y las fuentes de entrada y salida (Seeman, 2009). Para el conversor de la Figura 2, dicho conjunto de ecuaciones es el siguiente:

$$\begin{aligned} \varphi_1 S_{i,off} & \begin{cases} -V_{in} + V_{s,2} + V_{c,1} = 0 \\ -V_{s,4} + V_{out} = 0 \\ -V_{s,7} + V_{out} = 0 \end{cases} \\ \varphi_2 S_{i,off} & \begin{cases} -V_{in} + V_{s,1} + V_{c,1} + V_{out} = 0 \\ -V_{c,2} + V_{s,3} + V_{out} = 0 \\ -V_{s,5} + V_{out} = 0 \\ -V_{s,6} + V_{out} = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{B.9})$$

A partir de las ecuaciones anteriores, es posible obtener su representación en forma matricial, la cual se expresa como:

$$V_r = \begin{bmatrix} V_{r,1} \\ V_{r,2} \\ V_{r,3} \\ V_{r,4} \\ V_{r,5} \\ V_{r,6} \\ V_{r,7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (\text{B.10})$$

B.1.2. Dickson 1:3

$$\begin{bmatrix} V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} V_{in} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} V_{in} \quad (\text{B.11})$$

$$V_r = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (\text{B.12})$$

B.2. Topología Serie-Paralelo

B.2.1. Serie-Paralelo 3:1

$$\begin{bmatrix} V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{bmatrix} V_{in} \quad (\text{B.13})$$

$$V_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (\text{B.14})$$

B.2.2. Serie-Paralelo 1:3

$$\begin{bmatrix} V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} V_{in} \quad (\text{B.15})$$

$$V_r = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (\text{B.16})$$

B.3. Topología Ladder

B.3.1. Ladder 3:1

$$\begin{bmatrix} V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{c,3} \\ V_{out} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{bmatrix} V_{in} \quad (\text{B.17})$$

$$V_r = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{c,3} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (\text{B.18})$$

B.3.2. Ladder 1:3

$$\begin{bmatrix} V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{c,3} \\ V_{out} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} V_{in} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} V_{in} \quad (\text{B.19})$$

$$V_r = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{c,1} \\ V_{c,2} \\ V_{c,3} \\ V_{out} \end{bmatrix} \quad (\text{B.20})$$