

Capítulo 6 Conclusiones

El CMRC se caracteriza por ser un convertidor de carga resonante y operar a frecuencia constante. Realizamos una revisión del comportamiento del CMRC haciendo hincapié sobre el modo de conmutación de las llaves. Vimos que sus cuatro llaves pueden operar en tres modos posibles: a) encendiéndose todas en ZVS, b) cortándose todas con ZCS y c) que dos operen en ZCS, mientras que las otras dos operan en ZVS. De los tres modos, el primero resulta ser el modo de operación más conveniente porque optimiza el rendimiento del convertidor, al evitar naturalmente el corte de diodos de rueda libre en forma abrupta. Así eliminamos, la necesidad de emplear diodos veloces, reduciendo las pérdidas de potencia por conmutación y por conducción. Bajo esta condición de operación, las llaves pueden implementarse empleando MOSFETs con sus diodos intrínsecos de rueda libre.

A la condición de conmutación a) la denominamos modo de operación *A* del CMRC y a las condiciones de conmutación b) y c), modo de operación *B*. Es deseable que las condiciones de operación del CMRC permanezcan en modo *A* aún bajo condiciones de carga que puedan variar circunstancialmente. Por esta razón buscamos límite entre ambos modos de operación a través de modelar al CMRC por tramos lineales e invariantes en el tiempo para el CMRC-SRL y para el CMRC-PRL. Resolvimos así el límite entre ambos modos, en función de las características del circuito resonante, de la carga aplicada al convertidor, de la frecuencia de conmutación y del ancho del pulso de tensión aplicado al circuito resonante. Los resultados obtenidos fueron volcados en gráficos que representan esta condición y que vinculan el ciclo de

trabajo crítico D , el factor de mérito Q del circuito resonante y la frecuencia de conmutación normalizada ω_n , todos al mismo tiempo. Representamos D en función ω_n empleando Q como parámetro. Este plano nos permitió observar en forma clara cómo podemos variar el ciclo de trabajo, para un dado diseño del circuito resonante y un valor de carga específico, sin cambiar el modo de operación del convertidor. También mediante el plano de Q en función de ω_n y D fijo, pudimos observar como mantenernos en un modo de operación al producirse cambios en los valores de carga, para un diseño del circuito resonante y un ciclo de trabajo fijo. Estas gráficas permiten diseñar al convertidor empleando al circuito resonante serie y al circuito resonante paralelo como circuitos equivalentes de diferentes modelos de carga sobre el convertidor.

El análisis previo probó ser una herramienta útil en la aplicación del CMRC como amplificador de potencia de RF con filtro de salida “T”. Propusimos emplear un CMRC y filtro “T” operando en modo A y permanecer en éste, aún con desadaptación entre la salida del convertidor y la carga propiamente dicha (cable + antena). Para poder emplear los resultados previos como herramienta de diseño modelamos al CMRC con filtro T como un circuito PRL equivalente. Como el convertidor opera con ciclo de trabajo fijo (en $2/3\pi$) el plano Q_p en función de ω_n , es el adecuado para el diseño del convertidor. Establecimos los pasos de diseño del filtro en condiciones de carga nominal, fijamos el ciclo de trabajo, luego elegimos el tipo de filtro y por último definimos en el plano Q_p , el valor ω_n para que el CMRC opere en modo A. Así determinamos los valores de inductancia y capacidad del filtro. En el diseño se contempló una variación de la carga vinculada con la desadaptación de impedancias medida a través del factor ROE. Se tomo un valor típico de ROE=2, estableciendo un límite de valores máximos posibles de variación en módulo y fase de la carga. Esta variación se llevo al plano Q_p dónde observamos que la zona de operación del CMRC con el filtro “T” diseñado en esta condición, quedó completamente dentro del modo de operación A. El diseño del convertidor se completó con la selección de las dispositivos MOSFETs y la determinación de la relación de transformación para desarrollar una potencia de salida de 300W sobre carga nominal resistiva de 50Ω , alimentando al transmisor desde la red de distribución. También se dimensionaron todos los componentes magnéticos del amplificador y la etapa de excitación a las llaves del convertidor.

Con el prototipo construido, obtuvimos resultados experimentales utilizando carga nominal y también para diferentes condiciones de carga cercanas al límite entre el modo *A* y *B*. En todos se corroboraron los resultados del análisis previo. Además pudimos apreciar en el espectro resultante la baja distorsión armónica de la forma de onda de la señal de RF, inferior al 1%. El prototipo resultó un equipo compacto con un rendimiento mayor al 90% muy aceptable para la potencia de diseño de 300W.

Finalmente desarrollamos el método de modulación por desplazamiento de fase escalonada BPSKE aplicada al CMRC para permanecer en el modo de operación *A*. Este método de modulación concentra el espectro de la señal transmitida más que usando modulación de fase binaria. El desplazamiento de fase en forma escalonada se realizó sobre el CMRC introduciendo retardos sucesivos en cada semi-ciclo de la portadora. Estos retardos son aplicados por el modulador a los pulsos de tensión v_{ab} , hasta alcanzar un cambio de fase total de π radianes sobre la señal de RF a la salida del filtro. El valor de cada retardo y el número de éstos son programados para formar diferentes perfiles de escalonamiento. El diseño del modulador se basó en contadores que fijan los diferentes intervalos de tiempos de las señales de excitación a cada una de las llaves del convertidor. El modulador se implementó con un dispositivo FPGA que permitió actuar directamente sobre las llaves del CMRC. Probamos tres perfiles de escalonamiento para la modulación BPSKE, abrupto, lineal y cosenoidal. Mostramos temporalmente sobre la portadora cómo se produce el corrimiento de fase durante un cambio de símbolo observando el correcto funcionamiento del modulador. También mostramos y comparamos los espectros resultantes para los tres perfiles probados. Observamos que para perfiles lineales y cosenoidales, se aprecia una gran atenuación para frecuencias por encima de la portadora respecto de un perfil abrupto. Los resultados experimentales de BPSKE sobre el CMRC, demuestran que resultó un método de modulación muy simple de implementar actuando directamente en las llaves del convertidor, convalidando su empleo. Los resultados del presente trabajo han sido publicados en [54], [55], [92] y [93].

Una de las principales limitaciones del trabajo presentado lo constituye el hecho de que el análisis efectuado para delimitar las zonas de operación *A* y *B* es completamente estático. Esto es, por la modulación o por cualquier otro transitorio, es posible que los estados del sistema crucen temporariamente la frontera entre ambos modos. Con el análisis actual se confía en que ello ocurra esporádicamente o sólo en periodos muy cortos que no causen daño en ningún componente. Sin embargo, un

análisis más preciso sería planteando al amplificador como un sistema con un modelado de estados y estructura variable. Esto podría originar un trabajo futuro en el que el amplificador sea visto como un sistema - no lineal – con restricciones algebraicas impuestas por los estados que no deben superarse para impedir el cambio del modo de operación.