

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**

*Departament d'Enginyeria Electrònica*

**“MODELOS NO LINEALES Y CONTROL  
EN MODO DESLIZAMIENTO DE  
CONVERTIDORES DE ESTRUCTURA  
RESONANTE”**

Autor: Miguel Castilla Fernández  
Director: Jose Luis García de Vicuña

Mayo de 1998

## **2. CONVERTIDORES DE ESTRUCTURA RESONANTE OPERANDO A FRECUENCIA DE RESONANCIA**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

La regulación de la tensión de salida en los convertidores de estructura resonante se realiza generalmente mediante la modificación de la frecuencia de conmutación en función de las necesidades de potencia de la carga. Esta técnica de control, conocida como control en frecuencia, presenta una serie de inconvenientes bien conocidos [4][34]:

- 1) La tensión de salida depende fuertemente de la carga, de la fuente de entrada y de los parámetros del convertidor, lo que dificulta la regulación de estos sistemas cuando existen grandes variaciones en la carga y en la tensión de entrada.
- 2) La frecuencia de conmutación variable provoca un amplio e impredecible espectro de ruido EMI y una pobre utilización de los componentes magnéticos.
- 3) La tensión y la corriente en la entrada del tanque resonante están desfasadas, lo que provoca la coexistencia de niveles de tensión y corriente distintos de cero en los interruptores durante la conmutación, resultando en pérdidas de conmutación apreciables.
- 4) Las pérdidas de conmutación y conducción aumentan conforme la frecuencia de conmutación se aleja del punto nominal de funcionamiento.

Del párrafo anterior se desprende que la operación de los convertidores de estructura resonante a frecuencia constante mejora las prestaciones del regulador. Si la frecuencia de conmutación coincide con la frecuencia de resonancia del tanque resonante, se consigue un comportamiento óptimo del convertidor [4]:

- 1) Excelente respuesta dinámica.
- 2) El espectro de ruido EMI queda concentrado alrededor de la frecuencia de resonancia, lo que facilita su filtrado.
- 3) Los componentes magnéticos operan a la frecuencia a la que fueron diseñados.
- 4) Drástica disminución de las pérdidas de conmutación, ya que todos los interruptores de potencia conmutan a tensión o corriente nula.

Tomando como punto de partida un convertidor resonante serie que opera a frecuencia de resonancia, G.B.Joung, C.T.Rim y G.H.Cho proponen una nueva concepción de control de los interruptores que proporciona altas prestaciones al regulador [34][35], entre las que cabe destacar, además de las inherentes al funcionamiento a frecuencia de resonancia, las que se resumen a continuación:

- 1) Baja sensibilidad de la tensión de salida en régimen estacionario respecto al valor de la carga y los parámetros del sistema, mientras el convertidor opera en modo de conducción continua.
- 2) Un control preciso del transvase energético en el convertidor, mediante la adecuada actuación sobre los interruptores en los instantes en que la corriente del inductor resonante cruza por cero.

El presente capítulo se inicia con la presentación del convertidor *Quantum Series Resonant Converter* (QSRC) propuesto por G.B.Joung, C.T.Rim y G.H.Cho. En primer lugar, se describen los modos de operación y el principio de funcionamiento del convertidor QSRC, lo que permite resumir las posibles topologías en un modelo circuital equivalente que será de gran utilidad en el estudio y caracterización del convertidor así como en el diseño del control del mismo. A continuación, la descripción se extiende a otras topologías resonantes que utilizan la misma estrategia de control de los interruptores y que serán utilizadas a lo largo del trabajo.

## 2.2. CONVERTIDOR RESONANTE SERIE

La topología básica de un convertidor resonante serie con estructura de entrada en puente completo se muestra en la Fig. 2.1. Si los interruptores S1, S2, S3 y S4 conmutan a frecuencia de resonancia y el cambio en las acciones de control sobre los mismos se realiza únicamente en los instantes de cruce por cero de la corriente del inductor resonante, el convertidor se denomina *Quantum Series Resonant Converter* (QSRC) [34][35].

El sentido de la transferencia energética en el convertidor QSRC puede distinguirse por el modo de operación en que se encuentre el convertidor: modo de energización, modo de resonancia libre, modo de regeneración y modo de conducción discontinua. Cada modo de operación viene determinado por el estado de los interruptores y del tanque resonante (véase Fig. 2.2).

A continuación se describen los modos de funcionamiento en el convertidor QSRC, así como el sentido del flujo energético y el estado de los interruptores para cada uno de ellos. Asimismo, se define una variable discreta  $u$  que permite la identificación de dichos modos, y que será de gran utilidad en el establecimiento de modelos no lineales del convertidor:

- 1) Modo de energización o *powering mode* ( $u = 1$ ).

En este modo de operación se realiza la transferencia de energía desde la fuente hacia el tanque resonante y desde el tanque a la carga. Para ello, los pares de interruptores S1-S4 y S2-S3 conducen de forma alternativa, de forma que la tensión y la corriente de entrada al tanque resonante estén en fase (véase Fig.2.2a); de este modo, la corriente resonante  $i_L$  y la tensión resonante  $v_C$  van aumentando gradualmente su amplitud. Además, el cambio de estado de los interruptores se produce cuando la corriente en el inductor resonante cruza por cero.

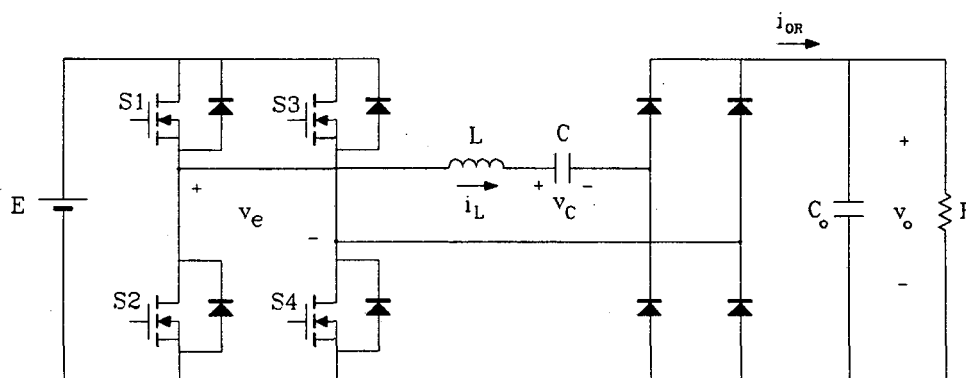


Fig. 2.1. Convertidor resonante serie

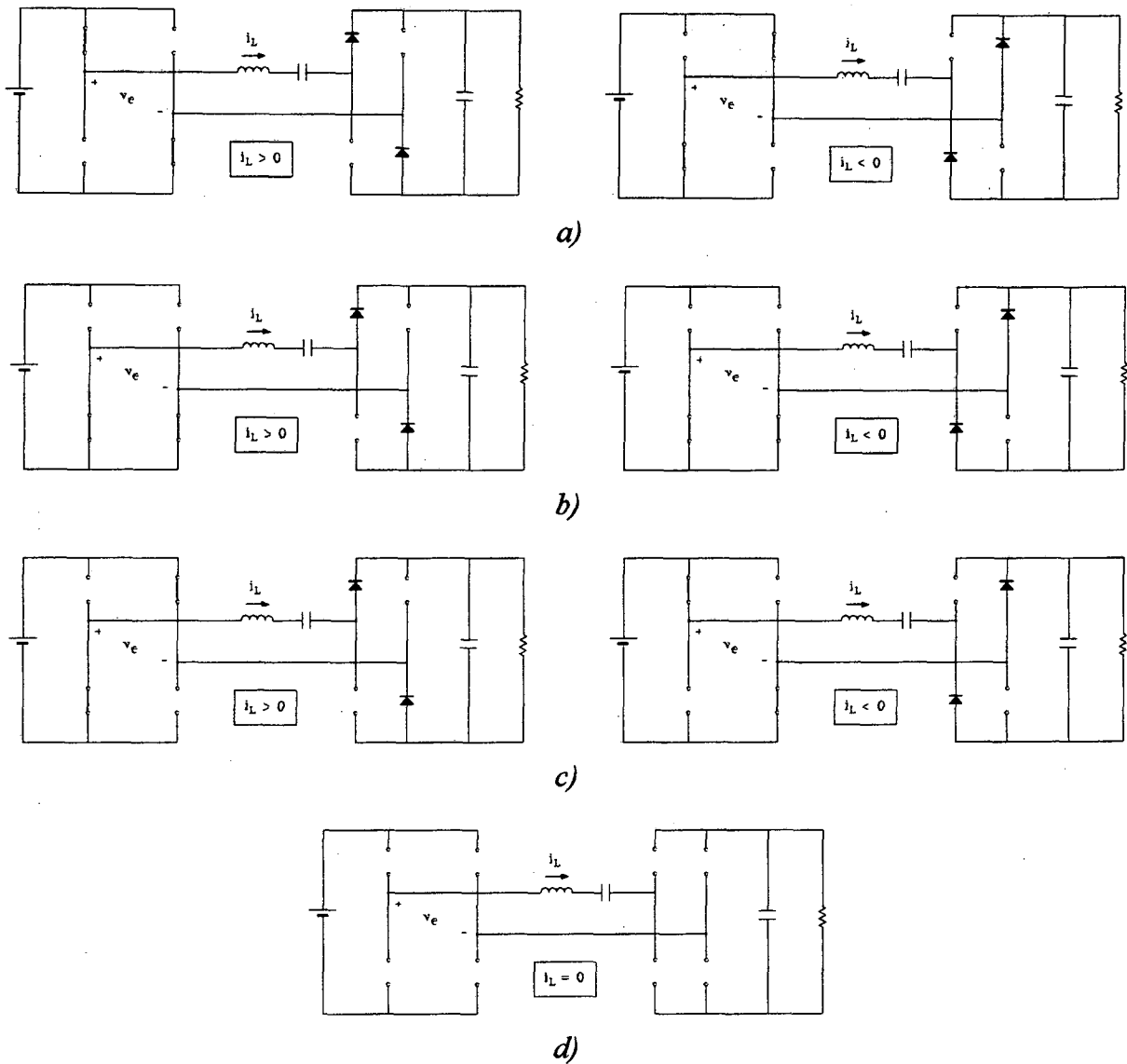


Fig. 2.2. Modos de operación del convertidor QSRC: a) modo de energización, b) modo de resonancia libre, c) modo de regeneración, d) modo de conducción discontinua

$$P_{\text{entrada}} = v_e \cdot i_L = E \cdot \text{sgn}(i_L) \cdot i_L = E \cdot |i_L| > 0 \quad (2.1)$$

2) Modo de resonancia libre o *free resonant mode* ( $u = 0$ ).

En este modo de operación no se realiza aporte energético de la fuente hacia el tanque, sino que éste se va desenergetizando de forma natural a través de la carga, lo que provoca que las amplitudes de  $i_L$  y  $v_C$  vayan disminuyendo paulatinamente. En este caso, el par de interruptores S2-S4 deben permanecer en conducción y el par S1-S3 en corte, de manera que la tensión de entrada en el tanque  $v_e$  sea nula (véase Fig.2.2b).

$$P_{\text{entrada}} = v_e \cdot i_L = 0 \cdot i_L = 0 \quad (2.2)$$

3) Modo de regeneración o *regeneration mode* ( $u = -1$ ).

En este modo se produce una desenergetización rápida del tanque resonante, por medio de la transferencia de energía de forma simultánea hacia la fuente y la carga, lo que

provoca que las amplitudes de  $i_L$  y  $v_C$  vayan disminuyendo de forma más rápida que en el modo de resonancia libre. En este caso, los pares de interruptores S1-S4 y S2-S3 conmutan de forma alternativa y en sincronización con el paso por cero de la corriente resonante  $i_L$ , de forma que la tensión de entrada en el tanque  $v_e$  y la corriente resonante estén en contrafase (véase Fig.2.2c).

$$P_{\text{entrada}} = v_e \cdot i_L = -E \cdot \text{sgn}(i_L) \cdot i_L = -E \cdot |i_L| < 0 \quad (2.3)$$

4) Modo de conducción discontinua.

Los anteriores modos de operación corresponden al comportamiento del convertidor en modo de conducción continua. Durante los modos de resonancia libre y de regeneración, el tanque resonante va cediendo energía hacia la carga y/o la fuente, lo que produce una disminución de la amplitud de la tensión  $v_C$  y la corriente  $i_L$ . A causa de una reducción excesiva de las citadas amplitudes, se produce una paralización de forma totalmente incontrolada del transvase energético entre la fuente y el tanque. En este estado la corriente resonante  $i_L$  se anula y la tensión resonante  $v_C$  se mantiene constante, además, la tensión de salida va disminuyendo debido a la descarga del condensador de filtrado sobre la carga (véase Fig.2.2d).

$$P_{\text{entrada}} = v_e \cdot i_L = v_e \cdot 0 = 0 \quad (2.4)$$

Si bien la entrada en modo de conducción discontinua es no controlable, la salida del mismo puede efectuarse al suministrar energía al tanque resonante, esto es, mediante la orden adecuada de entrada en modo de energización.

La Fig.2.3 muestra un diagrama de flujo del esquema de control presentado, donde las flechas con trazo continuo indican que el cambio entre modos de operación es controlable (mediante el estado de la variable  $u$ ) y con trazo discontinuo que es no controlable.

La regulación de la tensión de salida en un convertidor resonante que utiliza la estrategia de control sobre los interruptores comentada con anterioridad se efectúa mediante la selección adecuada de los modos de operación del convertidor en función de las necesidades de potencia de la carga.

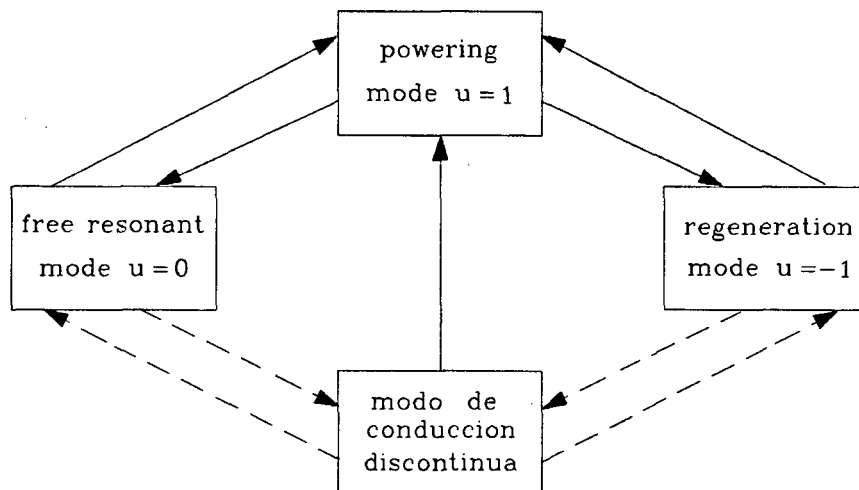


Fig. 2.3. Diagrama de flujo entre modos de operación

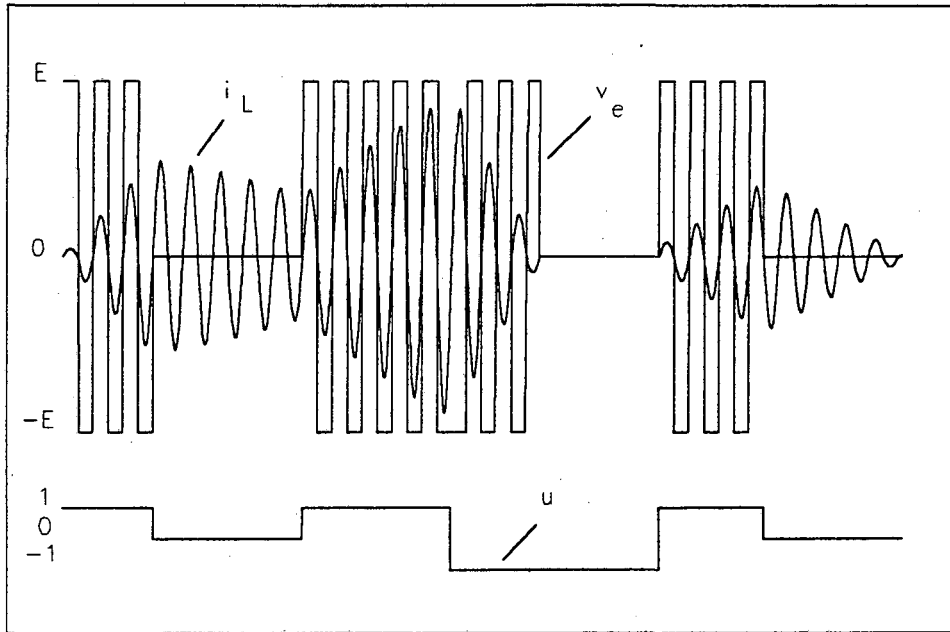


Fig. 2.4. Formas de onda típicas para una determinada secuencia de la entrada de control  $u$

Por simplicidad del controlador, la potencia de salida suele controlarse mediante el modo de energetización y un único modo de desenergetización. En aplicaciones donde se requiere una dinámica rápida (alimentación de cargas altamente variables, onduladores, amplificadores de potencia) se prefiere utilizar el modo de regeneración como modo de desenergetización, mientras que en las restantes (fuentes de alimentación) es aconsejable utilizar el modo de resonancia libre.

La Fig.2.4 muestra la evolución de la corriente resonante y la tensión de entrada al tanque para una secuencia determinada de la entrada de control  $u$ , evidenciando el mecanismo de transvase de energía entre la fuente y el tanque resonante para cada modo de operación del convertidor. Nótese como en modo de regeneración la disminución progresiva de los valores de pico de la corriente resonante sigue un ritmo mucho mayor que en modo de resonancia libre como se comentó previamente. Además, obsérvese la entrada del convertidor en modo de conducción discontinua, que tiene lugar cuando la corriente en el inductor resonante se anula debido a la excesiva descarga del circuito resonante, y como la selección del modo de energetización ( $u=1$ ) provoca la entrada inmediata del convertidor en modo de conducción continua.

En la Fig.2.5 se muestra un circuito equivalente del convertidor resonante serie operando a frecuencia de resonancia que resume todas sus posibles topologías en modo de conducción continua (véase Fig.2.2). En este circuito, la fuente controlada de entrada reproduce el comportamiento de la fuente de tensión y el puente de interruptores de entrada del convertidor QSRC, mientras que el puente rectificador está caracterizado por las fuentes controladas de tensión y corriente.

El modelo de la figura anterior será de gran utilidad en el estudio y caracterización del convertidor resonante serie operando a frecuencia de resonancia, así como en el diseño de sus lazos de control.

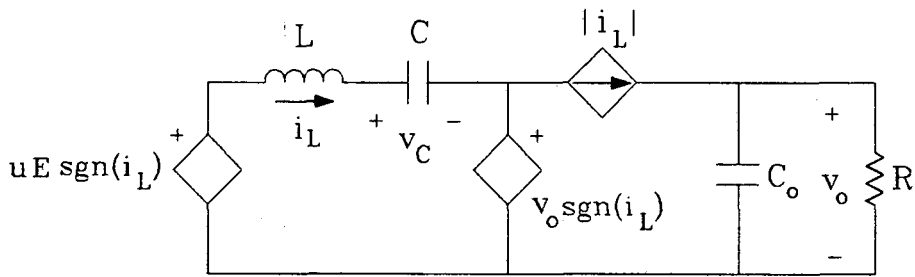


Fig. 2.5. Modelo circuital del convertidor QSRC

### 2.3. CONVERTIDOR RESONANTE SERIE CON DOS ACCIONES DE CONTROL

El convertidor resonante serie presentado en el apartado anterior dispone de una única acción de control, asociada al transvase energético entre la fuente de entrada y el tanque resonante. La inclusión de un interruptor adicional entre el tanque y la carga confiere al sistema la capacidad de bloquear el estado del puente rectificador, de forma que el control del flujo energético entre estos elementos puede realizarse con mayor precisión, lo que se traduce en una mejora de las prestaciones dinámicas del convertidor [67][71].

La Fig.2.6 muestra dos posibles topologías del convertidor resonante serie con dos acciones de control, en función de la ubicación y de la composición del nuevo interruptor S5.

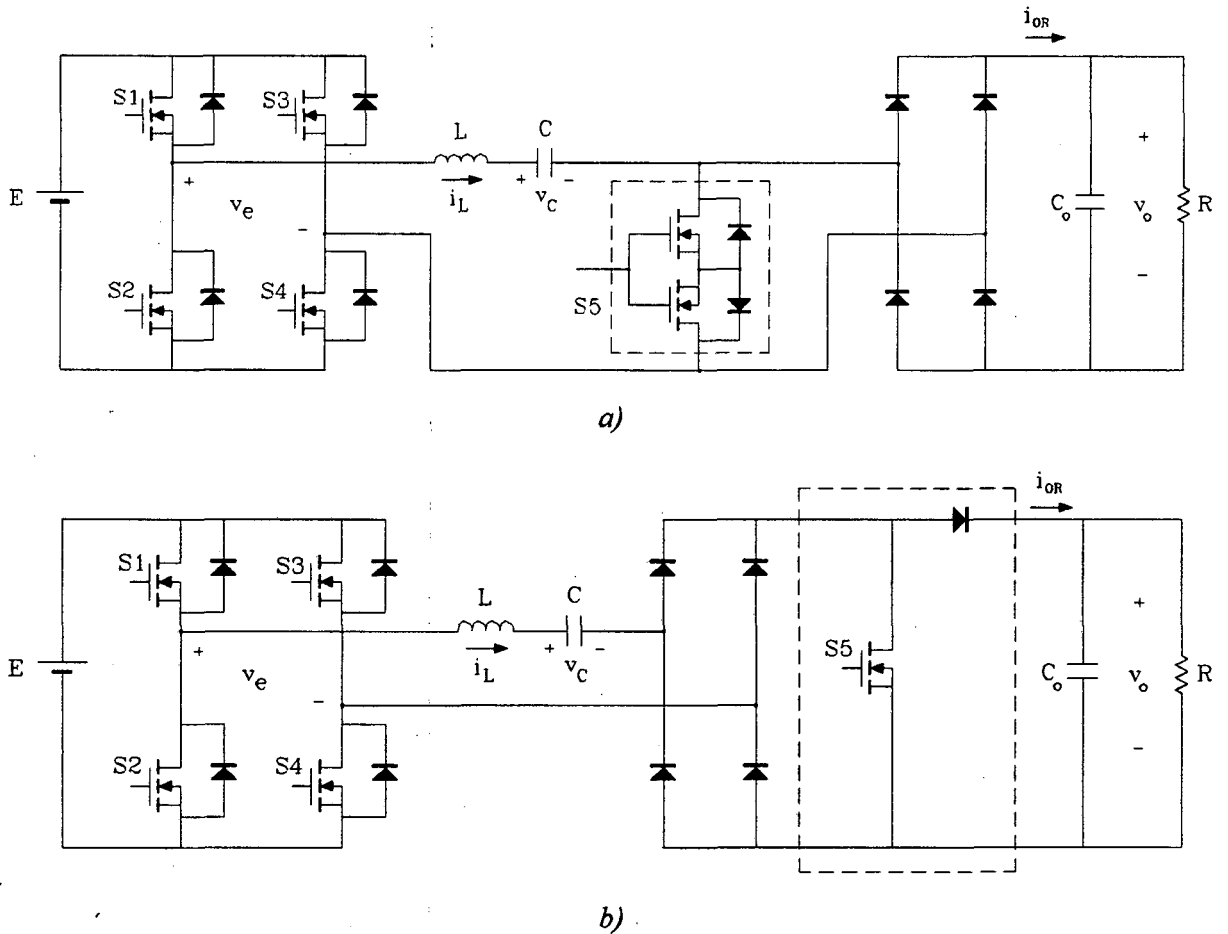


Fig. 2.6. Convertidores QSRC con un interruptor adicional

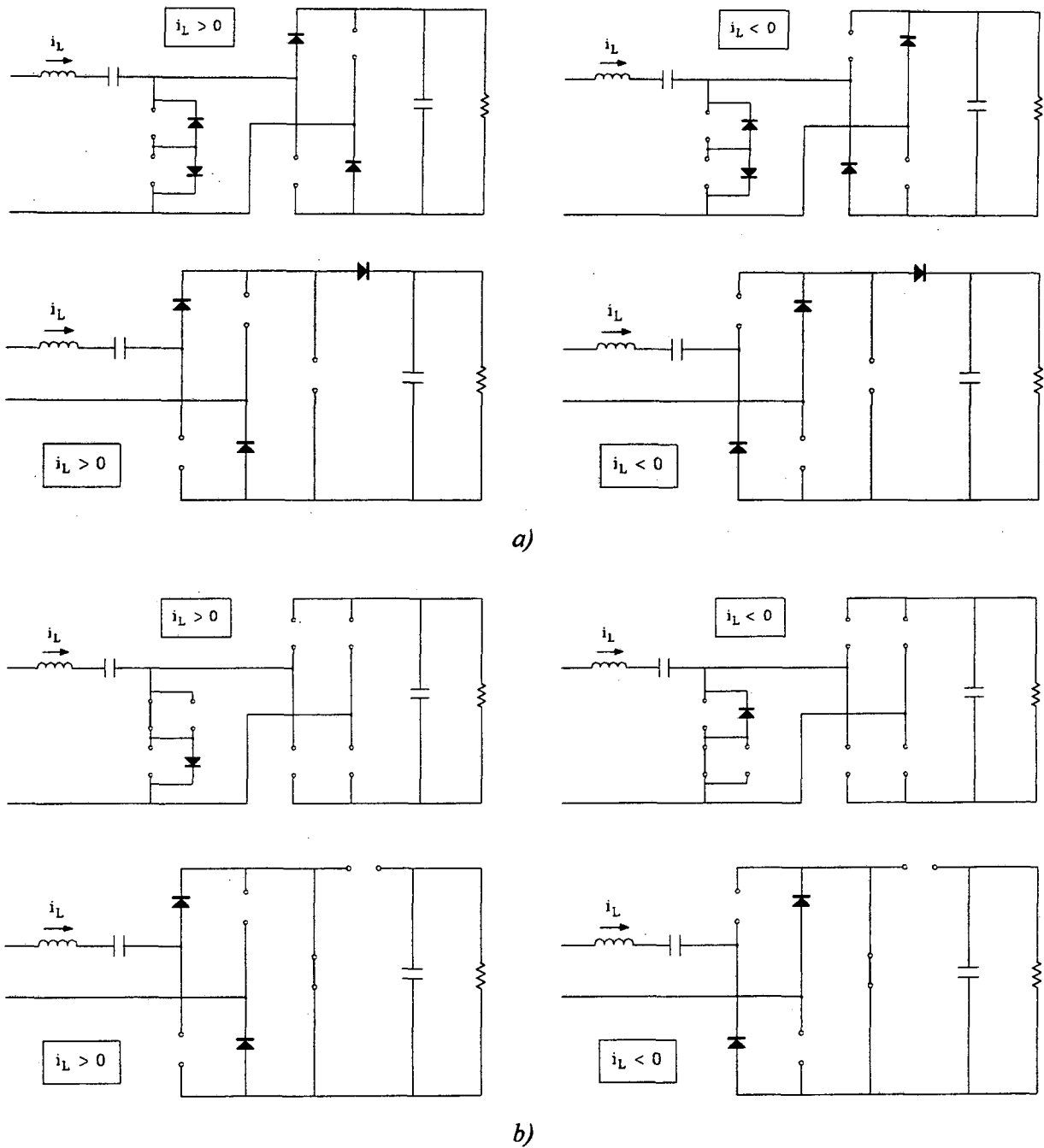


Fig. 2.7. Circuitos equivalentes de los convertidores QSRC con un interruptor adicional, desde el punto de vista de la transferencia energética entre el tanque resonante y la carga: a) interruptor S5 en corte ( $u_2=1$ ), b) interruptor S5 en conducción ( $u_2=0$ ).

Si el nuevo interruptor se coloca entre el tanque y el puente rectificador, se precisa de una estructura que en conducción permita la circulación de corriente en ambos sentidos y en corte sea capaz de bloquear tensiones positivas y negativas, mientras que al situar el interruptor entre el puente de diodos y la carga es suficiente con que en conducción circule corriente positiva por el interruptor y esté capacitado para bloquear tensiones únicamente positivas.

El control de los interruptores del puente de entrada de los convertidores de la Fig.2.6 se realiza de la misma forma que en el convertidor resonante serie presentado en el apartado

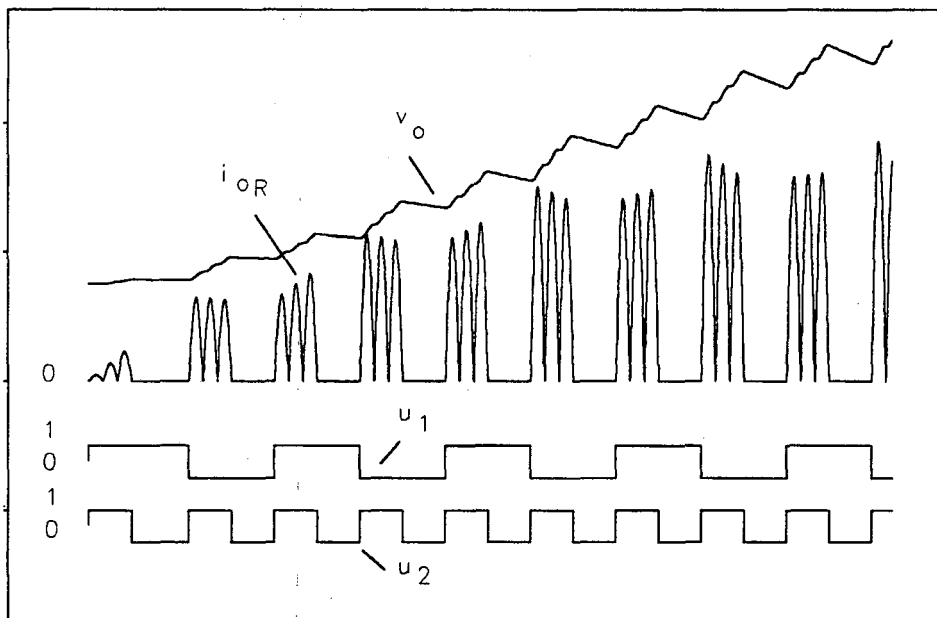


anterior. La energía se transfiere de la fuente al tanque cuando el convertidor opera en modo de energización ( $u_1=1$ ), y del tanque a la fuente en modo de regeneración ( $u_1=-1$ ), mientras que en modo de resonancia libre ( $u_1=0$ ) no existe transvase de energía entre estos elementos.

Por otra parte, la topología de los convertidores de la Fig.2.6 coincide con la del convertidor del apartado anterior cuando el interruptor S5 está en corte ( $u_2=1$ ), y como en ese caso, el tanque resonante transfiere energía continuamente hacia la carga (véase Fig.2.7.a). No obstante, el suministro de energía a la carga puede ser interrumpido si el interruptor S5 se encuentra en conducción ( $u_2=0$ ), lo que permite disponer de un mayor grado de libertad para el control de estos convertidores (véase Fig.2.7.b). Para conseguir nuevamente pérdidas de conmutación prácticamente nulas, el cambio en el estado de todos los interruptores está únicamente permitido en los cruces por cero de la corriente resonante.

Nótese como en este caso se han definido dos variables discretas  $u_1$  y  $u_2$ , que permiten identificar el modo de operación del convertidor y el estado del interruptor adicional S5, respectivamente, y que serán de gran utilidad en el establecimiento de modelos no lineales del convertidor.

La Fig.2.8 muestra las formas de onda típicas en los convertidores QSRC con un interruptor adicional, para una determinada secuencia de las variables de control  $u_1$  y  $u_2$ . Estas gráficas ponen de manifiesto el efecto de las entradas de control sobre las variables más significativas del convertidor.



*Fig 2.8. Formas de onda típicas en la salida del convertidor para una secuencia determinada de las variables de control*

Como puede observarse en la figura anterior, los convertidores QSRC con un interruptor adicional pueden suministrar únicamente corrientes positivas o nulas a la carga, debido a la unidireccionalidad del puente rectificador. En consecuencia, las tensiones entregadas a la carga serán siempre positivas.

En aplicaciones que requieran tensiones positivas y negativas en la carga (onduladores, amplificadores de potencia), será necesario introducir un rectificador bidireccional en corriente. En la Fig.2.9 se presenta una posible solución basada en un transformador con toma media y un puente rectificador bidireccional [42][72]. La utilización del transformador de alta frecuencia garantiza aislamiento entre la fuente y la carga, y minimiza el número de interruptores necesarios en el puente rectificador.

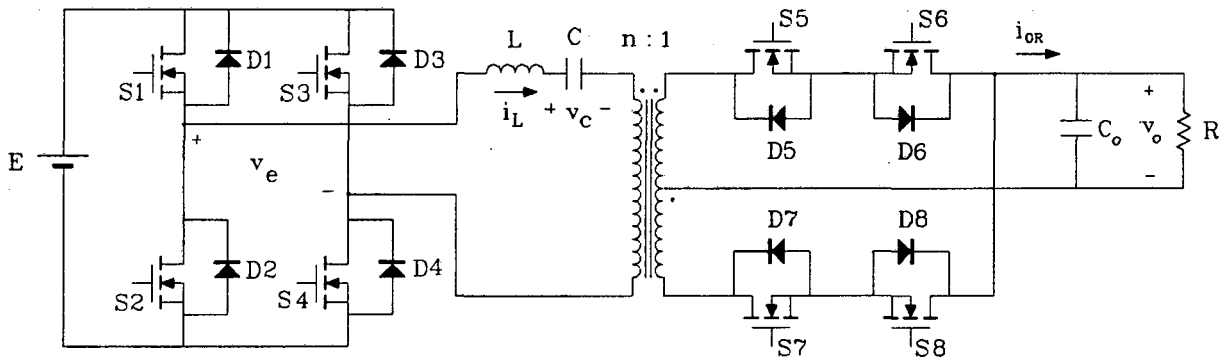


Fig. 2.9. Convertidor resonante serie con un puente rectificador bidireccional

La estrategia de control de los interruptores del puente de entrada en esta nueva topología resonante se realiza de la misma forma que en el convertidor resonante serie presentado en el apartado anterior. En consecuencia, el sentido del flujo energético entre la fuente y el tanque resonante puede identificarse nuevamente con la variable discreta  $u_1$ , que puede tomar los valores 1, 0 o -1.

Por otra parte, la transferencia energética entre el tanque y la carga se controla mediante el estado del puente rectificador, al que se asocia la variable discreta  $u_2$ . Si  $u_2=1$ , el rectificador controlado entrega corriente positiva a la carga; para ello, el par de interruptores S5-S7 deben permanecer en conducción y S6-S8 en corte. Mientras que si  $u_2=-1$ , la corriente suministrada a la carga es negativa, lo que se consigue polarizando el par de transistores S5-S7 en corte y S6-S8 en conducción. La Fig. 2.10 muestra los diferentes estados del puente rectificador en función del modo de operación seleccionado y del sentido de la corriente del inductor resonante.

Nuevamente, la actuación sobre los interruptores del puente de entrada así como sobre los interruptores del rectificador controlado se realiza en sincronismo con el paso por cero de la corriente en el inductor resonante, lo que garantiza pérdidas de conmutación prácticamente nulas en esta célula de conversión.

La Fig.2.11 muestra las formas de onda típicas en el convertidor resonante serie con un puente rectificador bidireccional, para una determinada secuencia de las variables de control  $u_1$  y  $u_2$ . Estas gráficas ponen de manifiesto el efecto de las entradas de control sobre las variables más significativas del convertidor.

La comparación entre las formas de onda típicas de los convertidores con un único interruptor adicional S5 (véase Fig.2.8) y las presentadas en la Fig.2.11 para el convertidor con un puente controlado permiten observar la mejor respuesta dinámica de la tensión de salida en la segunda topología, debido a la posibilidad de transferir energía entre el tanque y la carga en

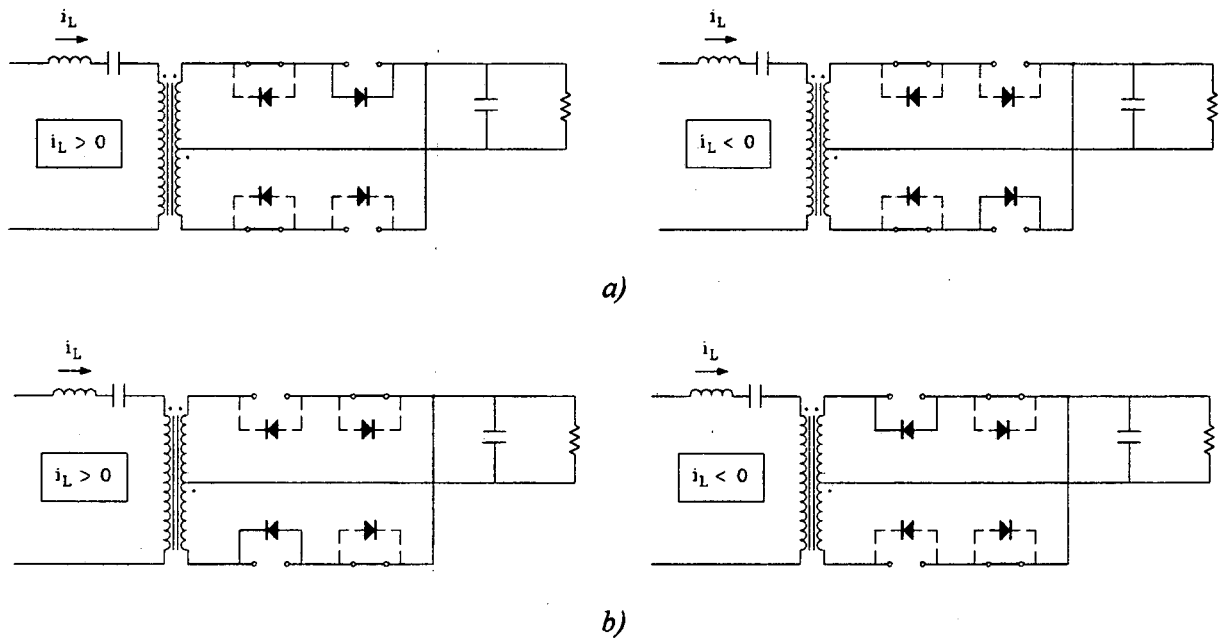


Fig. 2.10. Modos de operación del convertidor QSRC con un puente rectificador bidireccional, desde el punto de vista de la transferencia energética entre el tanque resonante y la carga: a) corriente positiva en la carga ( $u_2 = 1$ ), b) corriente negativa en la carga ( $u_2 = -1$ ).

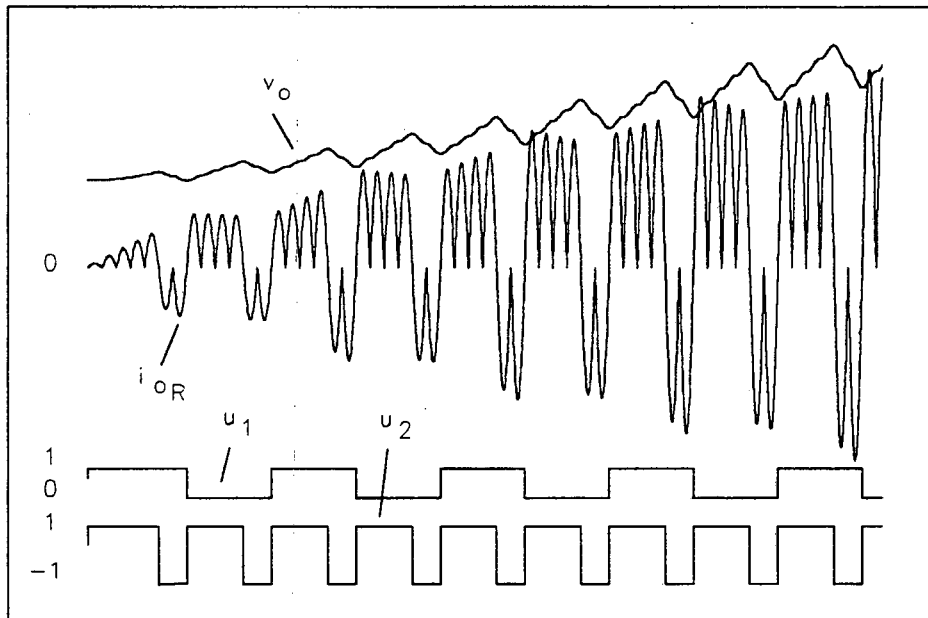


Fig 2.11. Formas de onda típicas en la salida del convertidor para una secuencia determinada de las variables de control

ambos sentidos; mientras que en el primer caso, las posibilidades se reducen a enviar energía del tanque hacia la carga y a no transferir energía entre ambos elementos.

La Fig. 2.12 muestra un circuito equivalente que resume todas las posibles topologías en modo de conducción continua de los convertidores resonantes con dos acciones de control presentados en este apartado (véase Fig.2.2, Fig.2.7 y Fig.2.10). En este circuito, la variable de

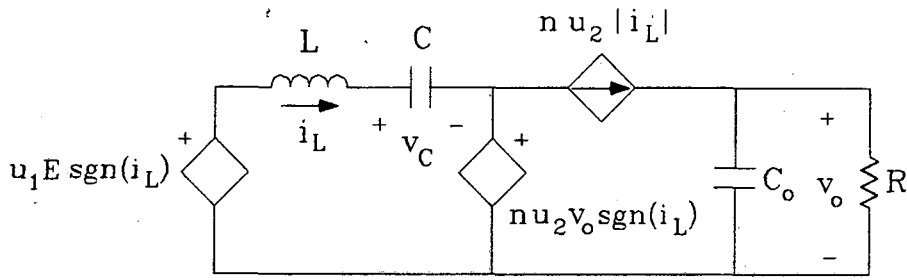


Fig. 2.12. Modelo circuital de un convertidor QSRC con dos acciones de control ( $n=1$  para los convertidores que no disponen de transformador)

control  $u_2$  tomará los valores 1 o 0 para el caso de los convertidores con un interruptor adicional, mientras que podrá valer 1 o -1 en el convertidor con puente rectificador bidireccional.

El modelo anterior será de gran utilidad en el estudio y caracterización de los convertidores resonantes con dos acciones de control presentados en esta apartado, así como en el diseño de sus subsistemas de control.

## 2.4. CONVERTIDOR RESONANTE PARALELO

La topología básica de un convertidor resonante paralelo con estructura de entrada en puente completo se muestra en la Fig.2.13. Esta topología ha sido derivada aplicando las reglas de dualidad en el convertidor resonante serie.

Para que ambas topologías sean equivalentes, el concepto de dualidad debe aplicarse no sólo a las mallas, nodos y elementos reactivos, sino también a los interruptores. Así pues, el interruptor bidireccional en corriente que aparece en el convertidor resonante serie debe ser sustituido por un interruptor bidireccional en tensión en su convertidor dual.

Asimismo, la fuente de tensión de entrada en el convertidor resonante serie ha de ser reemplazada por una fuente de corriente en su convertidor dual. La realización práctica de la misma consta de una fuente de tensión de entrada y un inductor de elevado valor (véase Fig.2.13).

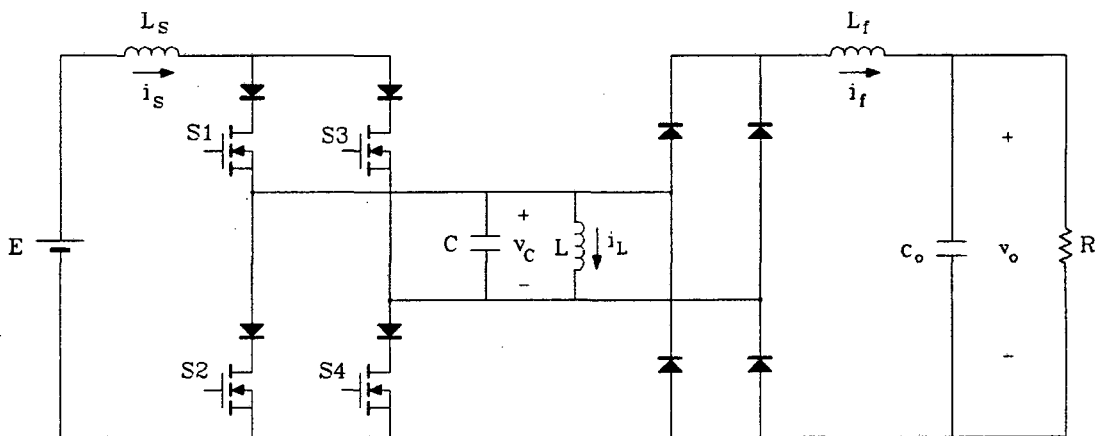


Fig. 2.13. Convertidor resonante paralelo

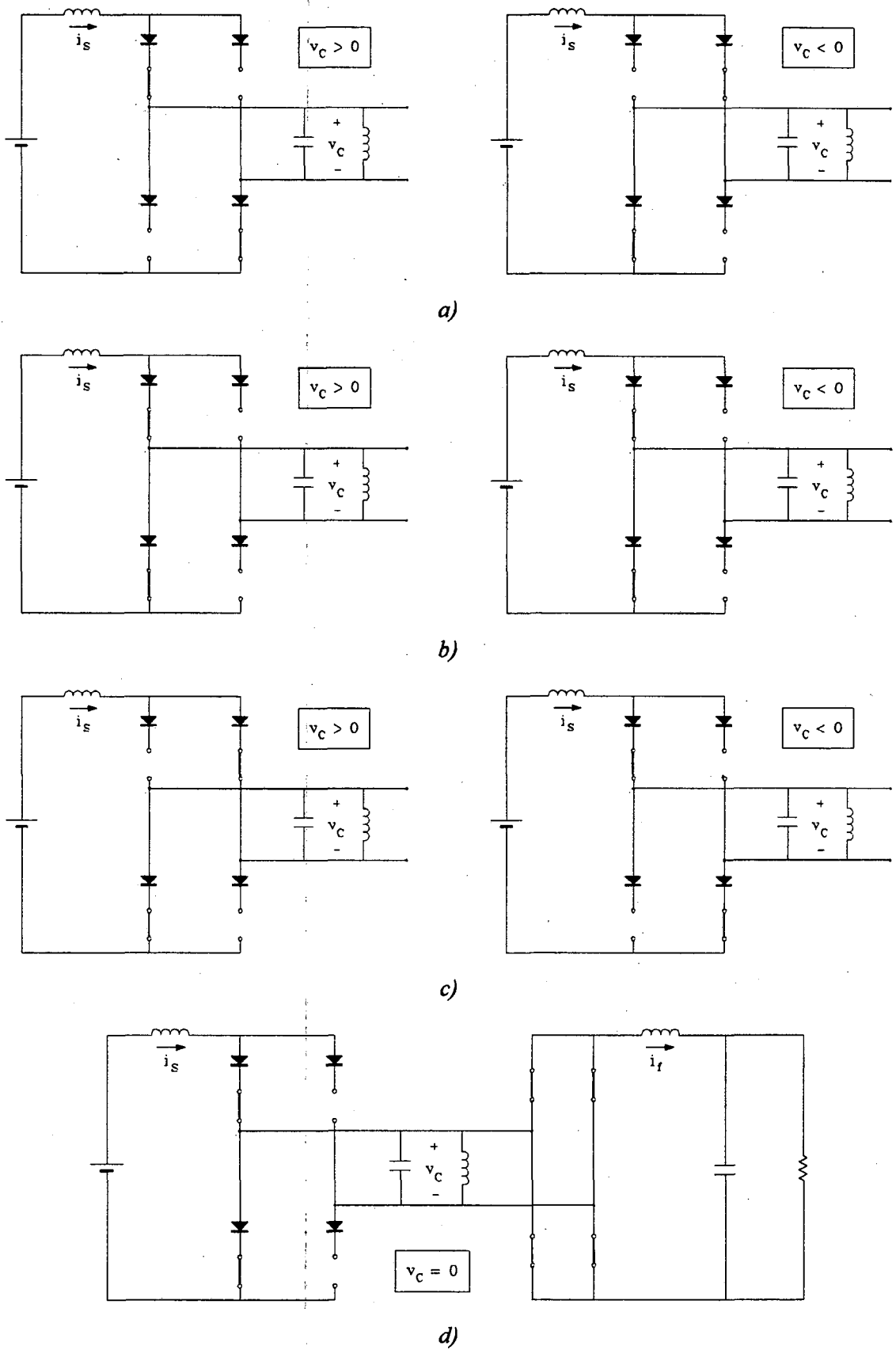


Fig. 2.14. Modos de operación del convertidor QPRC: a) modo de energización ( $u_1=1$ ), b) modo de resonancia libre ( $u_1=0$ ), c) modo de regeneración ( $u_1=-1$ ), d) modo de conducción discontinua.

Como en el caso del convertidor resonante serie, las condiciones de conmutación óptimas en el convertidor resonante paralelo se consiguen cuando el sistema opera a frecuencia fija e igual a la de resonancia del tanque y las acciones de control sobre los interruptores se sincronizan con el paso por cero de la tensión en el condensador resonante. El convertidor resonante paralelo que utiliza esta estrategia de control de los interruptores se denomina *Quantum Parallel Resonant Converter (QPRC)* [36][73].

El principio de funcionamiento del convertidor QPRC es prácticamente el mismo que el del convertidor QSRC. De nuevo pueden ser identificados cuatro modos de operación: modo de energización, modo de resonancia libre, modo de regeneración y modo de conducción discontinua. La Fig.2.14 muestra el estado de los interruptores y el sentido del flujo energético entre la fuente y el tanque resonante para cada modo de operación.

Nótese como en modo de energización la corriente de la fuente de entrada y la tensión del condensador resonante se encuentran en fase, mientras que en modo de regeneración están en contrafase. En modo de resonancia libre no se suministra corriente al circuito resonante, mientras que en modo de conducción discontinua no se absorbe energía de la fuente de entrada ni se entrega a la carga.

La Fig.2.15 muestra la topología básica de dos convertidores QPRC con un interruptor adicional S5, que puede ser derivada de los convertidores resonantes mostrados en la Fig.2.6.

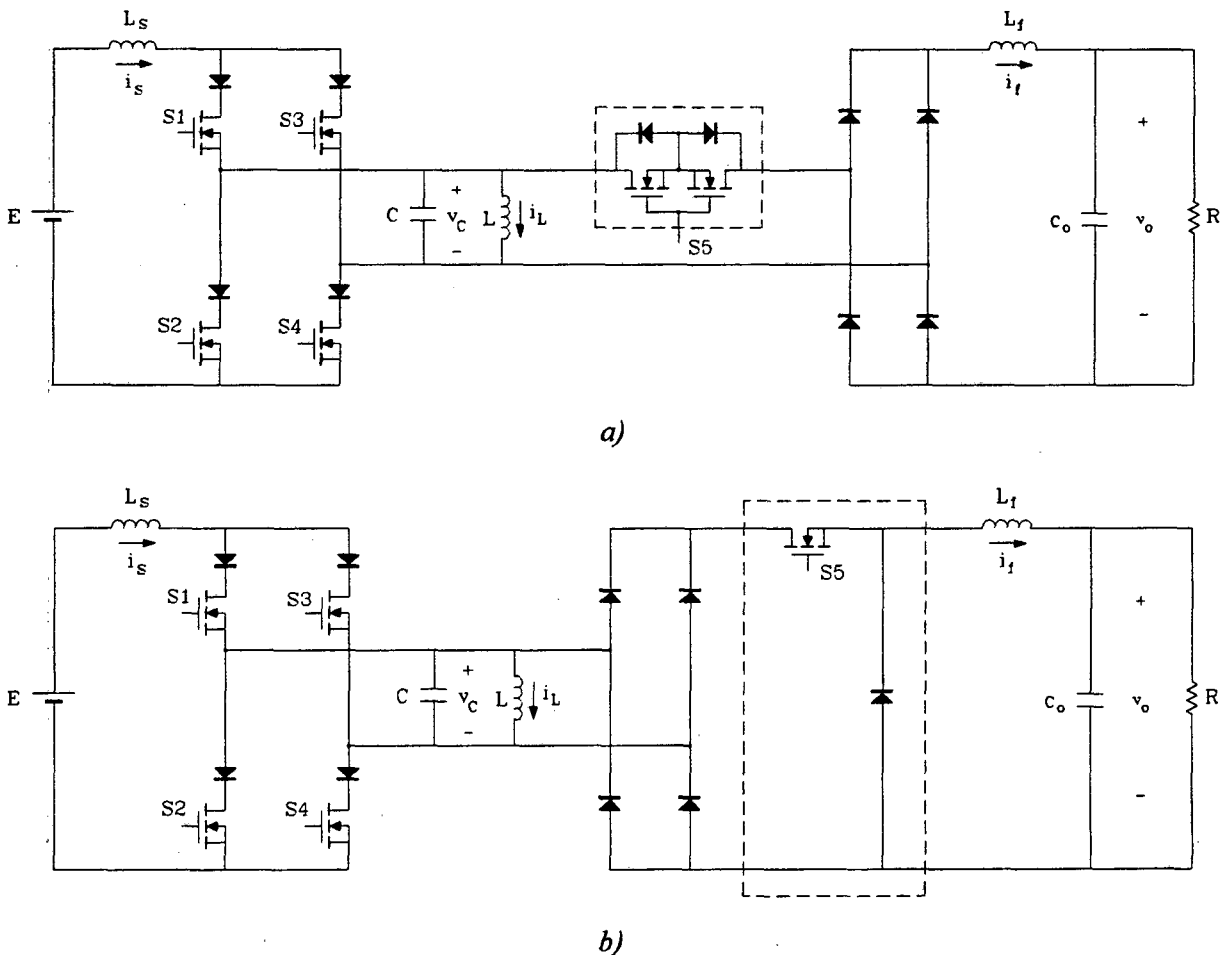
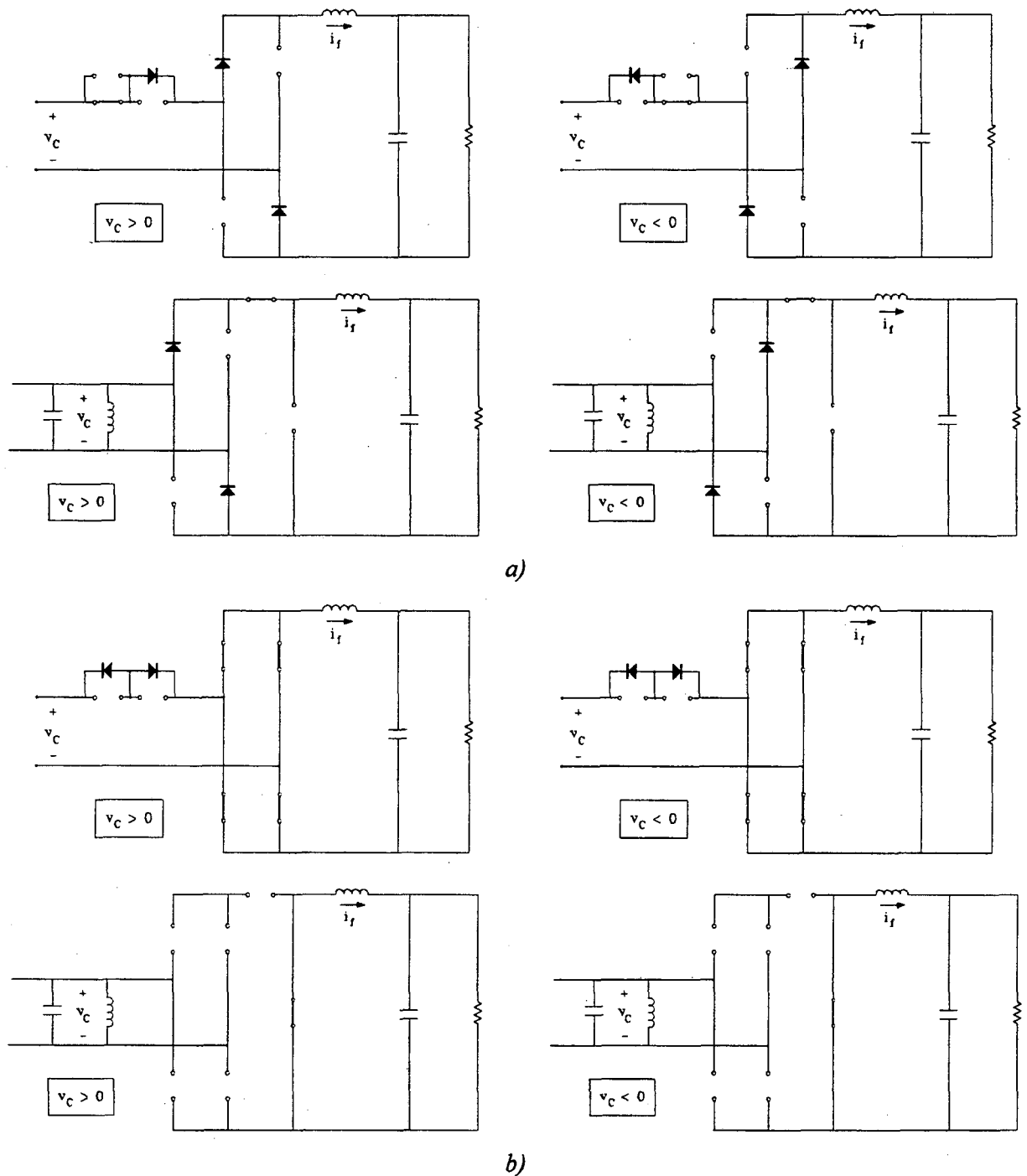


Fig. 2.15. Convertidores QPRC con un interruptor adicional



*Fig. 2.16. Modos de operación de los convertidores QPRC con un interruptor adicional, desde el punto de vista de la transferencia energética entre el tanque resonante y la carga: a) interruptor S5 en conducción ( $u_2=1$ ), b) interruptor S5 en corte ( $u_2=0$ )*

La inclusión de este nuevo interruptor dota de mayor flexibilidad al convertidor, ya que permite independizar el transvase energético entre el tanque y la carga del modo de operación seleccionado para el puente de interruptores de entrada.

En particular, el tanque transfiere energía a la carga cuando el interruptor S5 se encuentra en conducción, mientras que si el interruptor S5 está en corte, se interrumpe el suministro energético a la carga (véase Fig.2.16). Asimismo, el cambio de estado del nuevo

interruptor se producirá únicamente en los cruces por cero de la tensión resonante, lo que garantiza pérdidas de conmutación nulas también en este interruptor.

Finalmente, la Fig. 2.17 muestra un circuito equivalente que resume todas las topologías en modo de conducción continua de los convertidores QPRC (para el caso del convertidor que no dispone de un interruptor adicional entre el tanque y la carga, la variable de control  $u_2$  tomará en todo momento el valor 1).

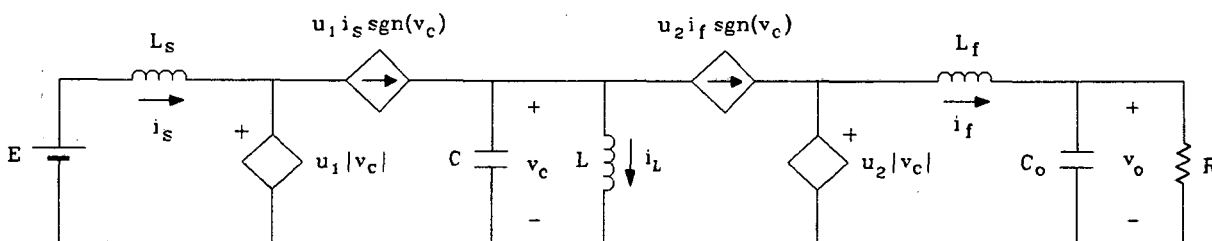


Fig. 2.17. Modelo circuital de un convertidor QPRC

## 2.5. CONVERTIDOR RESONANTE SERIE-PARALELO

La topología básica de un convertidor resonante serie-paralelo con estructura de entrada en puente completo se muestra en la Fig.2.18. Esta topología combina las ventajas de los convertidores con dos elementos reactivos en el tanque resonante al mismo tiempo que elimina sus principales inconvenientes: la tensión de salida puede ser regulada en un amplio margen de resistencias de carga (incluso sin carga), autoprotección frente a un conjunto de fallos del sistema (por ejemplo, cortocircuito en la carga), el punto de funcionamiento del convertidor presenta una baja sensibilidad frente a variaciones en la carga y en la frecuencia de conmutación [4][11].

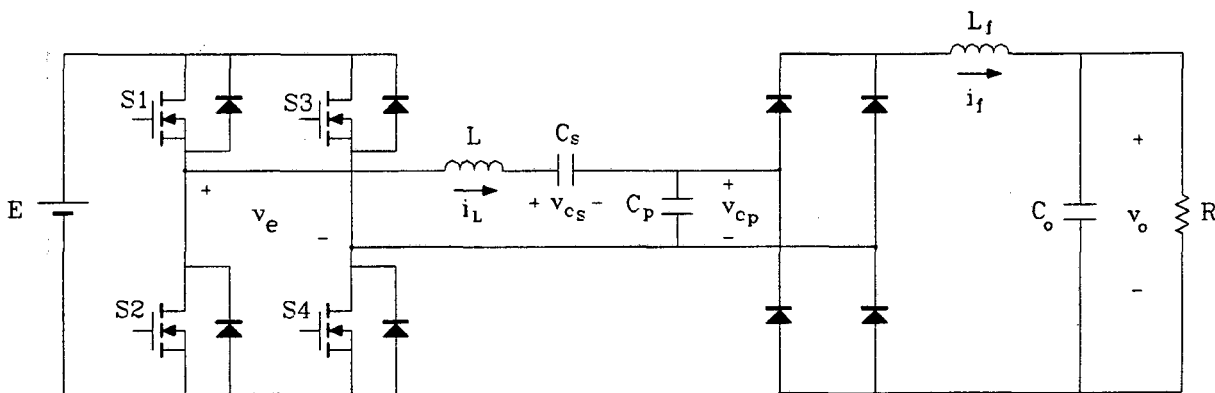


Fig. 2.18. Convertidor resonante serie-paralelo

Como en el caso del convertidor QSRC, el convertidor resonante serie-paralelo presenta condiciones de conmutación óptimas cuando opera a frecuencia de resonancia del circuito tanque y las acciones de control sobre los interruptores se sincronizan con el paso por cero de la corriente del inductor resonante. En ese caso, el convertidor puede ser denominado *Quantum Series-Parallel Resonant Converter* (QSPRC).



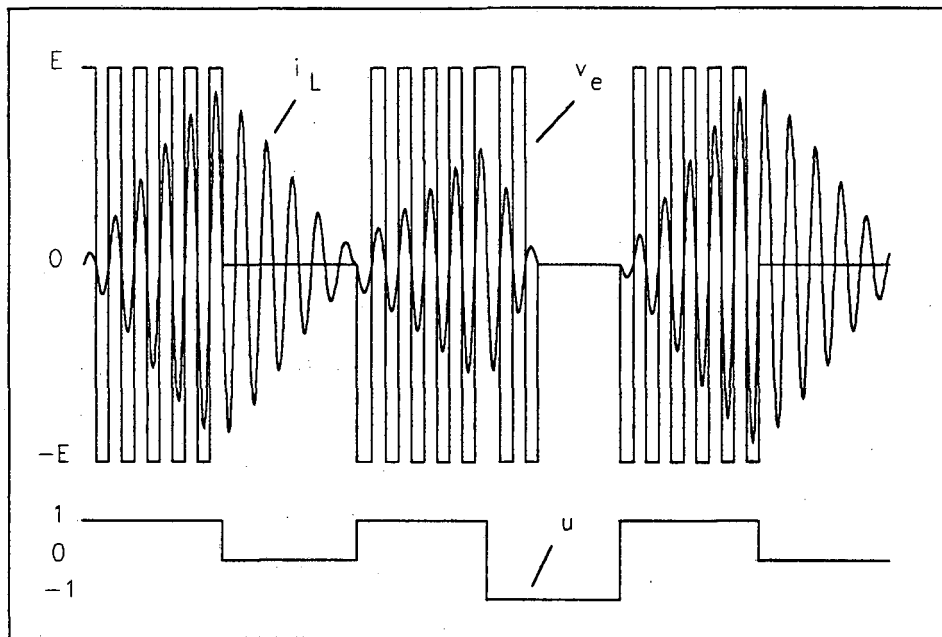


Fig. 2.19. Formas de onda típicas para una determinada secuencia de la entrada de control  $u$

La estrategia de control de los interruptores en el convertidor QSPRC es idéntica a la del convertidor QSRC. De nuevo pueden ser identificados cuatro modos de operación que definen el sentido del flujo energético entre la fuente de entrada y el tanque resonante: modo de energización ( $u=1$ ), modo de resonancia libre ( $u=0$ ), modo de regeneración ( $u=-1$ ) y modo de conducción discontinua.

La Fig.2.19 muestra la evolución de la corriente resonante y la tensión de entrada al tanque para una secuencia determinada de la entrada de control  $u$ . En modo de energización la tensión de entrada y la corriente del inductor resonante se encuentran en fase, mientras que en modo de regeneración están en contrafase, por lo que la energía se transfiere de la fuente hacia el tanque en el primer modo, y del tanque hacia la fuente en el segundo. En modo de resonancia libre la tensión de entrada al tanque resonante es nula, y como consecuencia, el tanque no absorbe energía de la fuente; mientras que en modo de conducción discontinua, la corriente resonante se anula, por lo que el puente rectificador se bloquea, y en consecuencia, no se absorbe energía de la fuente de entrada ni se entrega a la carga.

En la Fig.2.20 se representa un circuito equivalente del convertidor QSPRC que resume todas sus posibles topologías en modo de conducción continua. El estudio y la caracterización de esta topología resonante se realizará en el próximo capítulo a partir de este modelo circuital.

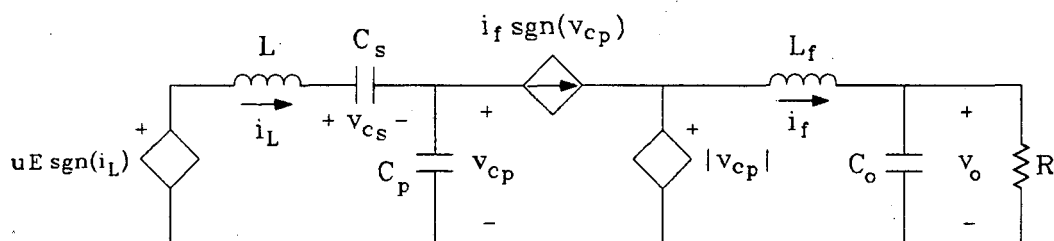


Fig. 2.20. Modelo circuital de un convertidor QSPRC

## 2.6. CONCLUSIONES

El presente capítulo se ha dedicado a la presentación de un conjunto de topologías de estructura resonante, que operan a frecuencia de resonancia y conmutan a tensión o corriente nula, denominadas convertidores resonantes *Quantum*.

La exposición detallada del principio de funcionamiento de las diversas configuraciones *Quantum* ha incluido la descripción de la estrategia de actuación sobre los interruptores y la identificación de las posibles acciones de control que tienen lugar en estos convertidores en función del modo de operación seleccionado.

Finalmente, se han deducido una serie de modelos equivalentes formados por fuentes controladas de tensión y corriente, que resumen las posibles topologías de los convertidores *Quantum* en modo de conducción continua. Estos modelos serán utilizados en el próximo capítulo para el estudio y la caracterización de estas células de conversión.