



INVERSOR NPC DE TRES NIVELES UTILIZADO EN SAI

Por Baoze Wei

Departamento de Tecnología Energética, Universidad de Aalborg
Doctor en Física, investigador visitante en *SALICRU*

La topología NPC

En distintas aplicaciones industriales se incrementan los requisitos de fiabilidad y capacidad. Por ejemplo en los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) de media tensión ampliamente utilizados en ascensores de alta velocidad, motores eléctricos de alta potencia y sistemas de generación distribuida como interfaz entre la red eléctrica y las fuentes de alimentación distribuida. Mientras, se manifiestan las limitaciones de los onduladores trifásicos de dos niveles. Con el rápido desarrollo de las tecnologías de convertidores de potencia, los convertidores multinivel son una buena elección para aplicaciones industriales de media tensión. Normalmente los onduladores multinivel se clasifican en tres tipos: el ondulator multinivel con fijación por diodos ("neutral point clamping", NPC), el ondulator multinivel de condensadores flotantes y el ondulator multinivel de puentes H en cascada. Entre ellos, el ondulator de tres niveles NPC (NPC-3L) tiene las características de una configuración y un esquema de control sencillos que lo hacen atractivo tanto para el mundo académico como para la industria [1].

La figura 1 muestra la topología del ondulator de tres niveles NPC con filtro LC en el lado de salida. Cada rama tiene cuatro IGBT conectados en serie. El ondulator NPC-3L utiliza dos condensadores de placas en serie para el enlace de CC y genera un nivel de voltaje cero. De este modo la caída de tensión en el IGBT será de $U_{cc}/2$, que es la mitad que en el ondulator convencional de dos niveles, donde U_{cc} es la tensión total del enlace de CC. Esta característica lo hace más apropiado para la aplicación con una mayor tensión de bus CC. Además, el ondulator NPC tiene otras características favorables como la menor tensión de modo común y un menor rizado de la corriente de salida para la misma frecuencia de conmutación, si se compara con el ondulator convencional de dos niveles. Como resultado, se necesita un filtro de salida más pequeño que para un ondulator de dos niveles con unos valores equivalentes.

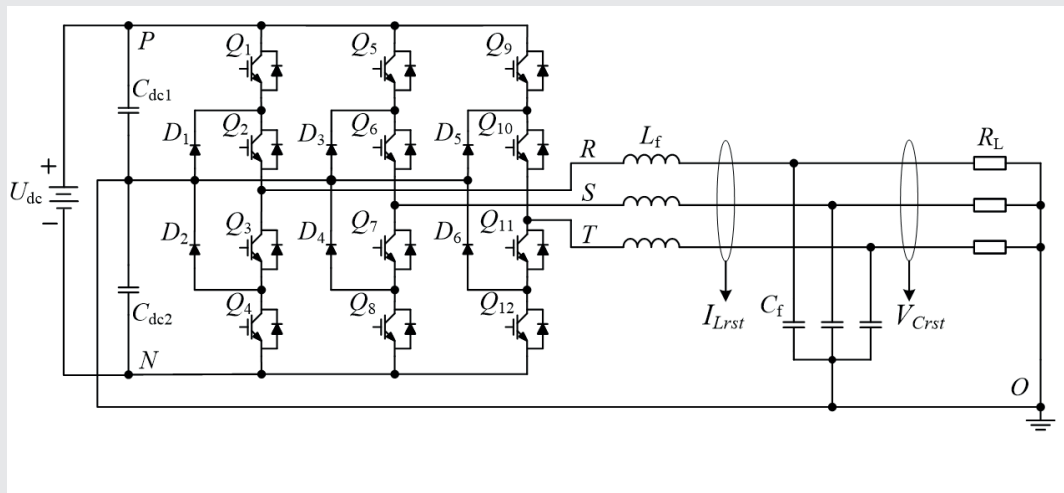


Fig. 1. Topología del ondulator de tres niveles NPC

Tensión de salida y estados de conmutación

El ondulator NPC puede generar tres niveles de tensión a la salida: tensión positiva de bus CC, tensión cero y tensión negativa de bus CC. El ondulator de dos niveles solo puede conectar la salida al bus positivo o al bus negativo. Tomemos como ejemplo el funcionamiento monofásico, cuando se activan las IGBT Q1 y Q2 la salida se conecta a $V_{PO}=U_{cc}/2$, cuando Q2 y Q3 están en estado activado, la salida se conecta a $V_O=0$; y cuando se activan Q3 y Q4 la salida se conecta a $V_{NO}=-U_{cc}/2$. La tabla 1 muestra los estados de conmutación de la fase R. Los diodos de clamping D1 y D2 proporcionan la conexión para las fases de salida al punto neutro para conseguir una tensión 0. A partir de los estados de conmutación se puede ver que las IGBT Q2 y Q3 están activas en la mayoría de los ciclos, con el resultado de una mayor pérdida por conducción que Q1 y Q4, pero mucha menos pérdida por conmutación. Además, en los diodos de rueda libre de Q2 y Q3 se aplica una conmutación suave, en la mayoría de los casos, cuando el IGBT paralelo al diodo está encendido, manteniendo así la tensión de recuperación a través del diodo al del IGBT V_{ce} [2].

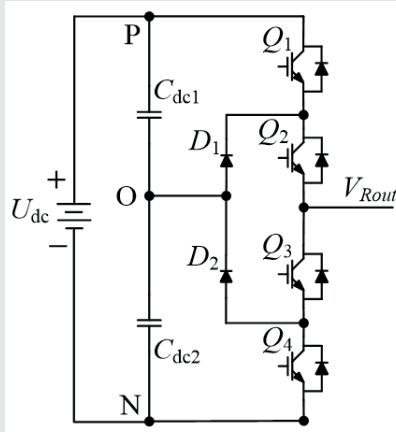


Fig. 2. Topología de la fase R

IGBT	$V_{Rsal} = V_{PO} = U_{cc}/2$	$V_{Rsal} = V_O = 0$	$V_{Rsal} = V_{NO} = -U_{cc}/2$
Q1	Encendido	Apagado	Apagado
Q2	Encendido	Encendido	Apagado
Q3	Apagado	Encendido	Encendido
Q4	Apagado	Apagado	Encendido

Tabla 1 Estados de conmutación de una fase

Pérdida de potencia

Para un ondulador de tres niveles NPC, las tensiones de salida entre fase y tierra y entre fases se muestran en las figuras 3 y 4 respectivamente. Puede verse que la tensión entre fase y tierra tiene tres niveles y que la tensión entre fases tiene cinco niveles. Una observación detallada muestra que la frecuencia de conmutación efectiva de la tensión entre fases de la figura 4 es el doble que la de la tensión de fase mostrado en la figura 3. Para conseguir el mismo rizado de la corriente de salida de un ondulador NPC un inversor de dos niveles tendría que utilizar una frecuencia de conmutación dos veces mayor. Este simple hecho, combinado con los pasos de tensión intermedia del ondulador NPC ofrece dos ventajas sobre el ondulador de dos niveles. Primero que en el ondulador NPC hay muchas menos pérdidas de conmutación y segundo que los componentes del filtro de salida serán menores tanto en valor como en tamaño que en el caso de un ondulador de dos niveles [2]. En las figuras siguientes se ofrecen más detalles del análisis de las pérdidas de potencia.

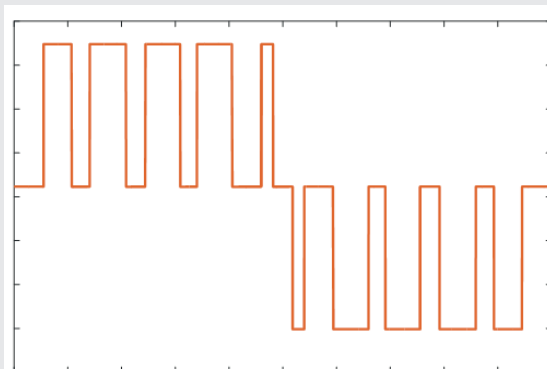


Fig. 3. Tensión de salida entre fase y tierra

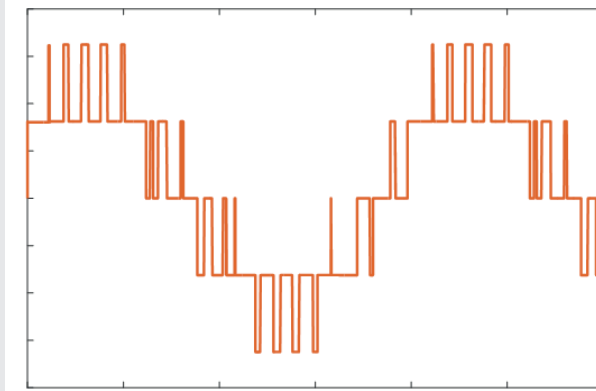


Fig. 4. Tensión de salida entre fase y fase

Las pérdidas en los onduladores de dos y tres niveles se han documentado ampliamente en muchos textos académicos. La tensión de conmutación de los módulos de diodos IGBT de un ondulator de tres niveles es la mitad que en un ondulator de dos niveles que genere una onda de forma de tensión de la misma amplitud. La tensión nominal de los módulos de diodos IGBT utilizados en los onduladores de tres niveles debe ser, por tanto, la mitad que en un ondulator de dos niveles equivalente. Por tanto, para un ondulator de una potencia nominal equivalente, el ondulator de dos niveles utilizará módulos de diodos IGBT de alta tensión y alta intensidad, mientras que los onduladores de tres niveles utilizan módulos de baja tensión y alta intensidad. Esta diferencia de valores de tensión tiene una incidencia muy significativa en los parámetros de pérdidas por conmutación y conducción de los módulos. Las pérdidas de potencia del ondulator de tres niveles serán mucho menores que en el ondulator de dos niveles tradicional, que aumenta la eficiencia energética al tiempo que reduce el coste del sistema. La investigación bibliográfica [2] indica que las pérdidas por conmutación de los onduladores de dos niveles son significativamente superiores que las de los de tres niveles. Incluso aunque las frecuencias de conmutación de los onduladores de dos niveles sean inferiores, los onduladores de tres niveles muestran una considerable ventaja en términos de pérdidas por conmutación. El menor número de niveles de tensión de salida y las menores frecuencias de conmutación también tienen un impacto negativo en las prestaciones de armónicos de salida de los onduladores de dos niveles [2].

Método de modulación, diagrama de control y resultados de simulación

En general, los métodos de generación con modulación por ancho de pulsos (PWM) se pueden clasificar en método de modulación basado en portadora y método de modulación por vector espacial. Dado que el método de modulación basado en portadora tiene algunas ventajas, como menos cálculos, aplicación más fácil y principio más sencillo, se ha utilizado ampliamente en los onduladores multinivel. El método de modulación del ancho de pulsos basado en doble portadora se utiliza ampliamente en los onduladores de tres niveles NPC para obtener menos armónicos en la tensión de salida. La figura 5 muestra el principio del método de modulación de doble portadora en el que se comparan las IRM, ISM e ITM de las formas de onda de modulación de las tres fases de la portadora 1 y la portadora 2. La figura 4 muestra más detalles de la generación de señales PWM de Q1 y Q2 para la fase R.

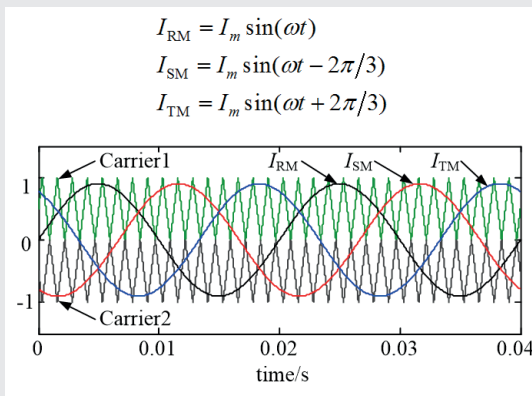


Fig. 5 Principio de modulación con doble transportadora

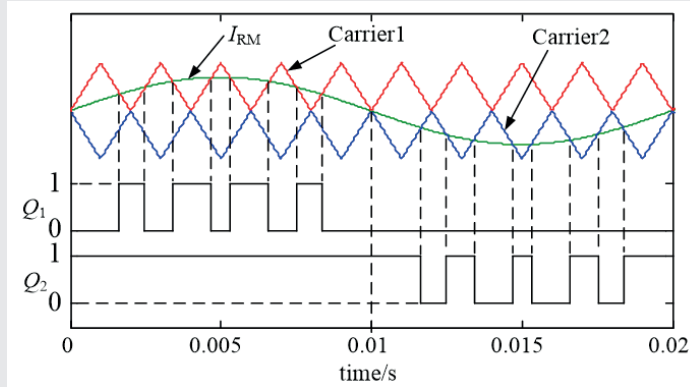


Fig. 6. Generación PWM para fase R

La figura 7 muestra el diagrama de control de un ondulador de tres niveles NPC. En un sistema de SAI trifásico la salida suele estar organizada para trabajar con una, dos o tres fases de modo que sea adecuado para distintos tipos de carga y, al mismo tiempo, disponer de un sistema más flexible. De modo que el esquema de control queda bajo un marco de coordenadas estacionarias abc. Los controladores PR se utilizan para bucles de control de tensión y corriente. La tabla II muestra los parámetros de simulación de un SAI de 40 kVA de potencia nominal.

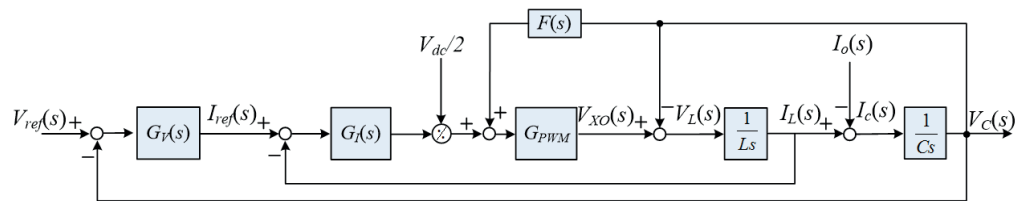


Fig.7. Diagrama de control del ondulador NPC

Tabla 2 Parámetros de simulación

Parámetros	Valor
Tensión de salida nominal	230 Vve
Frecuencia de conmutación	20 kHz
Tensión del bus CC	800 V
Potencia nominal	40 kVA
Capacitancia del filtro	60 μ F
Inductancia del filtro	200 μ H

En la simulación se ha habilitado un arranque suave. En las figuras 8 y 9 se observa que se consiguen tensiones y corrientes de salida con una onda senoidal pura. La figura 10 muestra la tensión de salida entre fase y tierra en el lado del ondulator y la figura 11 la tensión de salida entre fases. La figura 12 muestra el espectro de la THD de la tensión de salida, que es inferior al 1 %. Los resultados de la simulación revelan que puede obtenerse un buen rendimiento con un diseño adecuado del controlador y el filtro.

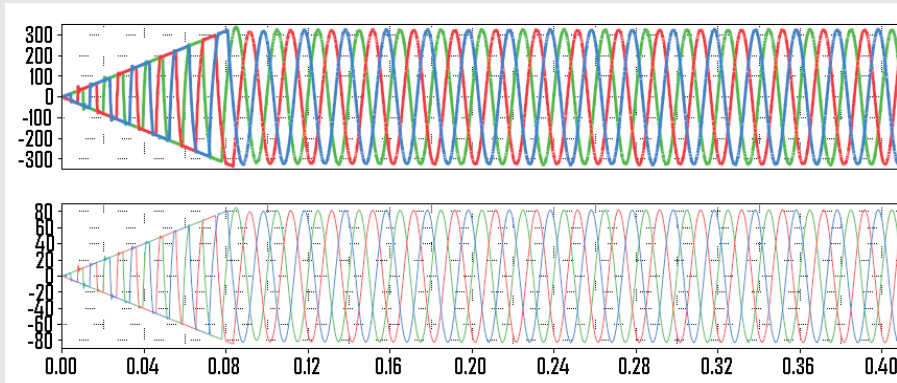


Fig. 8. Tensión (arriba) e intensidad de salida (abajo)

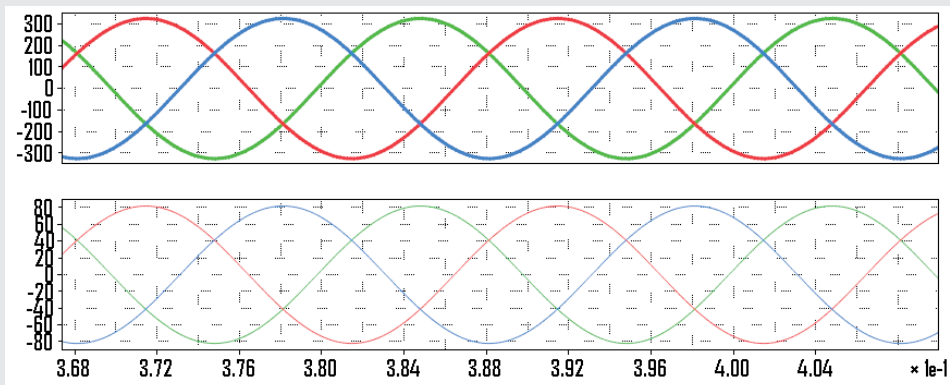


Fig. 9. Tensión y corriente de salida ampliados

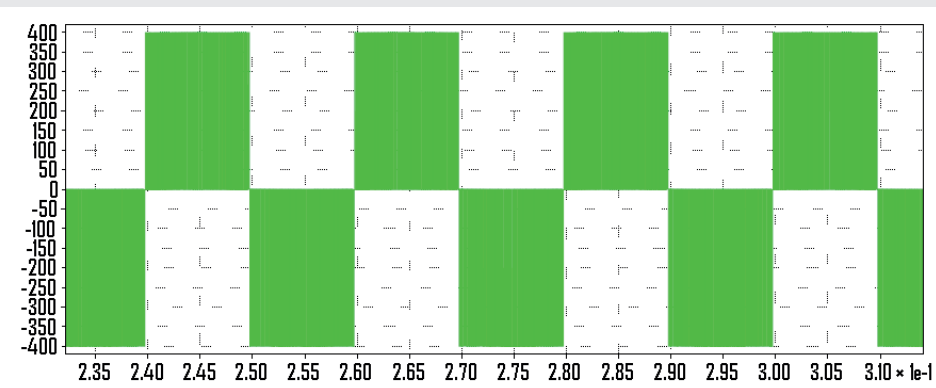


Fig. 10. Tensión de salida entre fase y tierra en el lado del ondulator

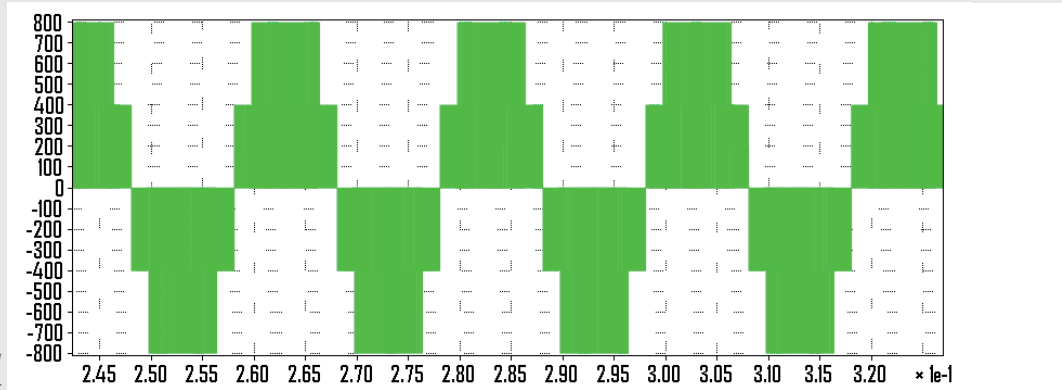


Fig. 11. Tensión de salida entre fase y fase en el lado del ondulator

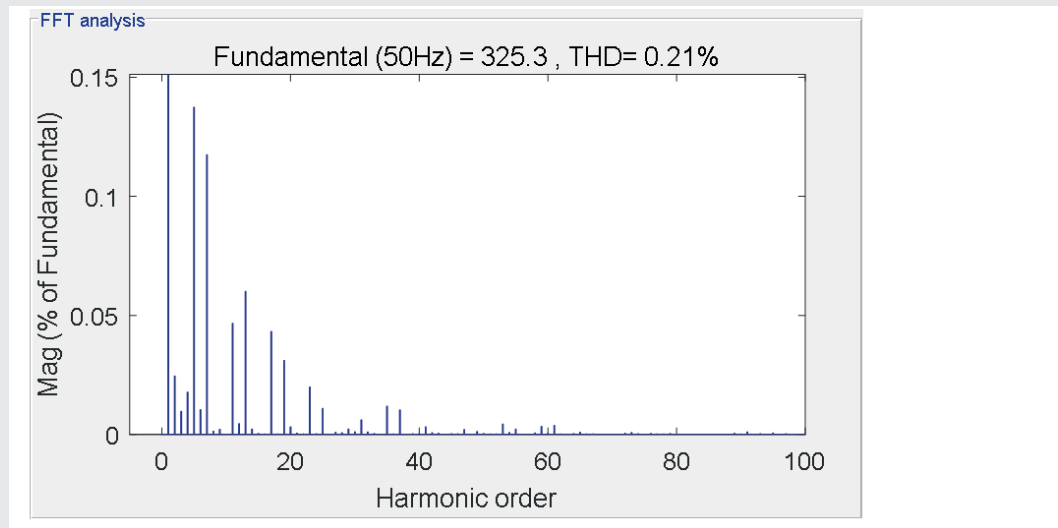


Fig. 12. Espectro de la tensión de salida de THD

Conclusiones

El ondulator de tres niveles es más apropiado para SAI de alta potencia dado que los IGBT solo están sometidos a la mitad de la tensión del bus CC y pueden usarse módulos IGBT con menor tensión nominal para reducir el coste y que también reducirán las pérdidas de potencia del sistema. Y con la tensión de salida de tres niveles se consigue una THD inferior, lo que comporta unas formas de onda de tensión y corriente de salida de más calidad.

Referencias

- [1] Z. Wang, J. Chen, and M. Cheng, "Modeling and control of neutral-point-clamping (NPC) three-level inverters fed dual-three phase PMSM drives," in Proc. IEEE ECCE 2015, Sept. 20–24, pp. 1 - 8.
- [2] POWEREX Semiconductor, "Introduction to Three-Level Inverter", 2009, Jun. 1.
- [3] G. I. Orfanoudakis, S. M. Sharkh, M. A. Yuratich and M. A. Abusara, "Loss Comparison of Two and Three-Level Inverter Topologies," in Proc. IET PEMD 2010, Apr. 19–21, pp. 1 - 6.