



INVERSORES

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

1er SEMESTRE 2011

IIE

PLAN DE TRABAJO

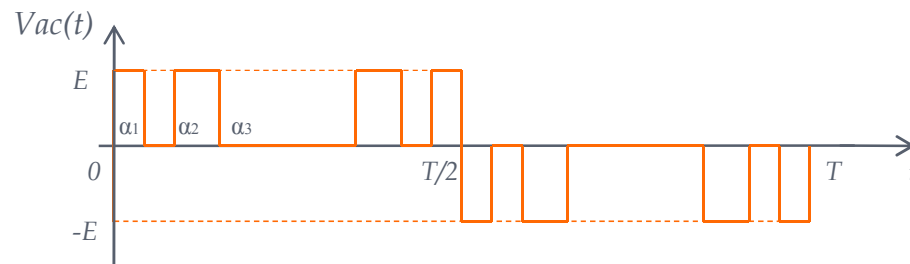
1. Rama inversora.
2. Puente inversor.
3. **Técnicas de control para reducir o eliminar armónicos.**
 - a) Técnicas de reducción de armónicos.
 - Control por desfasaje de ondas.
 - PWM sinusoidal
 - b) **Técnicas de eliminación explícita de armónicos.**
 - **PWM calculado**
4. Generalización a sistemas trifásicos.
 - a) Conexión Fork.

CONTROL CON ELIMINACIÓN EXPLÍCITA DE ARMÓNICOS: PWM CALCULADO

- De lo visto anteriormente surge que agregando conmutaciones a la forma de onda de tensión cuadrada original, se puede controlar el valor del primer armónico, y reducir armónicos, o incluso eliminar algunos determinados.
- Con PWM sinusoidal observamos que cuanto mayor es la cantidad de conmutaciones, más armónicos son reducidos.
- Con PWM calculado, demostraremos que es posible generar una onda de tensión en la que el valor de ciertos armónicos esté determinado.
- Demostraremos que es posible imponer el valor del primer armónico, y anular totalmente ciertos armónicos de interés.

PWM CALCULADO 3 ESTADOS

- Sea la siguiente tensión de salida, del tipo con retorno a cero (tres estados), con tres conmutaciones en el primer cuarto de ciclo de la fundamental. Sean α_1 , α_2 y α_3 los ángulos en que ocurren las conmutaciones.

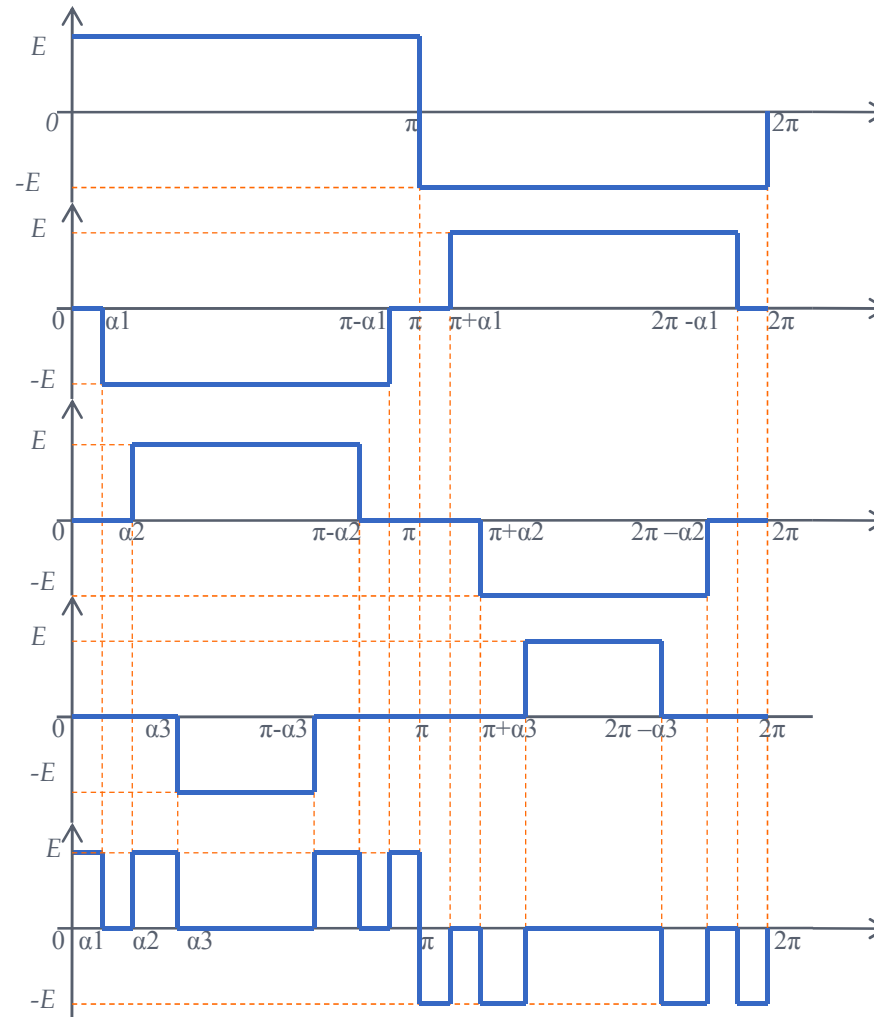


- La forma de onda tiene simetría de segunda especie, por lo que solo tendremos armónicos impares.
- Los ángulos donde se dan las conmutaciones cumplen:

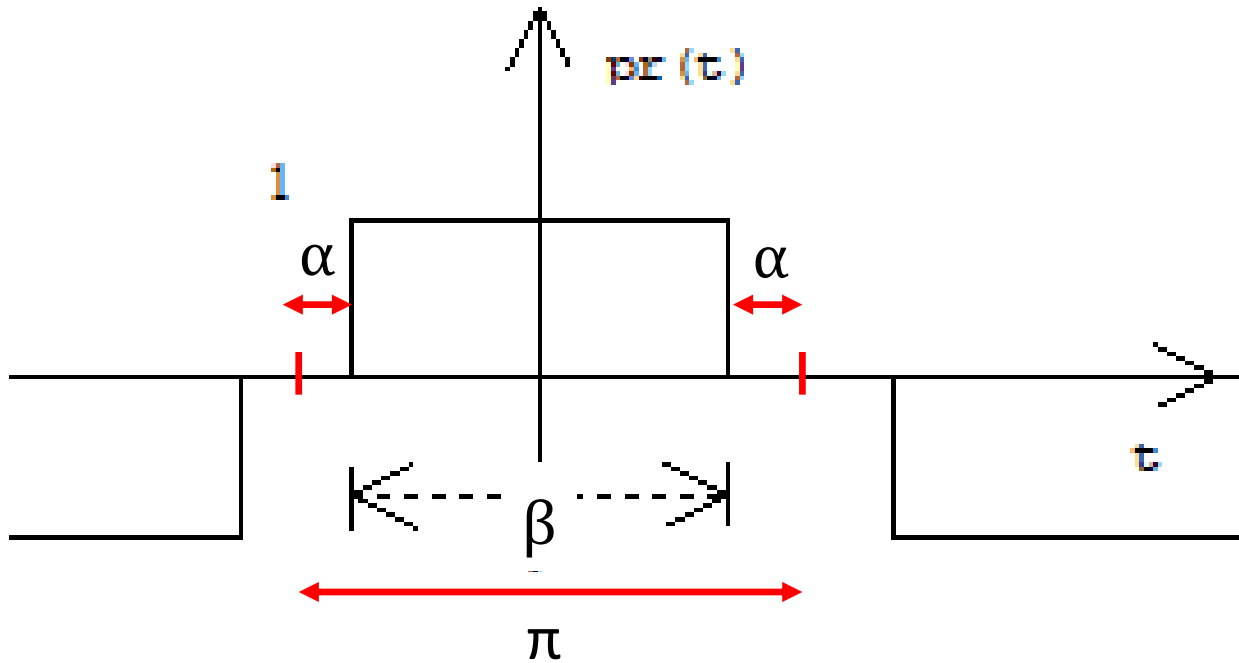
$$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \pi/2$$

PWM CALCULADO 3 ESTADOS

- Para calcular el contenido armónico de la tensión de salida del inversor en este caso, es posible ver cómo se puede sintetizar la tensión de salida, sumando a la onda de tensión cuadrada, tres ondas de tensión rectangulares:



Puso rectangular



$$2\alpha + \beta = \pi$$

$$\beta = \pi - 2\alpha$$

PWM CALCULADO 3 ESTADOS

- Se conoce el contenido armónico de cada onda. De forma genérica, cada pulso rectangular tiene una duración determinada por la relación: $\beta_i = \pi - 2\alpha_i$
- Cada pulso rectangular tiene el siguiente contenido armónico:

$$\begin{cases} C_n = \frac{2E}{\pi n} \sin\left(\frac{\beta n}{2}\right) \forall n \neq 0 \\ C_n = 0 \forall n = 0 \end{cases}$$

- Luego se tiene que: $\sin\left(\frac{(\pi - 2\alpha_i)n}{2}\right) = \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \cos(n\alpha_i)$
- Y por superposición se tiene que el contenido armónico de la tensión de salida del puente será:

$$C_n = \frac{2E}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) [1 - \cos(n\alpha_1) + \cos(n\alpha_2) - \cos(n\alpha_3)] \forall n \neq 0$$

PWM CALCULADO 3 ESTADOS

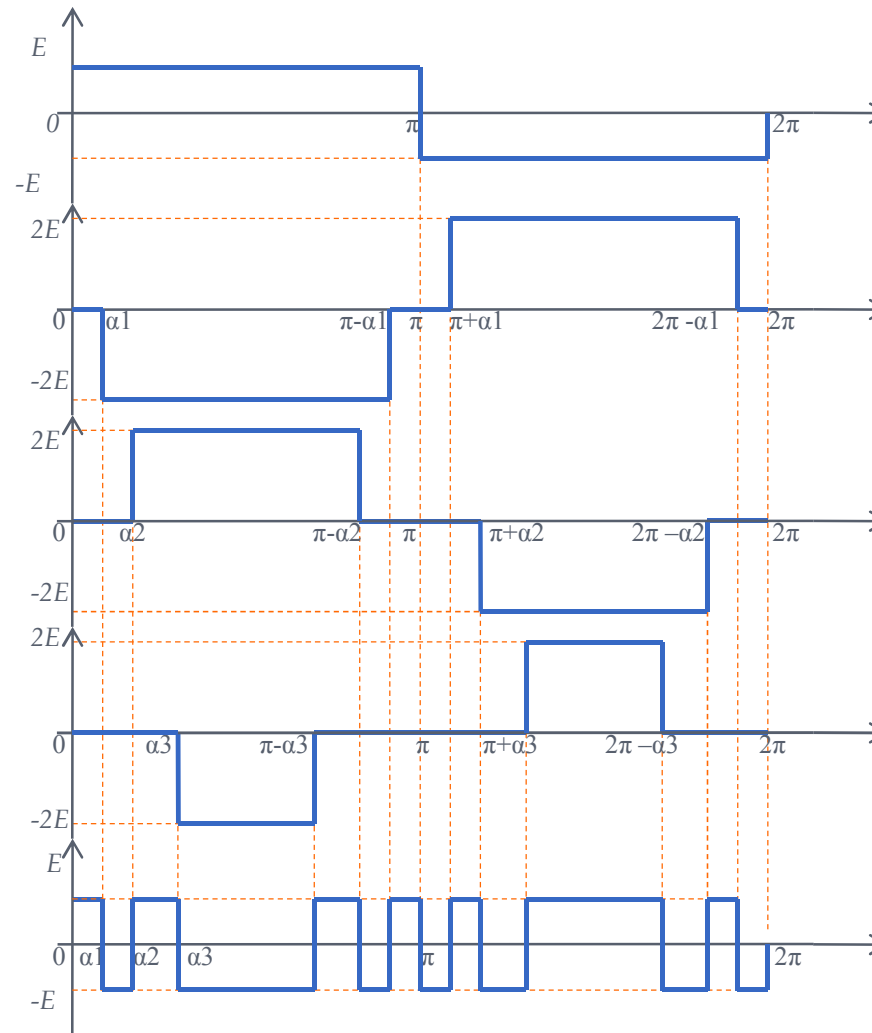
- Si realizamos M conmutaciones en un cuarto de ciclo de la fundamental, tendremos M ángulos, y la expresión obtenida anteriormente se generaliza:

$$C_n = \frac{2E}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \left[1 + \sum_{k=1}^M (-1)^k \cos(n\alpha_k) \right] \quad \forall n \neq \dot{2}$$

- Siempre debe cumplirse: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 \dots < \alpha_M < \pi/2$

PWM CALCULADO 2 ESTADOS

- También es posible controlar el inversor con una tensión de dos estados. Para estimar su contenido armónico, es posible ver cómo se puede sintetizar esta tensión de salida, sumando a la onda de tensión cuadrada, las mismas ondas de tensión rectangulares del caso de 3 estados, pero de amplitud $2 \cdot E$.



PWM CALCULADO 2 ESTADOS

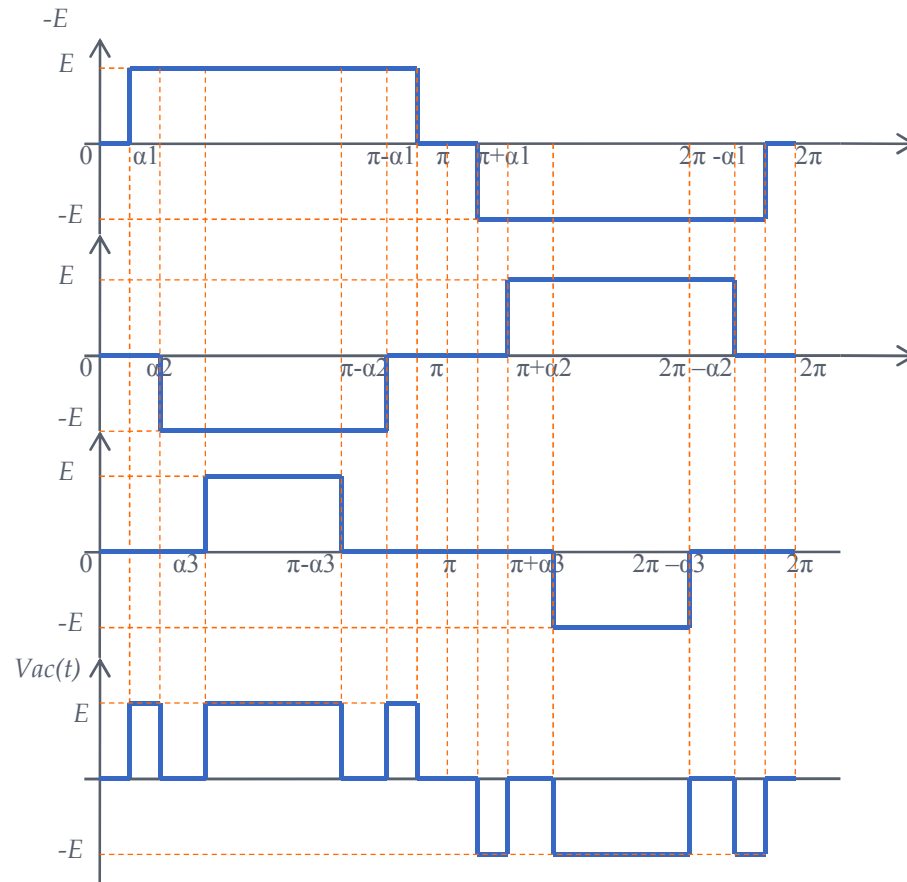
- Del mismo modo que con PWM calculado 3 estados, si realizamos M conmutaciones en un cuarto de ciclo de la fundamental, tendremos M ángulos, y la expresión general para el contenido armónico de la tensión de salida será:

$$C_n = \frac{2E}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \left[1 + 2 \sum_{k=1}^M (-1)^k \cos(n\alpha_k) \right] \forall n \neq \dot{2}$$

- Siempre debe cumplirse: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 \dots < \alpha_M < \pi/2$

PWM CALCULADO 3 ESTADOS MODIFICADO

- Para controlar la tensión del primer armónico y el contenido armónico, generamos conmutaciones en la onda cuadrada original, obteniendo siempre un cambio de tensión en el origen.
- Otra forma de generar la tensión de salida es utilizar las mismas ondas rectangulares mostradas anteriormente, pero sin adicionarlas a la onda cuadrada original.



PWM CALCULADO 3 ESTADOS MODIFICADO

- Con este método, se tienen 2 conmutaciones menos por período (las correspondientes a 0° y 180°).
- En el caso de PWM calculado 2 o 3 estados, se tienen 4^*M+2 conmutaciones totales por período, con PWM modificado, se tienen 4^*M .
- En este caso, el contenido armónico de la tensión de salida del inversor será:

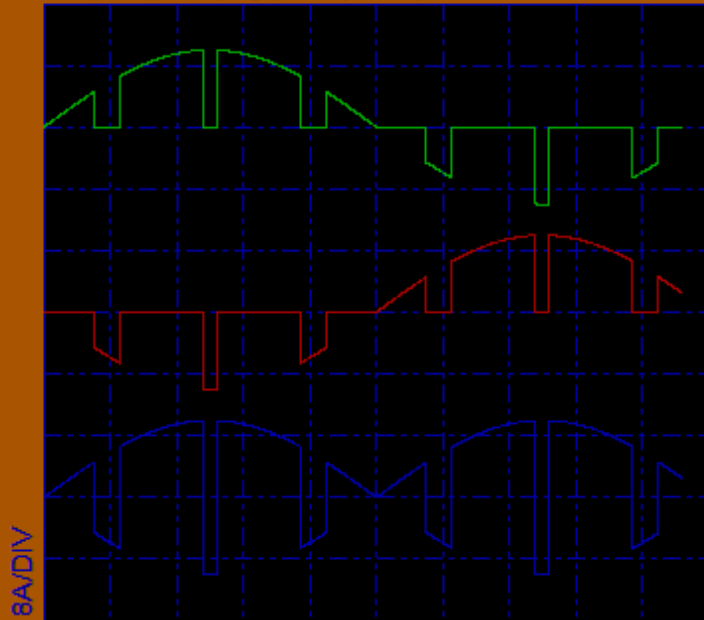
$$C_n = \frac{2E}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \left[\sum_{k=1}^M (-1)^{k+1} \cos(n\alpha_k) \right] \quad \forall n \neq \dot{2}$$

- Siempre debe cumplirse: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 \dots < \alpha_M < \pi/2$
- Ver simulaciones 6 y 7.

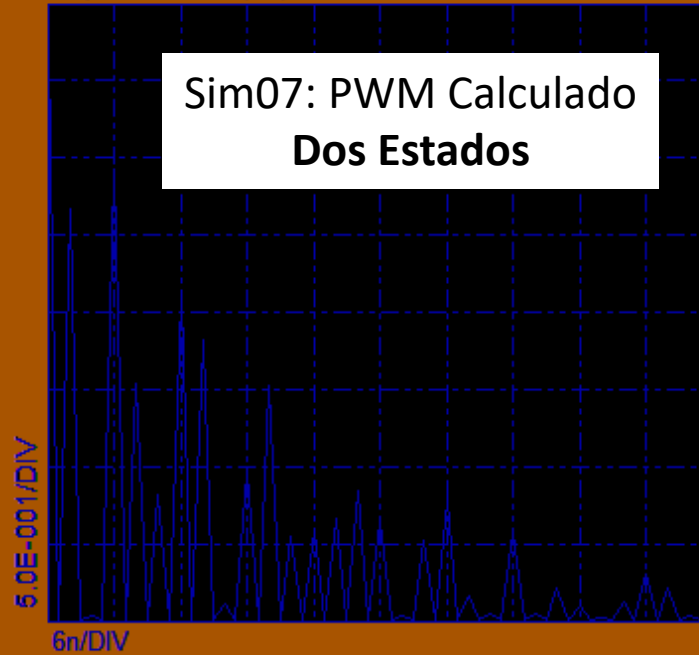
PWM CALCULADO: CONCLUSIONES

- Con M ángulos de conmutación, establecemos un sistema de M ecuaciones, una para cada armónico que se desea imponer, y M incógnitas.
- En particular podemos imponer un valor para el fundamental de tensión, y eliminar los primeros $M-1$ armónicos.
- Con PWM calculado, se eliminan los armónicos totalmente, a diferencia de PWM sinusoidal donde simplemente se reducen, desplazándose su energía a armónicos superiores.
- Debe destacarse que el sistema de ecuaciones no es lineal, por lo que su solución debe ser hallada con métodos de cálculo adecuados (p.ej. Método de Taylor).
- Por otra parte, el sistema puede no tener solución para un valor de fundamental U_1 , pero puede tenerlo para $-U_1$. También pueden hallarse 2 soluciones.

Idc (Azul) Ia1 (Rojo) Ib1 (Verde)



Espectro de Idc (Un)



Sim07: PWM Calculado Dos Estados

CONTROLES:

F) F.P.: 0.0[deg]

U) u1: 0.60[p.u.]

M) M-1: 2[u]

Q) MODO: 2

Dst.Arm.: 0.826[pu]

U3/U1: 0.011[pu]

U5/U1: 0.018[pu]

U7/U1: 1.088[pu]

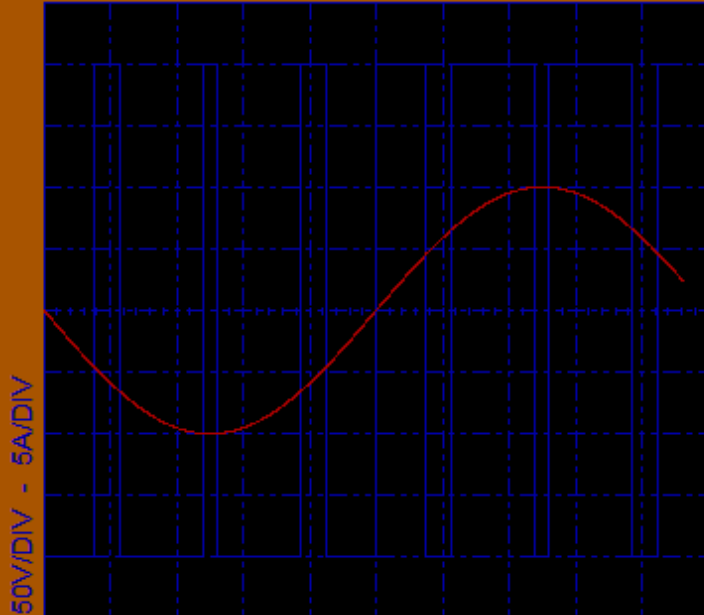
U9/U1: 0.511[pu]

U11/U1: 0.206[pu]

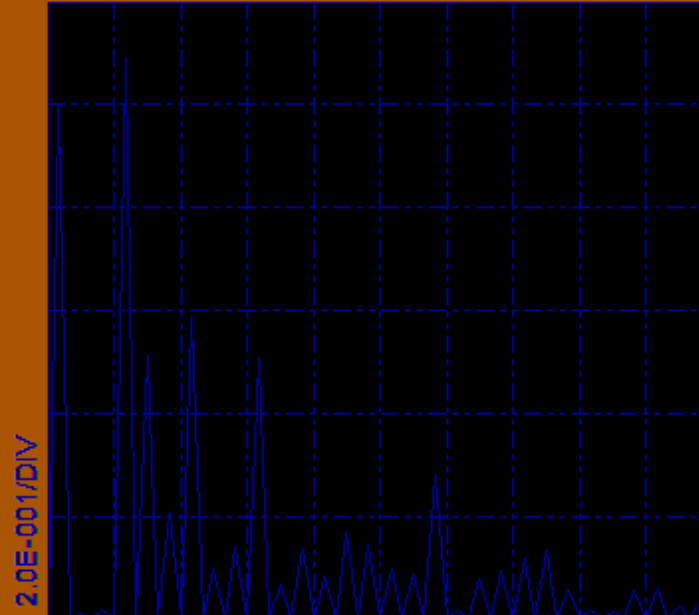
dtmin: 769.5[us]

S) Retorno) = Salir

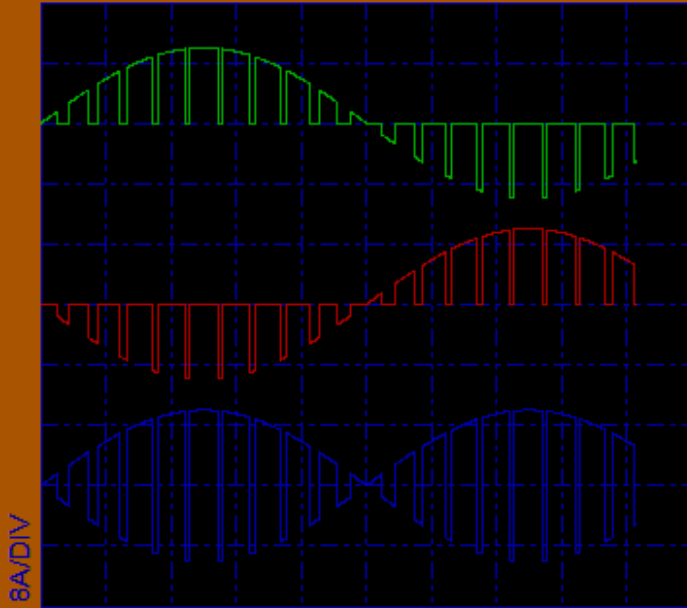
Vac (Azul) - Iac (Rojo)



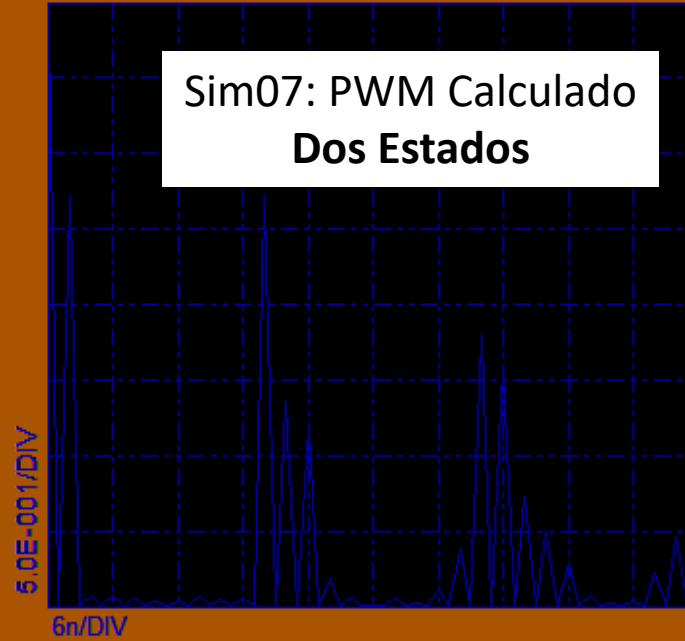
Espectro de Vac (Un/U1)



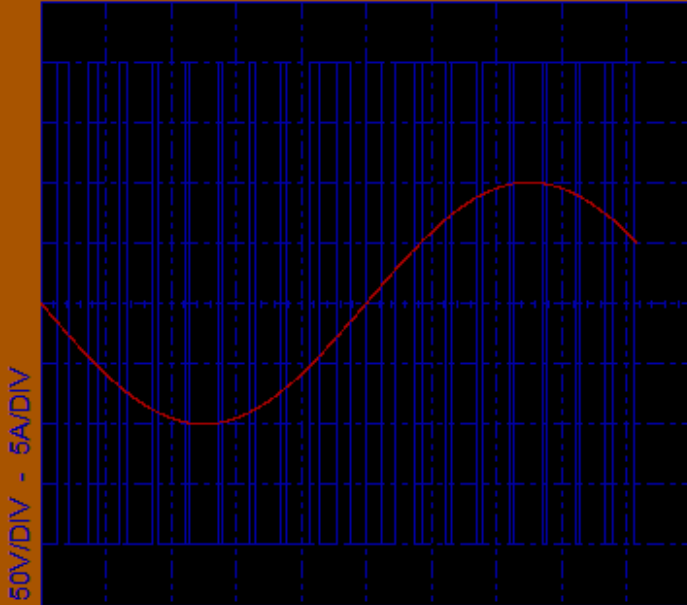
Idc (Azul) Ia1 (Rojo) Ib1 (Verde)



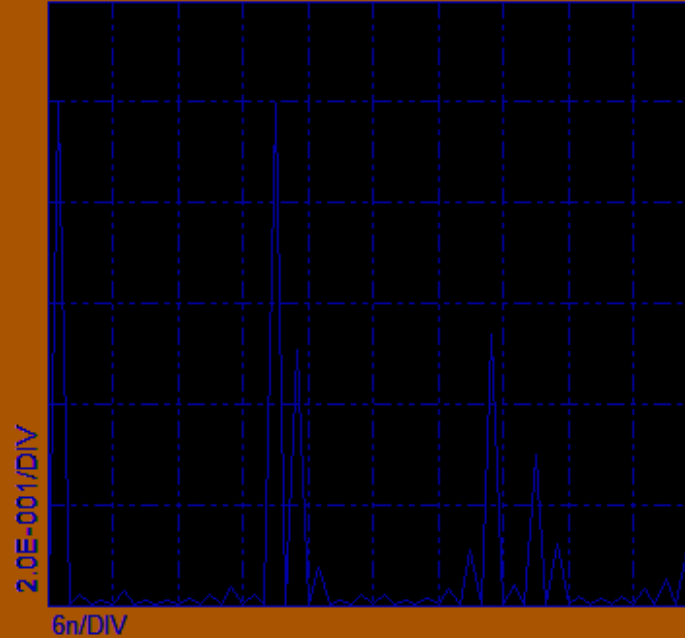
Espectro de Idc (Un)



Vac (Azul) - Iac (Rojo)



Espectro de Vac (Un/U1)



CONTROLES:

F) F.P.: 0.0[deg]

U) u1: 0.60[p.u.]

M) M-1: 9[u]

Q) MODO: 2

Dst Arm.: 0.747[pu]

U3/U1: 0.023[pu]

U5/U1: 0.011[pu]

U7/U1: 0.030[pu]

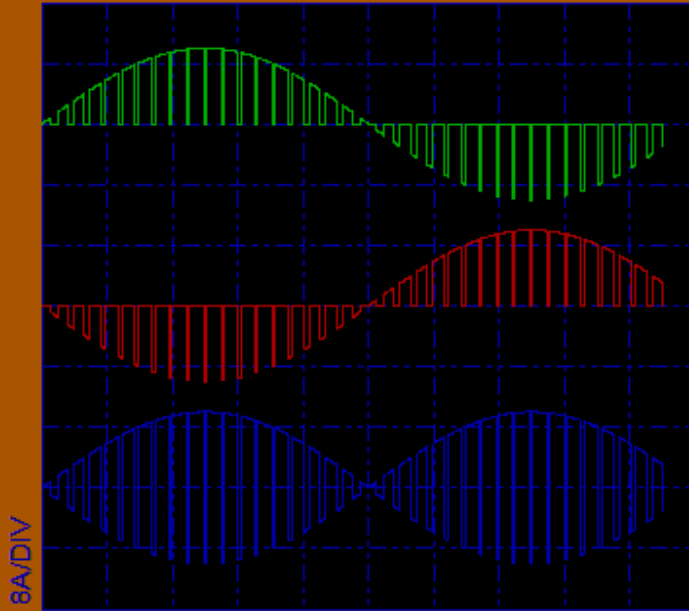
U9/U1: 0.012[pu]

U11/U1: 0.011[pu]

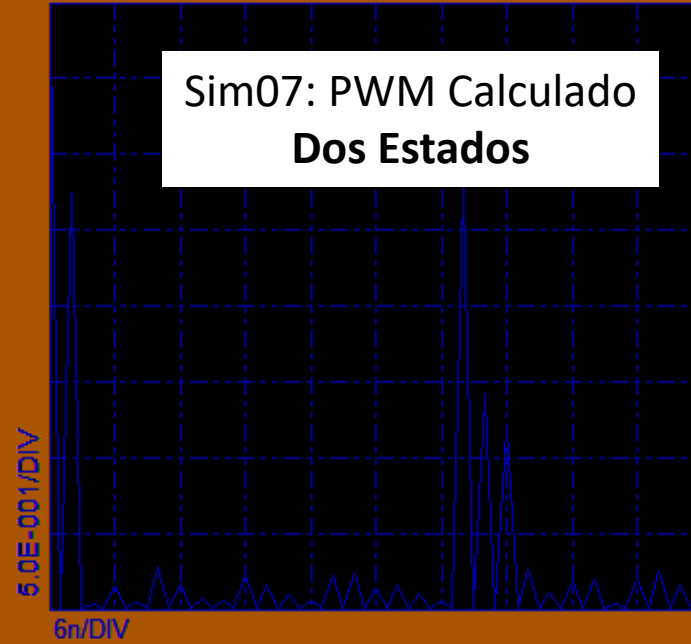
dtmin: 123.7[us]

S) Retorno) = Salir

Idc (Azul) Ia1 (Rojo) Ib1 (Verde)



Espectro de Idc (Un)



CONTROLES:

F) F.P.: 0.0[deg]

U) u1: 0.60[p.u.]

M) M-1: 18[u]

Q) MODO: 2

Dst.Arm.: 0.131[pu]

U3/U1: 0.019[pu]

U5/U1: 0.021[pu]

U7/U1: 0.039[pu]

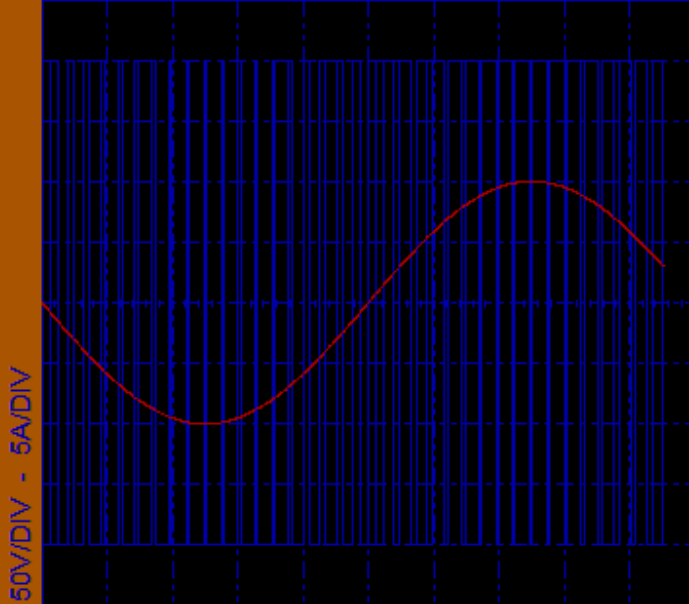
U9/U1: 0.056[pu]

U11/U1: 0.057[pu]

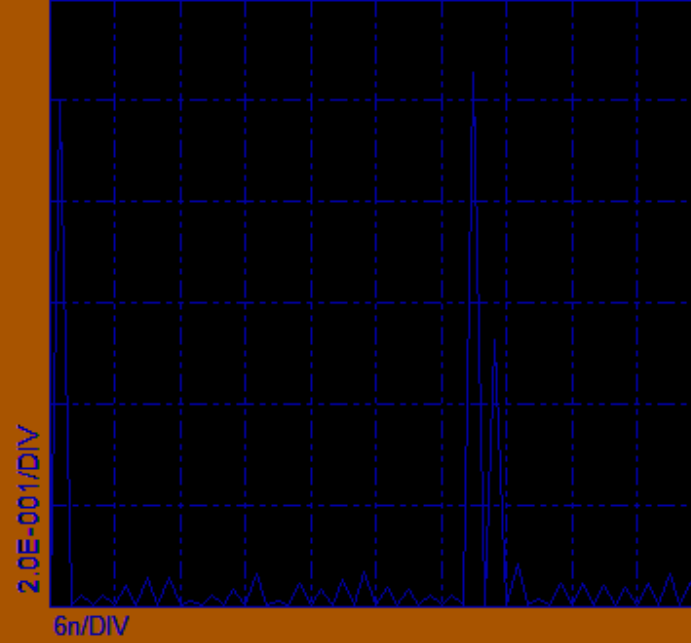
dtmin: 65.1[us]

S) Retorno) = Salir

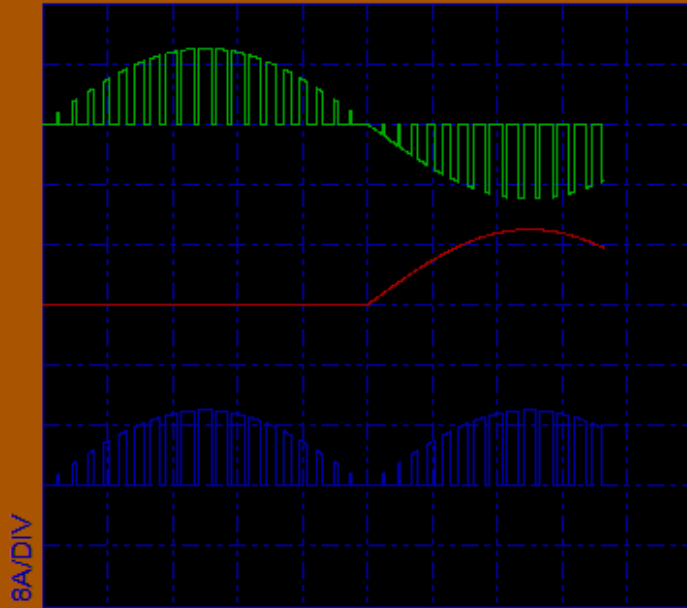
Vac (Azul) - Iac (Rojo)



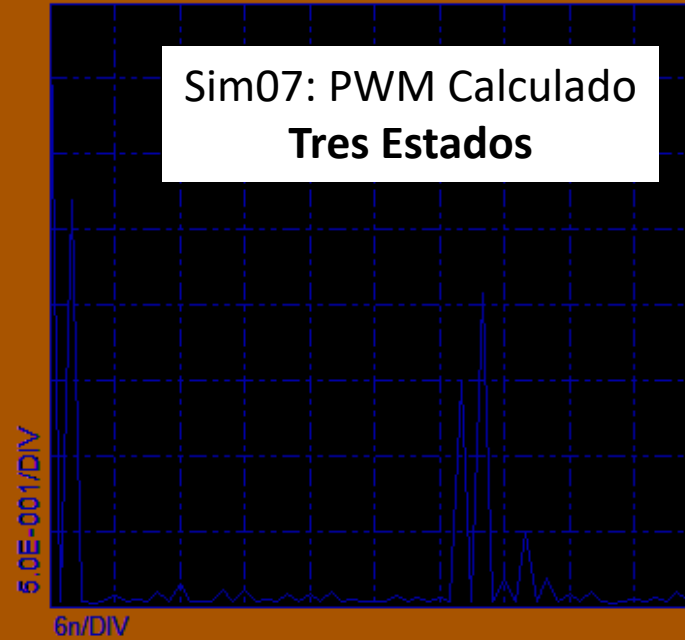
Espectro de Vac (Un/U1)



Idc (Azul) Ia1 (Rojo) Ib1 (Verde)



Espectro de Idc (Un)



Sim07: PWM Calculado Tres Estados

CONTROLES:

F) F.P.: 0.0[deg]

U) u1: 0.60[p.u.]

M) M-1: 18[u]

Q) MODO: 1

Dst Arm.: 0.071[pu]

U3/U1: 0.008[pu]

U5/U1: 0.011[pu]

U7/U1: 0.016[pu]

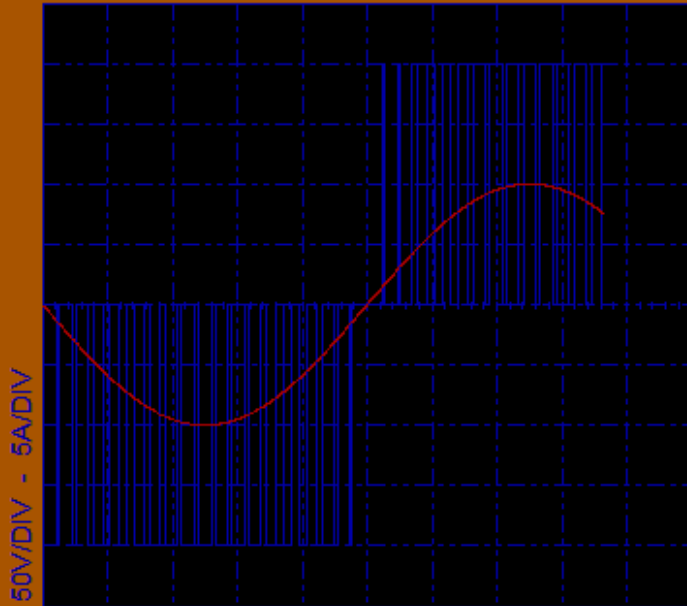
U9/U1: 0.018[pu]

U11/U1: 0.038[pu]

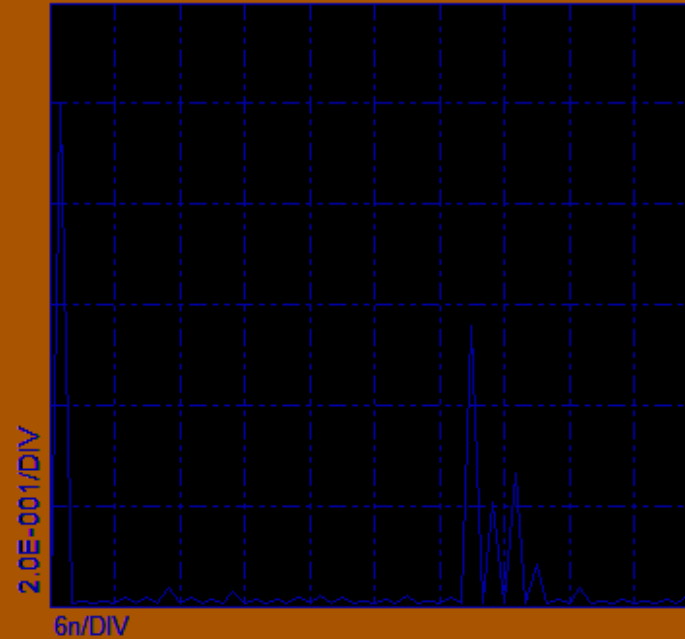
dtmin: 56.9[us]

S) Retorno) = Salir

Vac (Azul) - Iac (Rojo)



Espectro de Vac (Un/U1)

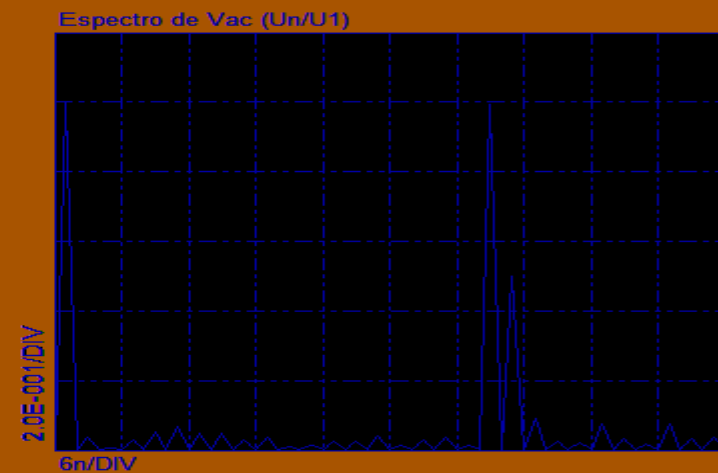
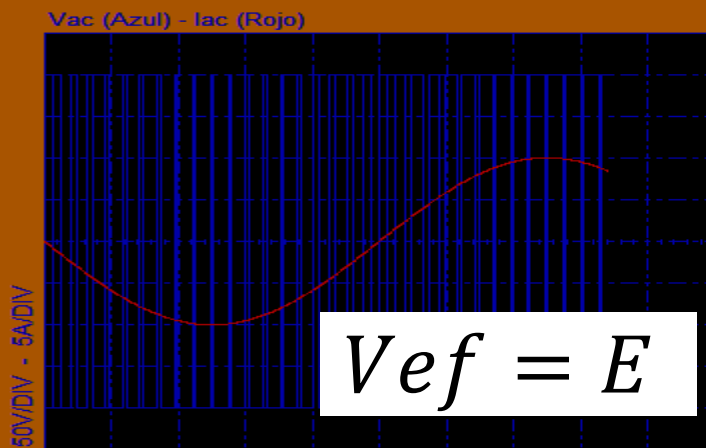


2 Estados

M = 18

m = 0,6

Dist = 13 %

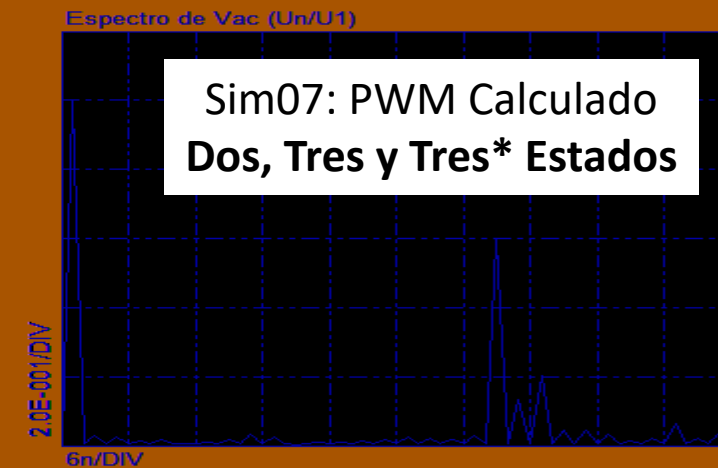
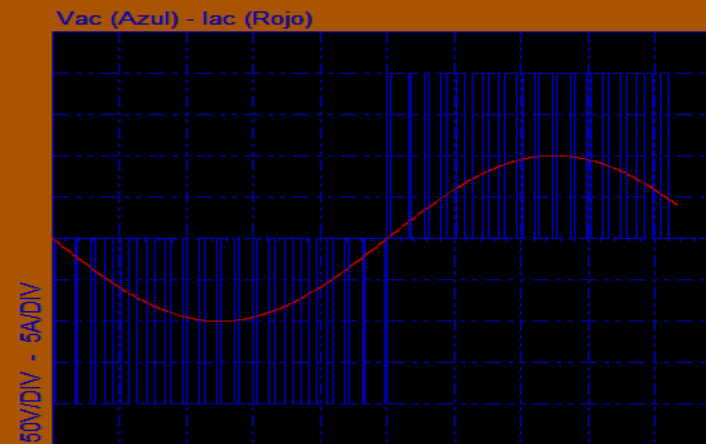


3 Estados

M = 18

m = 0,6

Dist = 7 %

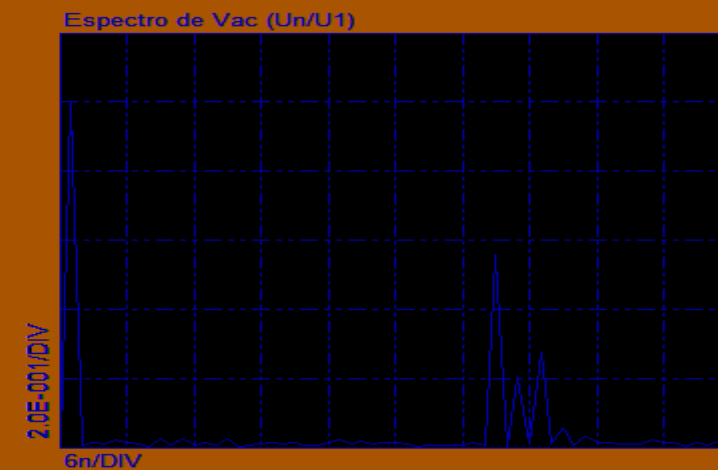


3 Estados*

M = 18

m = 0,6

Dist = 6.5 %



PWM CALCULADO: CONCLUSIONES

- Formas básicas de implementar el control del inversor utilizando PWM calculado:
 - a) Barrido pre-calculado único y control de E. Para un conjunto de ángulos fijos pre-calculados se controla el valor de U1 variando E. Controlar E implica colocar una fuente DC-DC o AC-DC.
 - b) Barridos escalonados para diferentes valores de U1 deseados. Es necesario un mayor potencial de manejo de información.
 - c) Control en tiempo real. Cada vez que se desea modificar U1 se recalculan los ángulos. Esta aplicación es realizable si se dispone de tiempo (sistema lento y estable) o de gran capacidad de cálculo.
 - d) Función de transferencia. Se pre-calculan los ángulos para diversos valores de U1 y se busca la función que determina cada ángulo en función de U1. Luego se linealiza entre puntos.