

PRÁCTICA 2: Vectores Espaciales.

OBJETIVOS: En esta práctica los alumnos crearán subcircuitos de simulación PSIM para el cálculo de transformadas de Clarke y de Park de magnitudes trifásicas. En prácticas posteriores se utilizarán estos subcircuitos para la simulación en PSIM de variables trifásicas en los sistemas de referencia ortogonales dq estacionarios y móviles mediante los que se representan las máquinas eléctricas trifásicas.

1. Subcircuito PSIM para la generación del Vector Espacial: Transformada de Clarke

1.1. El vector espacial (SV=*space vector*) de un sistema trifásico en coordenadas a,b,c dado por el vector tridimensional de la ecuación (1.1) se puede construir mediante la operación matricial de la ecuación (1.2). Alternativamente, el SV se puede calcular mediante la operación vectorial de la ecuación (1.3), lo que permite la representación de (1.4). Si las variables del sistema trifásico se encuentran en un marco fijo (p.e. variables de estator), los ejes dq ortogonales sobre los que se representan las coordenadas f_d y f_q del SV son fijos. Si las variables del sistema trifásico se encuentran en un marco rotatorio (p.e. variables de rotor), los ejes dq ortogonales sobre los que se representan las coordenadas f_d y f_q del SV son rotatorios. Ambos casos se ilustran en la figura 1.1.

$\vec{f} = \begin{bmatrix} f_a(t) \\ f_b(t) \\ f_c(t) \end{bmatrix} = [f_a(t) \quad f_b(t) \quad f_c(t)]^T$	(1.1)
$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} = [T(0)] \cdot \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix}$	(1.2)
$\begin{aligned} \vec{f}_{SV} &\equiv \frac{2}{3} \cdot \left(f_a(t) + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot f_b(t) + e^{-j\frac{2\pi}{3}} \cdot f_c(t) \right) = \\ &= \frac{2}{3} \cdot \left(f_a(t) - \frac{f_b(t)}{2} - \frac{f_c(t)}{2} \right) + j \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot f_b(t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot f_c(t) \right) = f_d(t) + j \cdot f_q(t) \end{aligned}$	(1.3)

$\vec{f}_{SV} = f_d(t) + j \cdot f_q(t) = \hat{F}_{SV}(t) \cdot e^{j\phi_{SV}(t)}$ $\hat{F}_{SV}(t) = \sqrt{f_d(t)^2 + f_q(t)^2} \qquad \phi_{SV}(t) = \arctg\left(\frac{f_q(t)}{f_d(t)}\right)$	(1.4)
--	-------

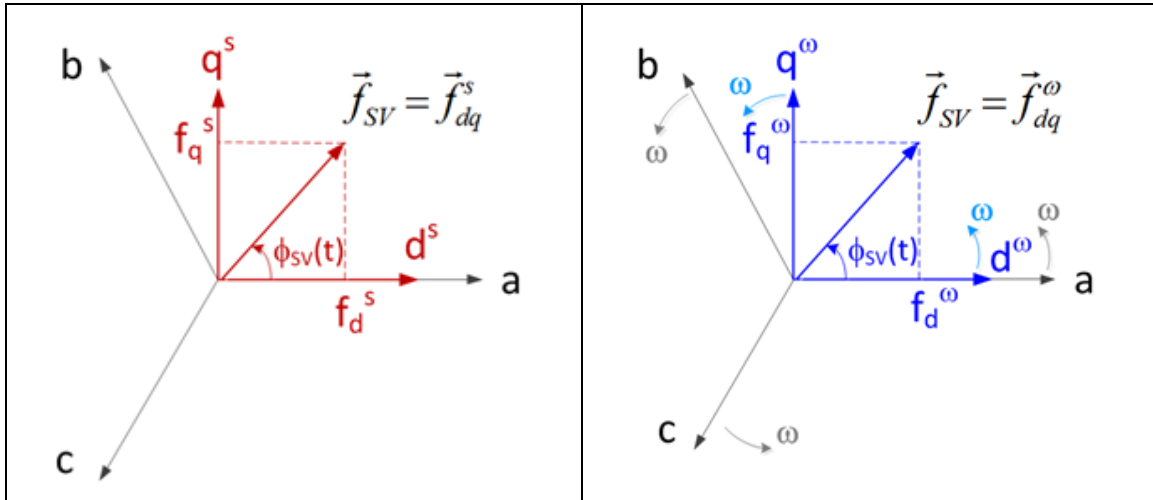


Fig.1.1. Transformada de Clarke de un sistema trifásico fijo (dq^s) y móvil girando a una velocidad angular ω (dq^ω).

- 1.- Construir mediante el simulador PSIM y bloques de cálculo matemático un circuito que calcule la transformada de Clarke. **Sugerencia:** utilizar bloque matemáticos “*Math Function*” de 3 entradas del PSIM.
- 2.- Probar el circuito creado sobre el sistema trifásico de tensiones con secuencia positiva dado por la ecuación (1.5), donde la frecuencia eléctrica vale $f_e=50$ Hz. Representar la simulación PSIM de las entrada y de las salidas. Representar mediante PSIM el módulo del SV, $\hat{F}_{SV}(t)$, y su fase (o argumento), $\phi_{SV}(t)$.

$\vec{V} = \hat{V} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\omega_e \cdot t) \\ \cos\left(\omega_e \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\omega_e \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} = \sqrt{2} \cdot 230 \cdot \begin{bmatrix} \cos(\omega_e \cdot t) \\ \cos\left(\omega_e \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\omega_e \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}$	(1.5)
--	-------

- 3.- Cambiar la secuencia del sistema trifásico de (1.5) a secuencia negativa y representar las salidas resultantes, así como el módulo y el argumento del SV. ¿Qué diferencia encuentras en cuanto a la fase del SV cuando el sistema pasa a ser de secuencia negativa? Calcula la derivada temporal de $\phi_{SV}(t)$ y pónla en relación con algún parámetro del sistema trifásico de entrada. ¿En qué sentido (horario o antihorario) gira el SV? ¿Qué relación hay entre el signo de la derivada de $\phi_{SV}(t)$ y el sentido de giro del SV?
- 4.- Crear mediante el menú “*Subcircuit*” del PSIM un subcircuito con 3 entradas (a,b,c) y 3 salidas (d_clarke, q_clarke, 0_clarke) para el cálculo de la transformada de Clarke y verificar que funciona como las simulaciones anteriores.

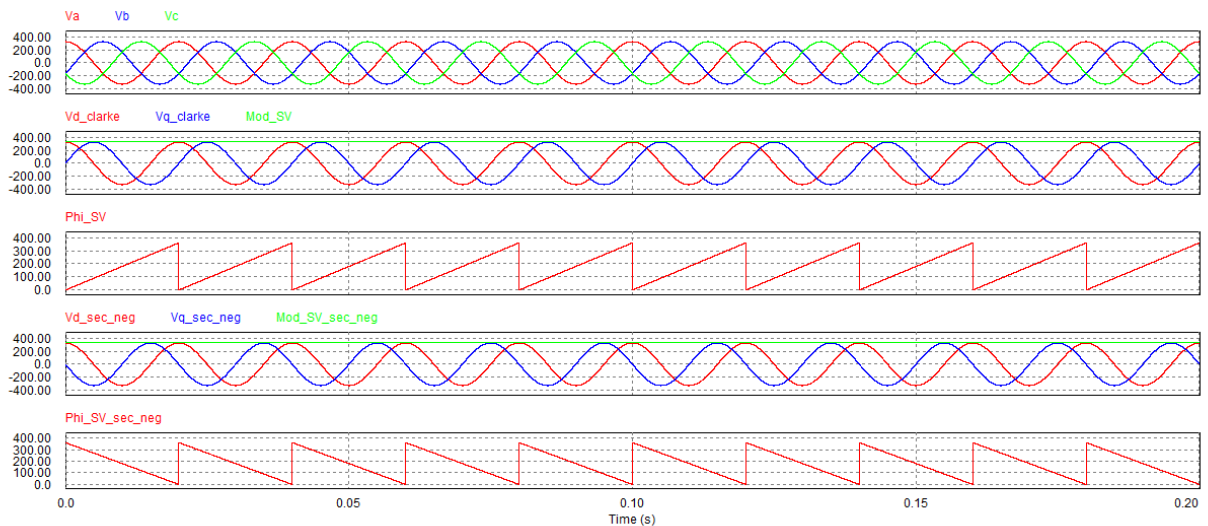


Fig. 1.2. Simulación PSIM de la transformada de Clarke de un sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

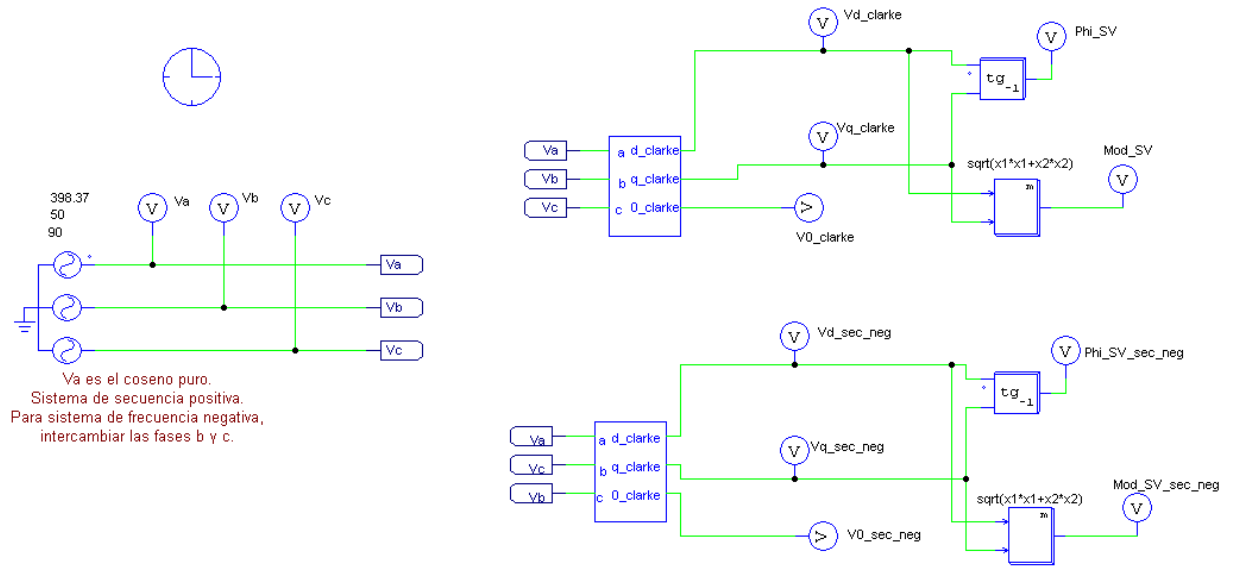
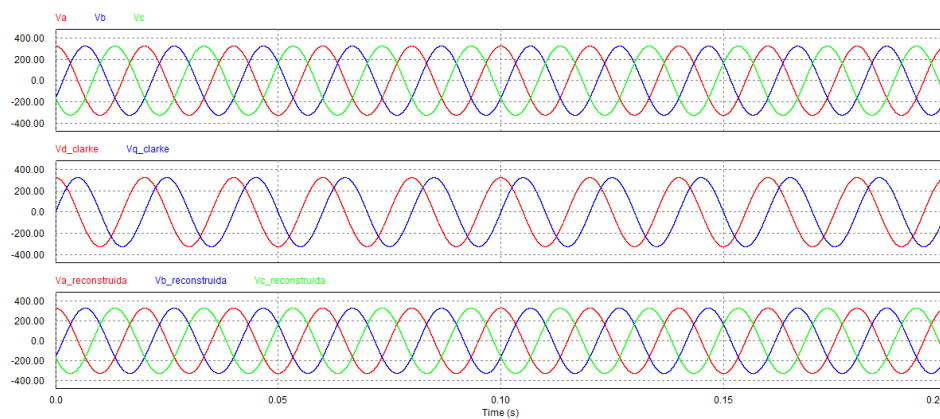
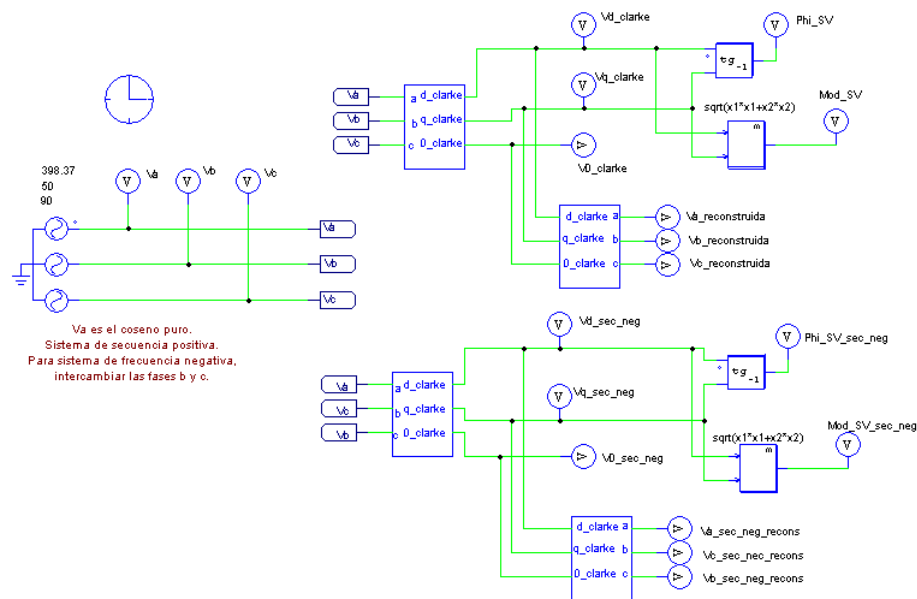


Fig. 1.3. Esquema de simulación PSIM de la transformada de Clarke con subcircuitos. Sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

1.2. La transformada de Clarke inversa se puede calcular matricialmente mediante la ecuación (1.6) o vectorialmente mediante (1.7), y permite la representación en coordenadas a,b,c de un SV que trabaja en coordenadas dq ortogonales de Clarke (sean estos ejes fijos o rotatorios).

$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = [T(0)]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix}$	(1.6)
$f_a = \text{Re}(\vec{f}_{dq}) + f_n = \text{Re}(\vec{f}_{dq}) + \frac{f_0}{\sqrt{2}}$ $f_b = \text{Re}\left(e^{-j\frac{2\pi}{3}} \cdot \vec{f}_{dq}\right) + f_n = \text{Re}\left(e^{-j\frac{2\pi}{3}} \cdot \vec{f}_{dq}\right) + \frac{f_0}{\sqrt{2}}$ $f_c = \text{Re}\left(e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot \vec{f}_{dq}\right) + f_n = \text{Re}\left(e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot \vec{f}_{dq}\right) + \frac{f_0}{\sqrt{2}}$ $f_n = \frac{f_0}{\sqrt{2}} = \frac{f_a + f_b + f_c}{3}$	(1.7)

- 1.- Crear un subcircuito de 3 entradas (d_{clarke} , q_{clarke} , 0_{clarke}) y 3 salidas (a, b, c) que calcule la transformada inversa de Clarke.
- 2.- Incorporar el subcircuito creado al esquema de simulación de apartado 1.1 y comprobar que la recuperación en coordenadas a,b,c del sistema trifásico de secuencia positiva y de secuencia negativa a partir del SV se produce adecuadamente.



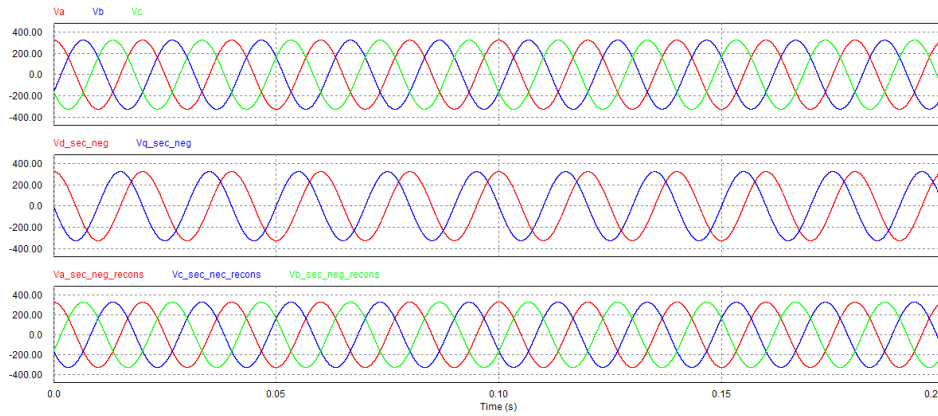


Fig. 1.6. Simulación PSIM de la transformada de Clarke y de su inversa de un sistema trifásico de secuencia negativa.

1.3. La transformada de Clarke con desequilibrios. Desequilibrar el sistema trifásico original de la siguiente manera: la amplitud de la fase a se incrementa 80V y la de la fase c se decrementa 80V.

- 1.- Comprobar mediante PSIM el correcto funcionamiento de la transformada de Clarke y de su inversa. Representar las formas de onda.
- 2.- Representar mediante PSIM el módulo del SV, $\hat{F}_{SV}(t)$, y su fase (o argumento), $\phi_{SV}(t)$. Razonar los fenómenos observados.
- 3.- Repetir los apartados 1 y 2 para el sistema de secuencia negativa.

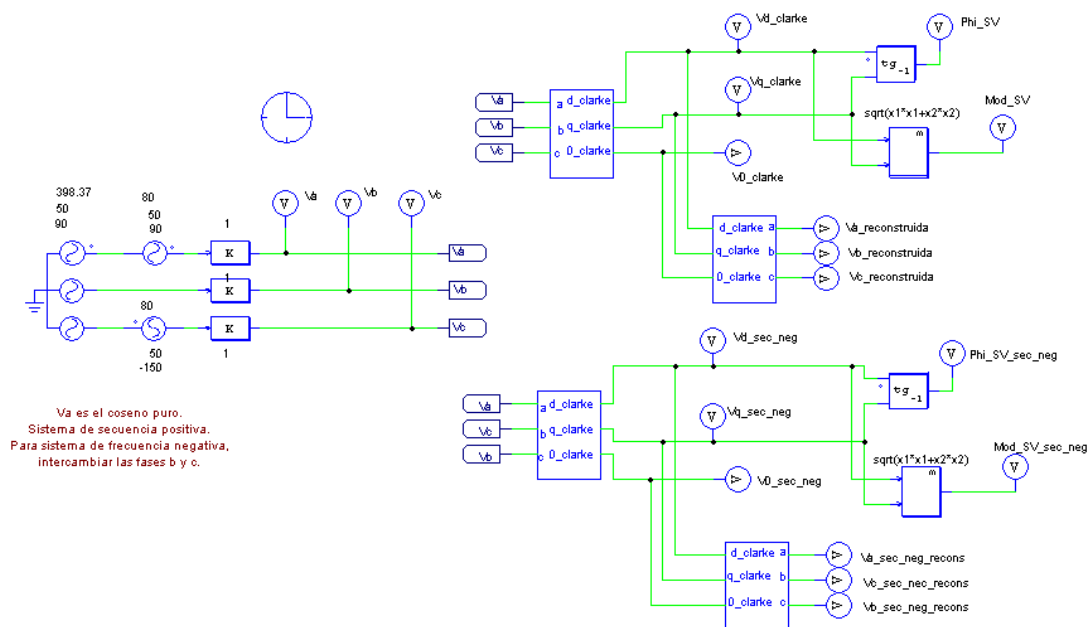


Fig. 1.7. Esquema de simulación PSIM de la transformada de Clarke y su inversa con desequilibrios en el sistema trifásico. Sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

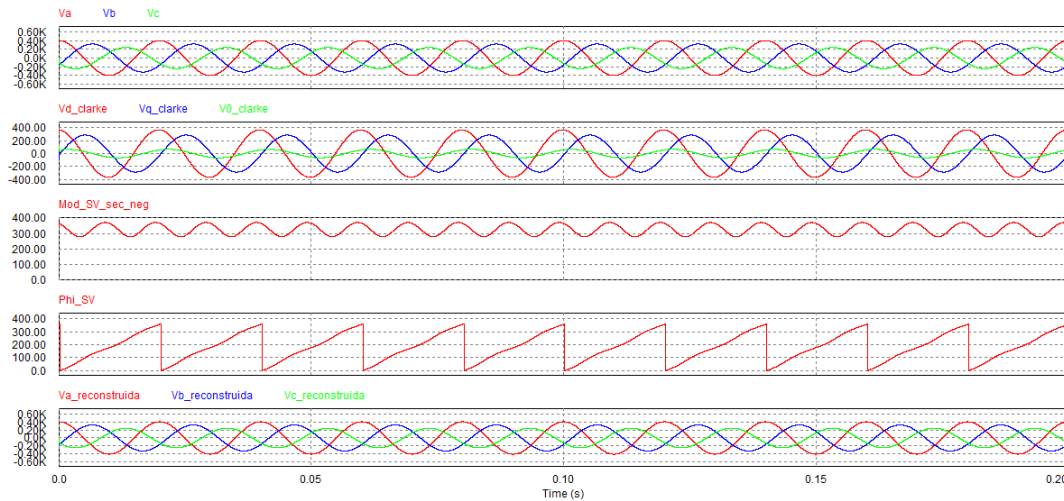


Fig. 1.8. Simulación PSIM de la transformada de Clarke y de su inversa de un sistema trifásico de secuencia positiva con desequilibrios.

1.4. La transformada de Clarke con distorsiones. Añadir una distorsión de 5º armónico (secuencia negativa) y de 7º armónico (secuencia positiva) al sistema trifásico según la ecuación (1.8).

$\vec{V} = \sqrt{2} \cdot 230 \cdot \begin{bmatrix} \cos(\omega_e \cdot t) \\ \cos\left(\omega_e \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\omega_e \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} + 70 \cdot \begin{bmatrix} \cos(5 \cdot \omega_e \cdot t) \\ \cos\left(5 \cdot \omega_e \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(5 \cdot \omega_e \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} + 50 \cdot \begin{bmatrix} \cos(7 \cdot \omega_e \cdot t) \\ \cos\left(7 \cdot \omega_e \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(7 \cdot \omega_e \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix}$	(1.8)
---	--------------

- 1.- Comprobar mediante PSIM el correcto funcionamiento de la transformada de Clarke y de su inversa.
- 2.- Representar mediante PSIM el módulo del SV, $\hat{F}_{SV}(t)$, y su fase (o argumento), $\phi_{SV}(t)$. Razonar los fenómenos observados.
- 3.- Repetir el apartado 2 para el sistema de secuencia negativa.

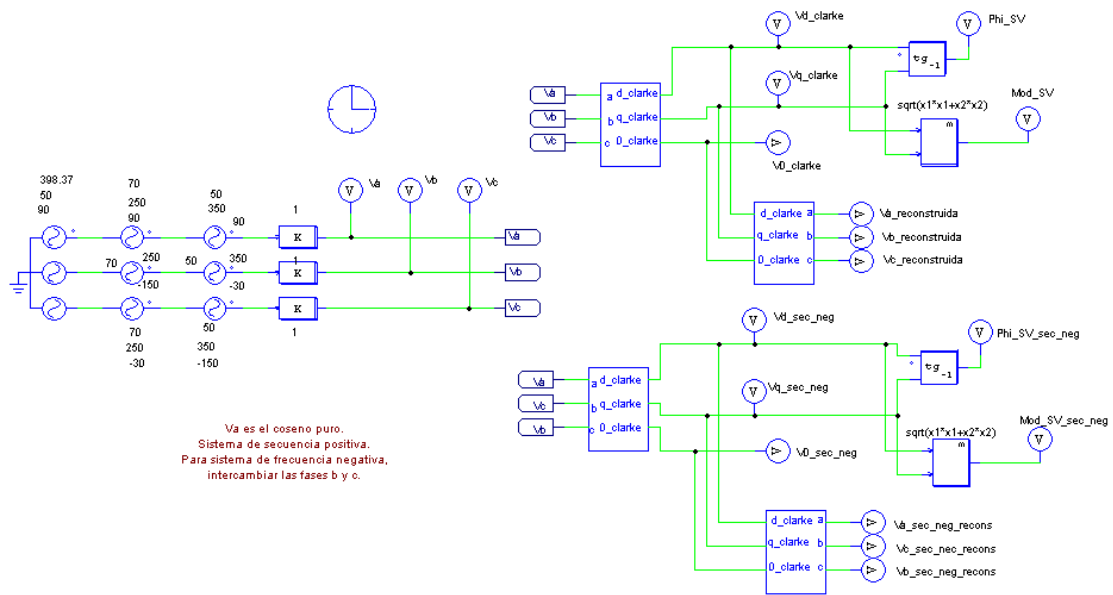


Fig. 1.9. Esquema de simulación PSIM de la transformada de Clarke y su inversa con distorsión de 5º y 7º armónico en el sistema trifásico. Sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

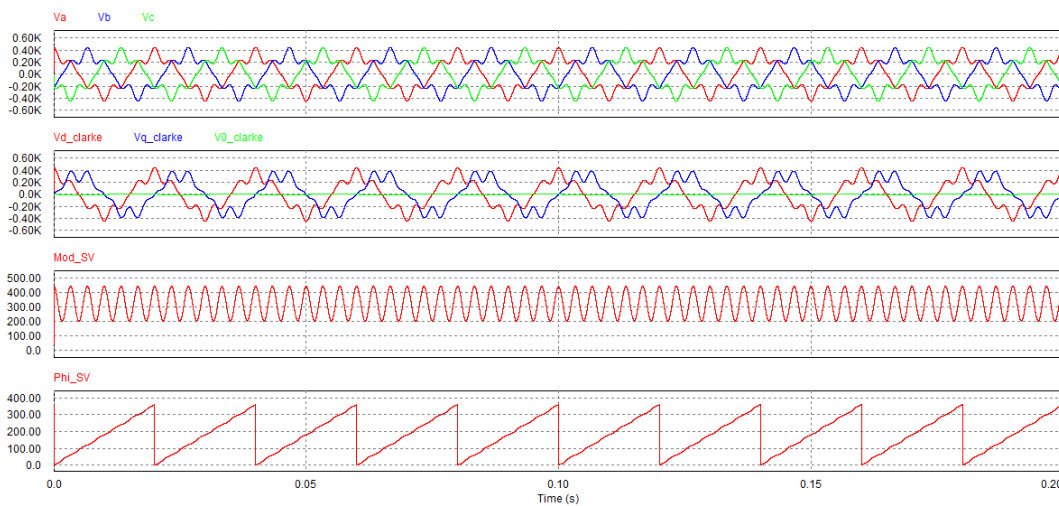


Fig. 1.10. Simulación PSIM de la transformada de Clarke y de su inversa de un sistema trifásico de secuencia positiva con distorsión de 5º y 7º armónico.

2. Subcircuito PSIM para la generación de vectores en un sistema de referencia síncrono de velocidad angular arbitraria ω : Transformada de Park

2.1. Un sistema trifásico en coordenadas a,b,c fijas (estacionarias) se puede representar en unas coordenadas rotatorias de velocidad angular ω mediante la transformada de Park de la ecuación (1.9). En esta ecuación, $\theta(t)$ es el ángulo de la transformación de Park. La figura 1.11 muestra la transformación de un sistema en coordenadas a,b,c estacionarias, el vector resultante de su transformación de Clarke en coordenadas dq estacionarias (dq^s) y su representación en ejes dq rotatorios (dq^ω). La ecuación (1.10) muestra la relación entre el vector en ejes estacionarios y en ejes rotatorios.

$\begin{bmatrix} f_d^\omega \\ f_q^\omega \\ f_0^\omega \end{bmatrix} = [T(\theta)] \cdot \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (1.9)$ $\omega = \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \theta = \theta(t) = \theta(0) + \int_0^t \omega(\tau) d\tau$	
$\begin{aligned} \vec{f}_{dq}^\omega &= e^{-j\cdot\theta} \cdot \vec{f}_{dq}^s = (\cos \theta - j \cdot \sin \theta) \cdot (f_d^s + j \cdot f_q^s) = \\ &= \underbrace{f_d^s \cdot \cos \theta + f_q^s \cdot \sin \theta}_{f_d^\omega} + j \cdot \underbrace{(f_q^s \cdot \cos \theta - f_d^s \cdot \sin \theta)}_{f_q^\omega} = f_d^\omega + j \cdot f_q^\omega \end{aligned} \quad (1.10)$	

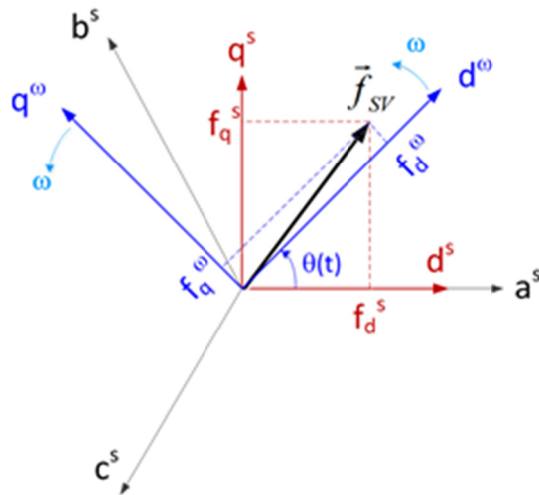


Fig.1.11. Transformada de Clarke y Park de un sistema trifásico en coordenadas a,b,c fijas.

1.- Crear mediante el menú “*Subcircuit*” del PSIM un subcircuito con 4 entradas (a,b,c y Theta) y 3 salidas (d_park, q_park, 0_park) para el cálculo de la transformada de Park.

2.- Probar el circuito creado sobre el sistema trifásico de tensiones con secuencia positiva dado por la ecuación (1.5), donde la frecuencia eléctrica vale $f_e=50$ Hz. Crear un ángulo para la transformada de Park como: $\theta(t)=2\pi \cdot f_e \cdot t$. Utilizar para ello un integrador con reset (*internal resettable integrator* del PSIM) cuyo valor de salida varíe entre 0 y 2π en un periodo $T_e=1/f_e$ si $f_e>0$. Si $f_e<0$, la salida debe variar entre 0 y -2π en un periodo $T_e=1/f_e$. La entrada del integrador con reset será una fuente de tensión cuyo valor vale f_e . Representar las salidas de la transformada de Park del sistema de secuencia positiva. Comprueba la relación que existe entre la fase del vector de Park, $\Phi=\arctg(Vq/Vd)$, y los valores obtenidos por simulación.

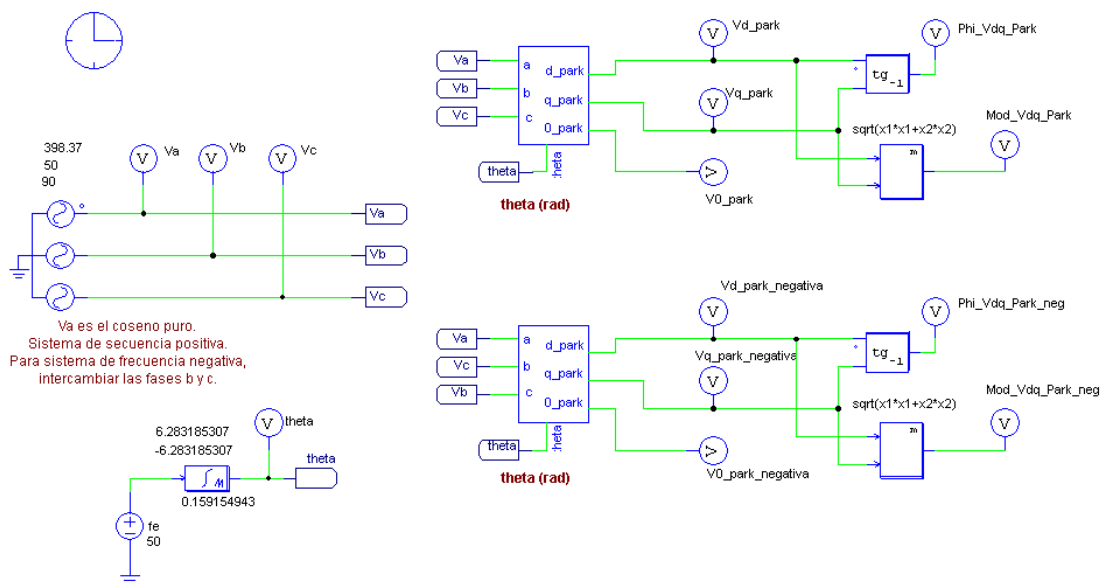


Fig.1.12. Circuito PSIM para la simulación de la transformada de Park de un sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

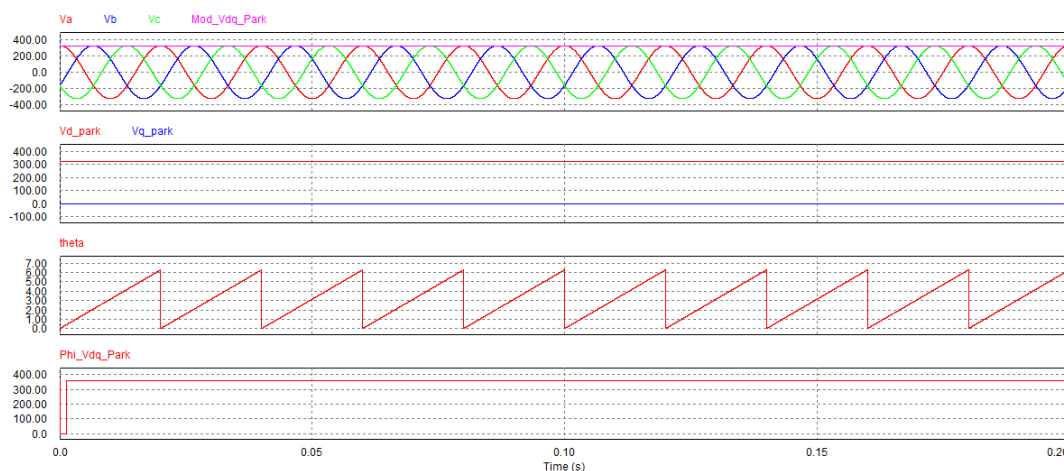


Fig.1.13. Resultados de simulación de la transformada de Park de un sistema trifásico de secuencia positiva.

- 3.- Se cambia la fase inicial del sistema trifásico de secuencia positiva (fase de la fuente trifásica del PSIM), de manera que la fase 'a' valga: $V_a(t)=V_{pico}\cdot\cos(2\pi\cdot f_e\cdot t-\pi/2)$ y $V_a(t)=V_{pico}\cdot\cos(2\pi\cdot f_e\cdot t-\pi/4)$. Representa las formas de onda resultantes en ambos casos y razona los cambios observados. ¿Qué se observa si en el sistema de secuencia positiva original se cambia el ángulo de la transformada de Park a $\theta(t)=2\pi\cdot f_e\cdot t+\pi/2$? Representa las formas de onda resultantes y razona las respuestas.
- 4.- En el sistema trifásico de secuencia positiva original se aplica un ángulo de la transformada de Park negativo: $\theta(t)=-2\pi\cdot f_e\cdot t$, lo que equivale a trabajar con una *“transformada de Park de frecuencia negativa”* ($f_e=-50\text{Hz}$). Representa las formas de onda resultantes en ambos y razona los cambios observados.
- 5.- Repetir los puntos 2 al 5 para los mismos sistemas trifásicos, pero de **secuencia negativa**.

2.2. La transformada de Park inversa se puede calcular matricialmente mediante la ecuación (1.11) o vectorialmente mediante (1.12), y permite la representación en coordenadas a,b,c de un SV que trabaja en coordenadas dq ortogonales de Park, que giran a una velocidad arbitraria ω .

$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = [T(\theta)]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} f_d^\omega \\ f_q^\omega \\ f_0^\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\text{sen}\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\text{sen}\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_d^\omega \\ f_q^\omega \\ f_0^\omega \end{bmatrix}$	(1.11)
$f_a = \text{Re}(e^{j\cdot\theta} \cdot \vec{f}_{dq}^\omega) + f_n = \text{Re}(e^{j\cdot\theta} \cdot \vec{f}_{dq}^\omega) + \frac{f_0}{\sqrt{2}}$ $f_b = \text{Re}\left(e^{j\cdot\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right)} \cdot \vec{f}_{dq}^\omega\right) + f_n = \text{Re}\left(e^{j\cdot\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right)} \cdot \vec{f}_{dq}^\omega\right) + \frac{f_0}{\sqrt{2}}$ $f_c = \text{Re}\left(e^{j\cdot\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right)} \cdot \vec{f}_{dq}^\omega\right) + f_n = \text{Re}\left(e^{j\cdot\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right)} \cdot \vec{f}_{dq}^\omega\right) + \frac{f_0}{\sqrt{2}}$ $f_n = \frac{f_0}{\sqrt{2}} = \frac{f_a + f_b + f_c}{3}$	(1.12)

- 1.- Crear un subcircuito de 3 entradas (d_park, q_park, 0_park y theta) y 3 salidas (a, b, c) que calcule la transformada inversa de Clarke.
- 2.- Incorporar el subcircuito creado al esquema de simulación de apartado 2.1 y comprobar que la recuperación en coordenadas a,b,c del sistema trifásico de secuencia positiva y de secuencia negativa a partir del vector de Park se produce adecuadamente. Representar las formas de onda resultantes.

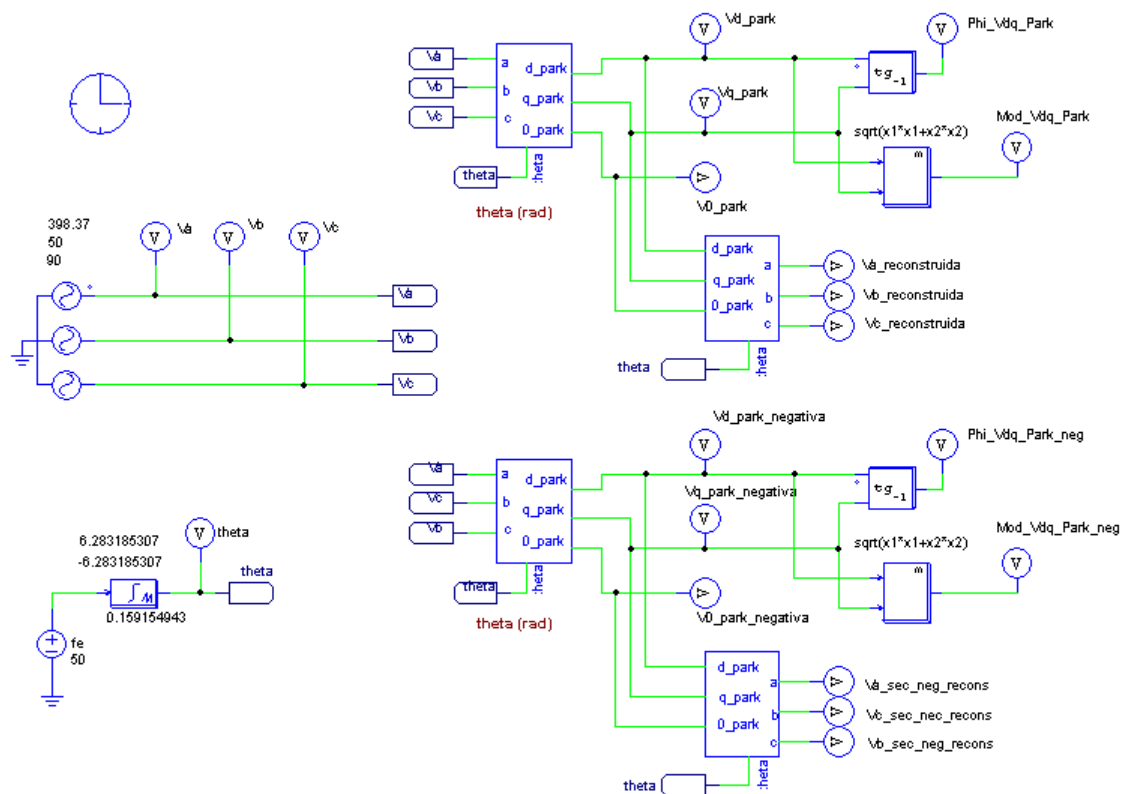


Fig. 1.14. Esquema de simulación PSIM de la transformada de Clarke y su inversa con subcircuitos. Sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

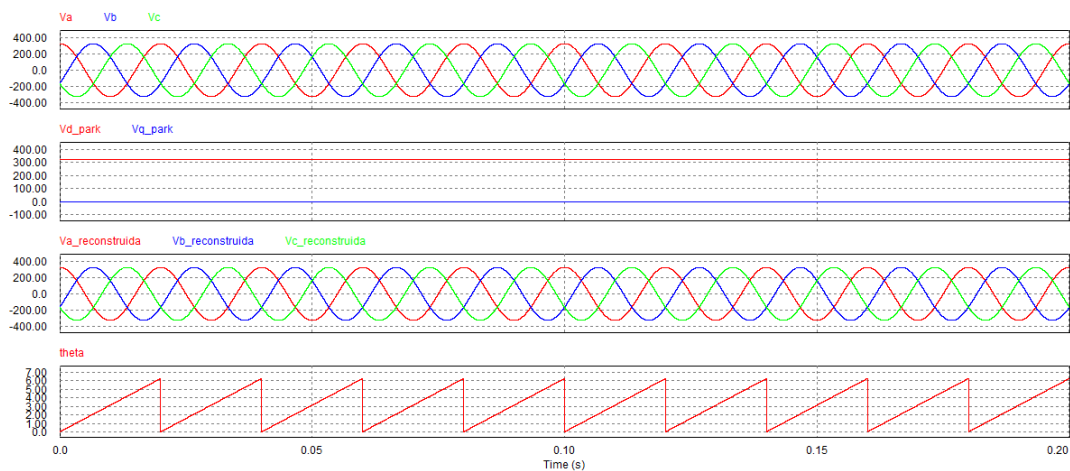


Fig. 1.15. Simulación PSIM de la transformada de Clarke y de su inversa de un sistema trifásico de secuencia positiva.

2.3. La transformada de Park con desequilibrios. Desequilibrar el sistema trifásico original de la siguiente manera: la amplitud de la fase a se incrementa 80V y la de la fase c se decrementa 80V.

- 1.- Comprobar mediante PSIM el correcto funcionamiento de la transformada de Park y de su inversa. Representar las formas de onda resultantes.
- 2.- Representar mediante PSIM el módulo y la fase del vector de Park. Razonar los fenómenos observados.
- 3.- Repetir los apartados 1 y 2 para el sistema de secuencia negativa.

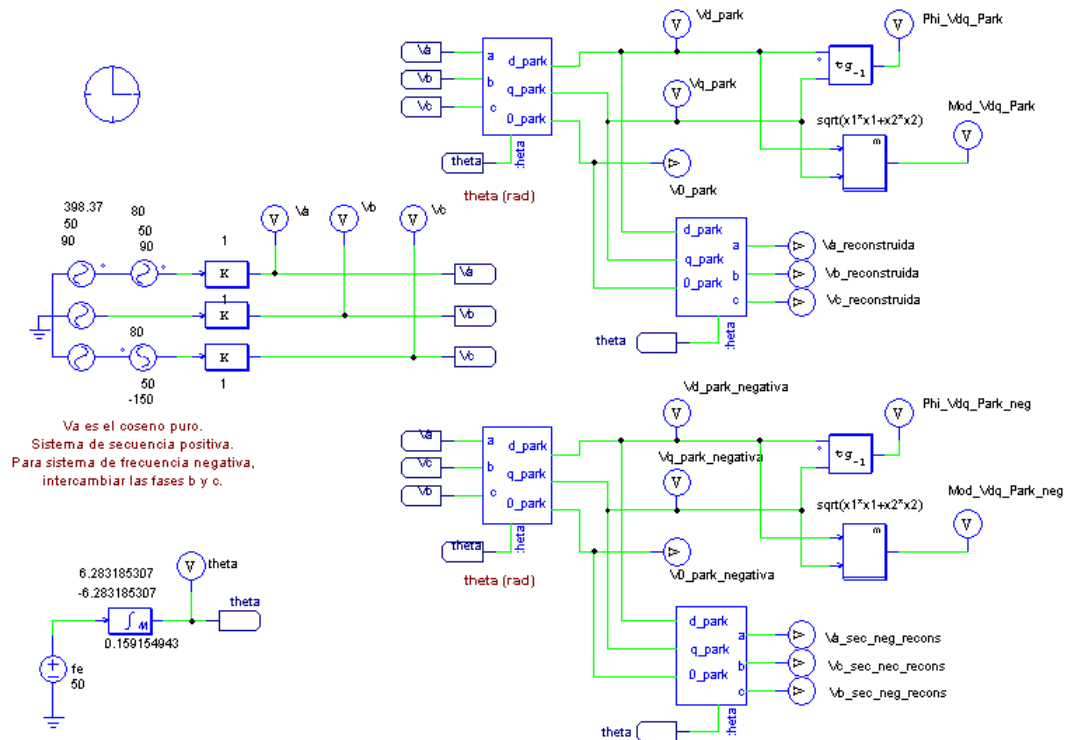


Fig. 1.16. Esquema de simulación PSIM de la transformada de Park y su inversa con desequilibrios en el sistema trifásico. Sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

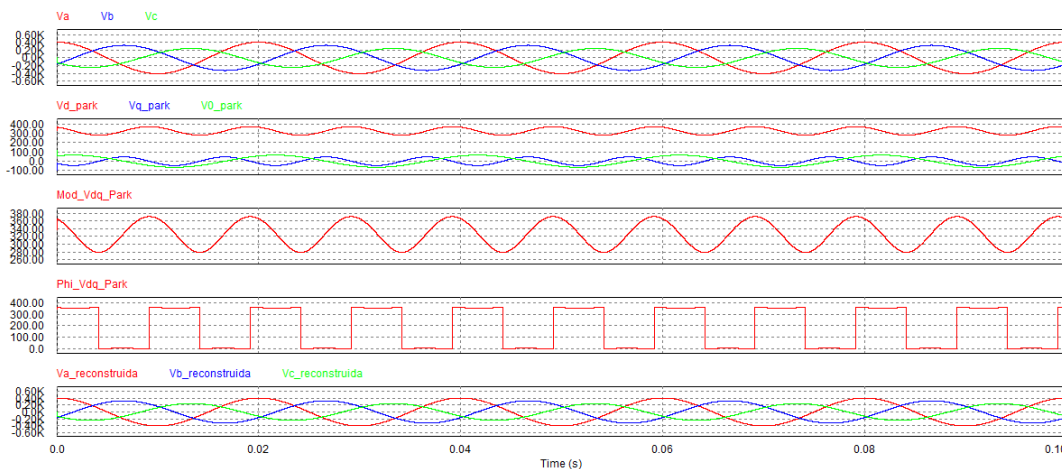


Fig. 1.17. Simulación PSIM de la transformada de Park y de su inversa de un sistema trifásico de secuencia positiva con desequilibrios.

2.4. La transformada de Park con distorsiones. Añadir una distorsión de 5º armónico (secuencia negativa) y de 7º armónico (secuencia positiva) al sistema trifásico según la ecuación (1.8).

- 1.- Comprobar mediante PSIM el correcto funcionamiento de la transformada de Park y de su inversa. Representar las formas de onda.
- 2.- Representar mediante PSIM el módulo y la fase del vector de Park. Razonar los fenómenos observados.
- 3.- Repetir los apartados 1 y 2 para el sistema de secuencia negativa.

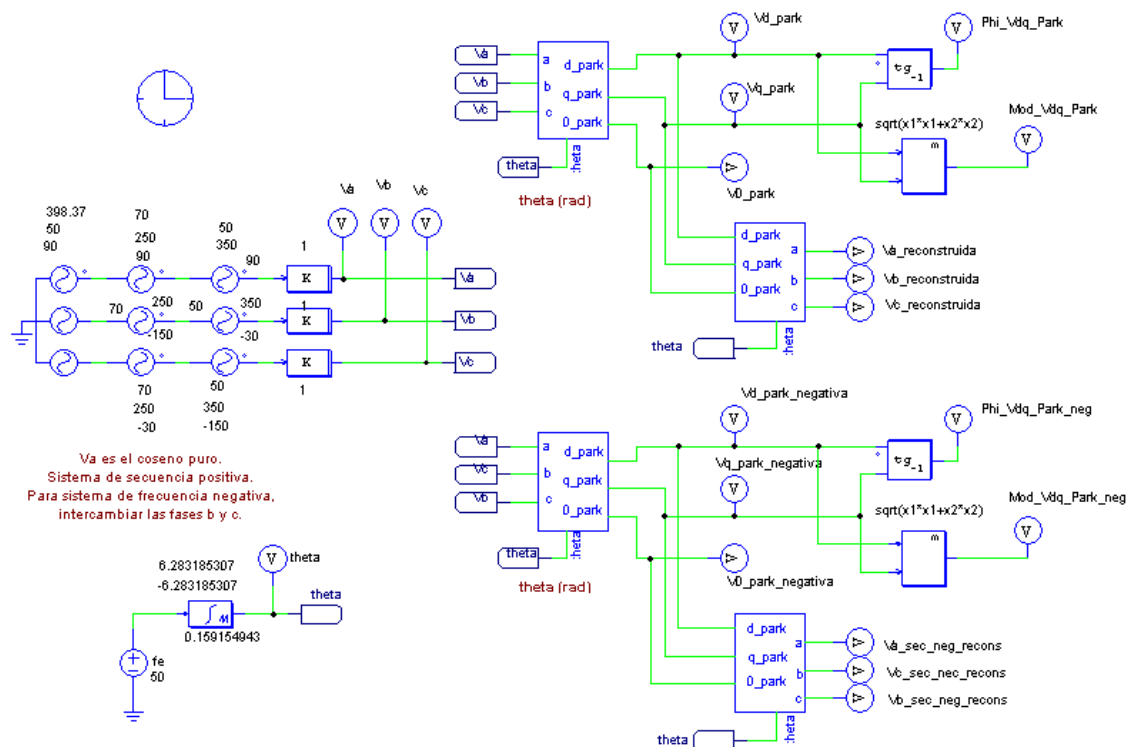


Fig. 1.18. Esquema de simulación PSIM de la transformada de Park y su inversa con distorsión de 5º y 7º armónico en el sistema trifásico. Sistema trifásico de secuencia positiva y negativa.

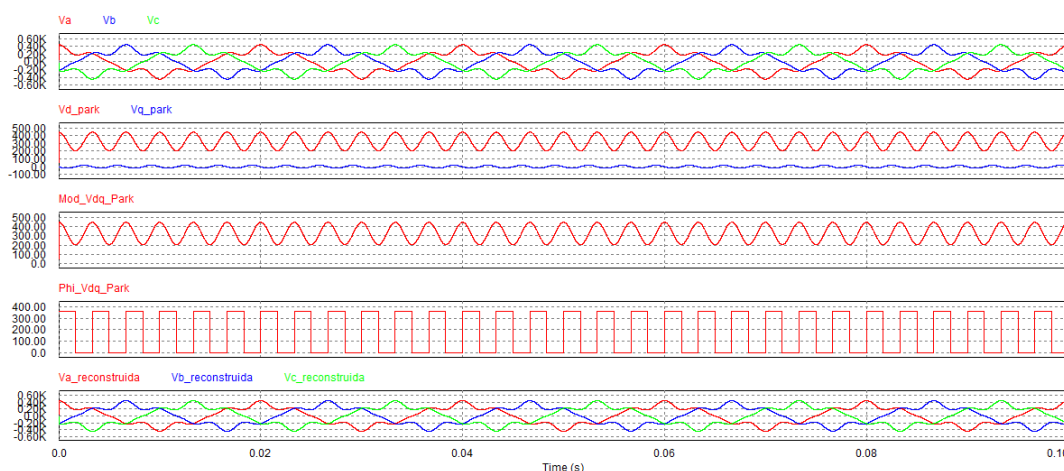


Fig. 1.19. Simulación PSIM de la transformada de Clarke y de su inversa de un sistema trifásico de secuencia positiva con distorsión de 5º y 7º armónico.

3. Subcircuito PSIM para la representación de un vector que gira un marco de referencia de velocidad ω_1 en otro marco de referencia giratorio de velocidad ω_2 : ROTACIÓN en sentido antihorario.

3.1. Un vector representado en un sistema de referencia giratorio dq^{ω_1} (velocidad angular en sentido antihorario ω_1) se puede representar en otro sistema de referencia giratorio dq^{ω_2} (velocidad angular en sentido antihorario ω_2) aplicando la transformación de rotación en sentido antihorario de la ecuación (1.13), donde $\theta(t) = (\omega_2 - \omega_1) \cdot t$ es el **ángulo de la rotación en sentido antihorario**, que pasa del marco giratorio ω_1 al marco ω_2 . Dicha rotación se ilustra en la figura 1.20 y se puede calcular vectorialmente según la ecuación (1.14). En esta ecuación, $\theta(t)$ es el ángulo de la transformación de Park. La figura 1.11 muestra la transformación de un sistema en coordenadas a,b,c estacionarias, el vector resultante de su transformación de Clarke en coordenadas dq estacionarias (dq^s) y su representación en ejes dq rotatorios (dq^{ω}). La ecuación (1.10) muestra la relación entre el vector en ejes estacionarios y en ejes rotatorios.

$\begin{bmatrix} f_d^{\omega_2} \\ f_q^{\omega_2} \\ f_0^{\omega_2} \end{bmatrix} = [R(\beta)] \cdot \begin{bmatrix} f_d^{\omega_1} \\ f_q^{\omega_1} \\ f_0^{\omega_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_d^{\omega_1} \\ f_q^{\omega_1} \\ f_0^{\omega_1} \end{bmatrix}$ $\beta = \beta(t) = \theta_2(t) - \theta_1(t) = \omega_2 \cdot t - \omega_1 \cdot t = (\omega_2 - \omega_1) \cdot t$	(1.13)
$\vec{f}_{dq}^{\omega_2}(t) = e^{-j \cdot \beta} \cdot f_d^{\omega_1}(t) = e^{-j \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \cdot f_d^{\omega_1}(t) = e^{-j \cdot (\omega_2 - \omega_1) \cdot t} \cdot f_d^{\omega_1}(t)$	(1.14)

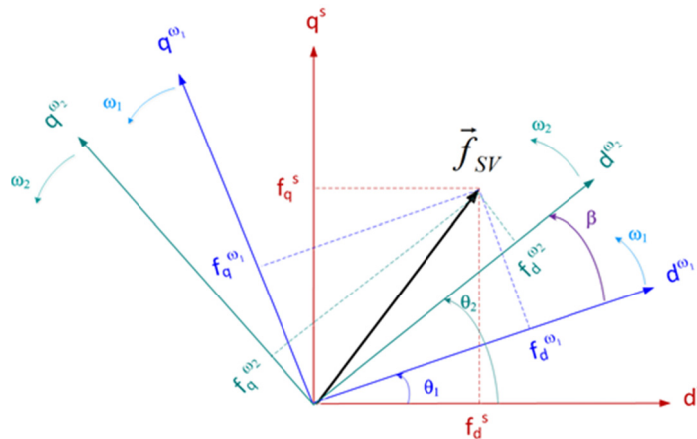


Fig.1.20. Rotación de un vector. Transformación de un marco de referencia móvil a otro.

1.- Crear mediante el menú “*Subcircuit*” del PSIM un subcircuito con 4 entradas (d_w1, q_w1, 0_w1 y Beta) y 3 salidas (d_w2, q_w2, 0_w2) para el cálculo de la rotación antihoraria (**operación vectorial: $e^{-j\beta}$**). **NOTA: Si el valor de $\beta < 0$, la rotación sería en sentido horario.**

2.- Probar el subcircuito creado sobre el sistema trifásico de tensiones con secuencia positiva dado por la ecuación (1.5), donde la frecuencia eléctrica vale $f_e = 50$ Hz. Aplicar la rotación sobre el vector de Clarke (el SV) del sistema de secuencia positiva, con $\beta(t) = 2\pi \cdot f_e \cdot t$. Representar las salidas de la transformada de Clarke y de la rotación (V_{d_w2} y V_{q_w2}). Repasar el apartado 2.1 y razonar la relación entre la rotación obtenida y la transformada de Park.

3.- Repetir el punto 2 con una rotación en sentido horario: $\beta(t) = -2\pi \cdot f_e \cdot t$. Razona los resultados obtenidos.

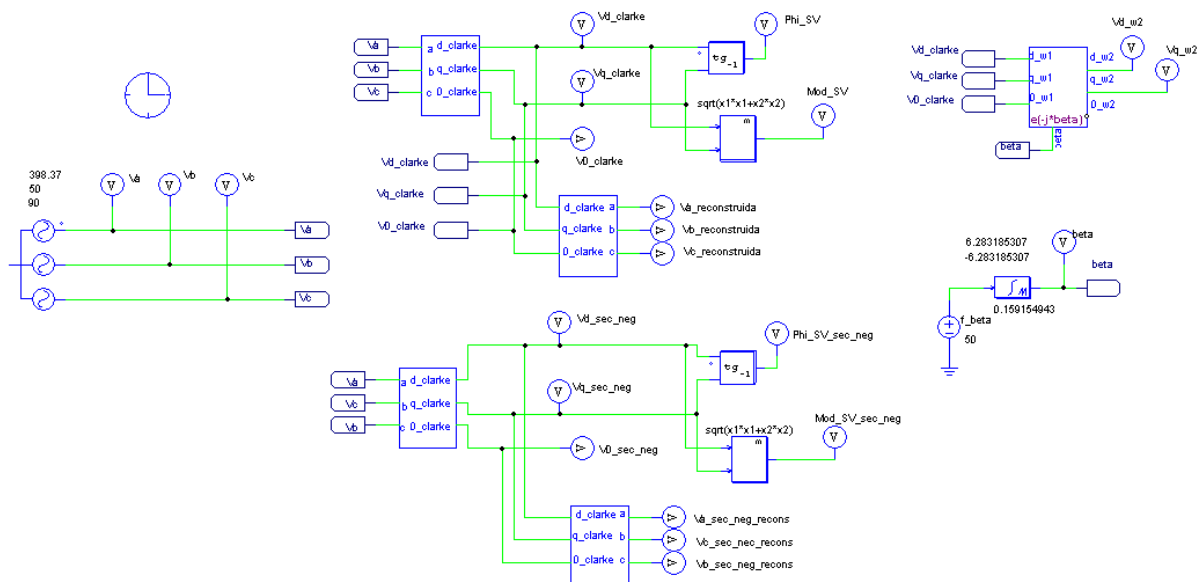


Fig.1.21. Rotación del vector de Clarke.

4.- Supongamos que en un motor de inducción una variable trifásica de rotor de secuencia positiva se puede representar según la ecuación (1.5), pero con una frecuencia igual a la frecuencia de deslizamiento, $f_{slip} = 0,5$ Hz. Tener en cuenta que el vector de Clarke de esta variable de rotor gira en unos ejes móviles, cuya velocidad es la velocidad angular eléctrica del rotor (ω_r). Si el deslizamiento vale $S = 0.01$ (1%), calcular y aplicar la rotación que sea necesaria para que las componentes resultantes de la rotación (V_{d_w2} y V_{q_w2}) sobre el vector de Clarke sean magnitudes DC. Representar las formas de onda resultantes de la simulación.