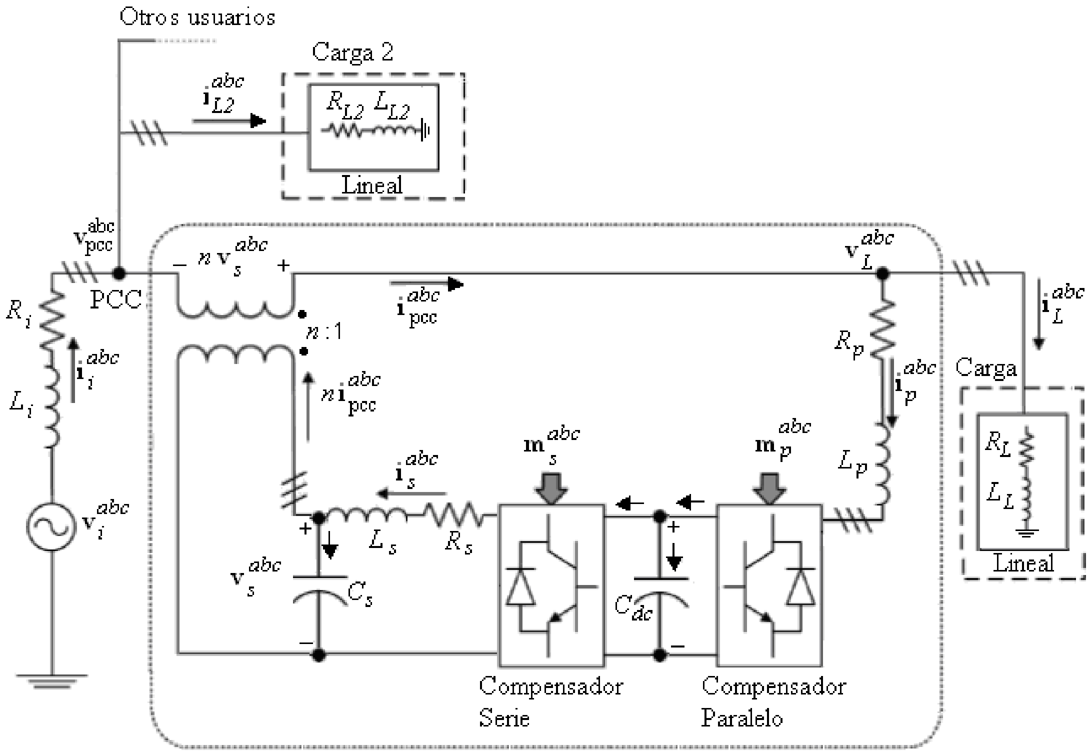
UPQC Trifásico

Las variables de estado no son evidentes. Se comienza por las corrientes de los inductores y los voltajes de los condensadores. Éstas son,

$i_i, i_s, v_{dc}, i_p, i_l, i_{l2}$

sin embargo; la corriente i_{l2} no lo es, pues es l.d. de las otras corrientes. Se plantean las ecuaciones en forma de Leyes de voltaje y corrientes.



$$T = \frac{1}{3}\cdot\begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix}$$

Given

$$v_i = R_i\cdot i_i + L_i\cdot di_i + R_{l2}\cdot\left(i_i - i_p - i_l\right) + L_{l2}\cdot\left(di_i - di_p - di_l\right)$$

$$v_i = R_i\cdot i_i + L_i\cdot di_i - n\cdot v_s + R_l\cdot i_l + L_l\cdot di_l$$

$$T\cdot s_p\cdot v_{dc} + R_p\cdot i_p + L_p\cdot di_p = R_l\cdot i_l + L_l\cdot di_l$$

$$T\cdot s_s\cdot v_{dc} = R_s\cdot i_s + L_s\cdot di_s + v_s$$

$$i_s = C_s\cdot dv_s + n\cdot\left(i_p + i_l\right)$$

$$T\cdot s_p\cdot i_p = C_{dc}\cdot dv_{dc} + T\cdot s_s\cdot i_s$$

Objetivos:

Regular la tensión rms de la carga, ajustar el factor de potencia en el PCC.

Restricción:

La tensión en el enlace debe ser constante (con esto hay tres salidas).

Grado de Libertad:

Como hay cuatro entradas, una salida extra es la fase de la tensión de salida respecto de la tensión del PCC. Con esto hay cuatro salidas.

Se obtienen las derivadas de las variables de estado para generar el modelo dinámico.

$$Sol := \mathrm{Find}(di_i, di_s, di_p, di_l, dv_s, dv_{dc}) \rightarrow \left(\begin{array}{c} \dfrac{v_i \cdot L_p \cdot L_l + v_i \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot v_i - R_i \cdot i_i \cdot L_p \cdot L_l - R_i \cdot i_i \cdot L_{l2} \cdot L_l - L_p \cdot L_{l2} \cdot R_i \cdot i_i + n \cdot v_s \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot n \cdot v_s - L_p \cdot L_{l2} \cdot R_l \cdot i_l - L_l \cdot L_{l2} \cdot T}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \\ \dfrac{T \cdot s_s \cdot v_{dc} - R_s \cdot i_s - v_s}{L_s} \\ \dfrac{-T \cdot s_p \cdot v_{dc} \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot L_{l2} \cdot T \cdot s_p \cdot v_{dc} - L_{l2} \cdot T \cdot s_p \cdot v_{dc} \cdot L_i - R_p \cdot i_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot L_{l2} \cdot R_p \cdot i_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot i_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_l \cdot i_l \cdot L_i + n \cdot v_s \cdot L_i \cdot L_l + v_i \cdot L_{l2} \cdot L}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \\ \dfrac{L_p \cdot L_i \cdot n \cdot v_s - L_p \cdot L_i \cdot R_l \cdot i_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot v_i - L_p \cdot L_{l2} \cdot R_i \cdot i_i + L_p \cdot L_{l2} \cdot n \cdot v_s - L_p \cdot L_{l2} \cdot R_l \cdot i_l + L_{l2} \cdot T \cdot s_p \cdot v_{dc} \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot i_p \cdot L_i - }{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \\ \dfrac{i_s - n \cdot i_p - n \cdot i_l}{C_s} \\ -T \cdot \dfrac{-i_p \cdot s_p + s_s \cdot i_s}{C_{dc}} \end{array} \right.$$

$$Sol_1 \left| \begin{array}{l} \text{collect}, v_{dc} \\ \text{collect}, i_i \\ \text{collect}, i_s \\ \text{collect}, i_p \\ \text{collect}, i_l \\ \text{collect}, v_s \\ \text{collect}, v_i \end{array} \right. \rightarrow \frac{L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot v_i + \frac{L_{l2} \cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2} \cdot L_l}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot v_s + \frac{-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot i_l + \frac{-}{\mathrm{I}}$$

$$Sol_2 \left| \begin{array}{l} \text{collect}, v_{dc} \\ \text{collect}, i_i \\ \text{collect}, i_s \\ \text{collect}, i_p \\ \text{collect}, i_l \\ \text{collect}, v_s \\ \text{collect}, v_i \end{array} \right. \rightarrow \frac{-R_s}{L_s} \cdot i_s + T \cdot \frac{s_s}{L_s} \cdot v_{dc} - \frac{v_s}{L_s}$$

$$Sol_3 \left| \begin{array}{l} \text{collect}, v_{dc} \\ \text{collect}, i_i \\ \text{collect}, i_s \\ \text{collect}, i_p \\ \text{collect}, i_l \\ \text{collect}, v_s \\ \text{collect}, v_i \end{array} \right. \rightarrow \frac{n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2} \cdot L_l}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot v_s + \frac{L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot i_l + \frac{-L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot i_p +$$

$$Sol_4 \left| \begin{array}{l} \text{collect}, v_{dc} \\ \text{collect}, i_i \\ \text{collect}, i_s \\ \text{collect}, i_p \\ \text{collect}, i_l \\ \text{collect}, v_s \\ \text{collect}, v_i \end{array} \right. \rightarrow \frac{L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2} \cdot L_p \cdot n}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot v_s + \frac{-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l - R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot i_l + \frac{-R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l \cdot L_i + L_{l2} \cdot L_p \cdot L_i} \cdot i_p +$$

$$Sol_5 \left| \begin{array}{l} \text{collect}, v_{dc} \\ \text{collect}, i_i \\ \text{collect}, i_s \\ \text{collect}, i_p \\ \text{collect}, i_l \\ \text{collect}, v_s \\ \text{collect}, v_i \end{array} \right. \rightarrow \frac{-n}{C_s} \cdot i_p + \frac{1}{C_s} \cdot i_s - n \cdot \frac{i_l}{C_s}$$

$$Sol_6 \left| \begin{array}{l} \text{collect}, v_{dc} \\ \text{collect}, i_i \\ \text{collect}, i_s \\ \text{collect}, i_p \\ \text{collect}, i_l \\ \text{collect}, v_s \\ \text{collect}, v_i \end{array} \right. \rightarrow -T \cdot \frac{s_s}{C_{dc}} \cdot i_s + T \cdot s_p \cdot \frac{i_p}{C_{dc}}$$

Las Ecuaciones de Estado en abc

$$\frac{di_i}{dt} = \begin{bmatrix} \left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right) \cdot v_i + \left(n \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p \cdot n\right) \cdot v_s + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p\right) \cdot i_l + \left(L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p\right) \cdot i_p \;\dots \\ + \left(-L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i - R_i \cdot L_p \cdot L_l\right) \cdot i_i - L_{l2} \cdot L_l \cdot T \cdot s_p \cdot v_{dc} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{L_T}$$

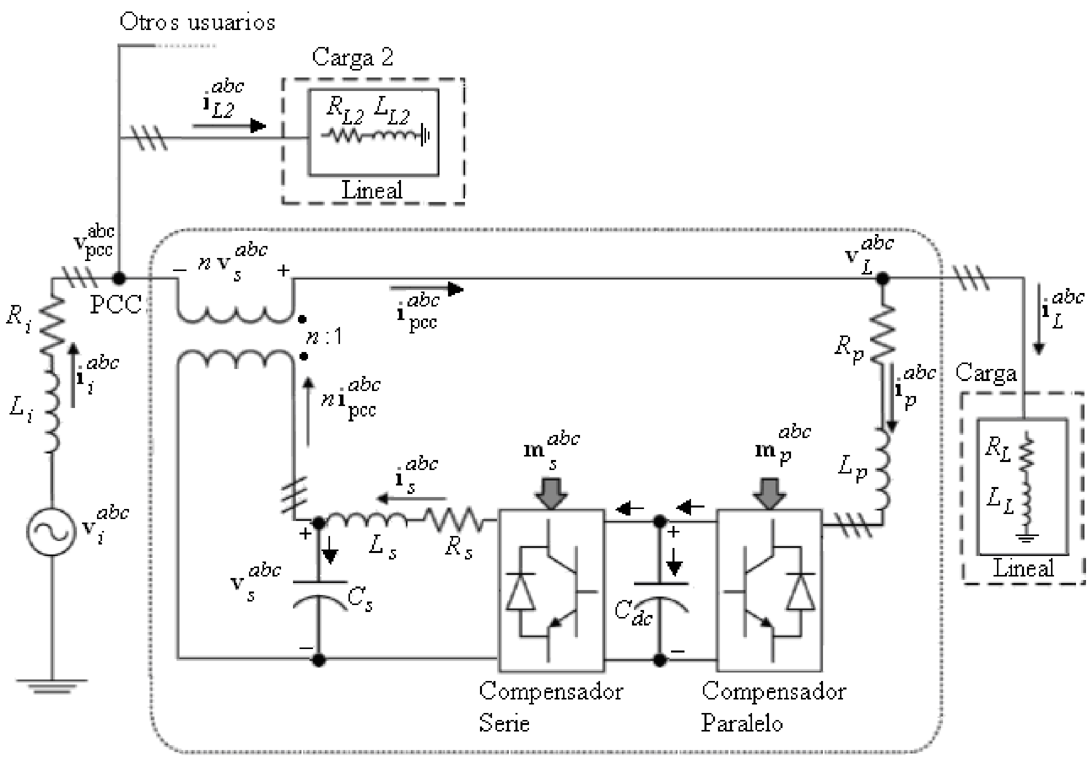
$$\frac{di_s}{dt} = \left(-R_s \cdot i_s + T \cdot s_s \cdot v_{dc} - v_s\right) \cdot \frac{1}{L_s}$$

$$\frac{di_p}{dt} = \begin{bmatrix} \left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_s + \left(L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_l + \left(-L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_p \;\dots \\ + \left(-R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_i + \left(-L_{l2} \cdot L_l \cdot T \cdot s_p - L_{l2} \cdot T \cdot s_p \cdot L_i - T \cdot s_p \cdot L_i \cdot L_l\right) \cdot v_{dc} + v_i \cdot L_{l2} \cdot L_l \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{di_l}{dt} = \begin{bmatrix} \left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2} \cdot L_p \cdot n\right) \cdot v_s + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l - R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_l + \left(-R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i\right) \cdot i_p \;\dots \\ + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i + R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_i + L_{l2} \cdot T \cdot s_p \cdot L_i \cdot v_{dc} + L_p \cdot L_{l2} \cdot v_i \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{dv_s}{dt} = \left(-n \cdot i_p + i_s - n \cdot i_l\right) \cdot \frac{1}{C_s}$$

$$\frac{dv_{dc}}{dt} = \left(-T \cdot s_s \cdot i_s + T \cdot s_p \cdot i_p\right) \cdot \frac{1}{C_{dc}}$$



Las Ecuaciones de Estado en dq0 para la Componente Fundamental. Nótese que son 11 ecuaciones.

$$\frac{di_{id}}{dt} = w_s \cdot i_{iq} + \left[\begin{array}{l}\left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right) \cdot v_{id} + \left(L_{l2} \cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sd} + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p\right) \cdot i_{ld} + \left(L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p\right) \cdot i_{pd} \cdots \\ + \left(-L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i - R_i \cdot L_p \cdot L_l\right) \cdot i_{id} - L_{l2} \cdot L_l \cdot m_{pd} \cdot v_{dc}\end{array}\right] \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{di_{iq}}{dt} = -w_s \cdot i_{id} + \left[\begin{array}{l}\left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right) \cdot v_{iq} + \left(L_{l2} \cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sq} + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p\right) \cdot i_{lq} + \left(L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p\right) \cdot i_{pq} \cdots \\ + \left(-L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i - R_i \cdot L_p \cdot L_l\right) \cdot i_{iq} - L_{l2} \cdot L_l \cdot m_{pq} \cdot v_{dc}\end{array}\right] \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{di_{sd}}{dt} = w_s \cdot i_{sq} + \left(-R_s \cdot i_{sd} + m_{sd} \cdot v_{dc} - v_{sd}\right) \cdot \frac{1}{L_s}$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = -w_s \cdot i_{sd} + \left(-R_s \cdot i_{sq} + m_{sq} \cdot v_{dc} - v_{sq}\right) \cdot \frac{1}{L_s}$$

$$\frac{di_{pd}}{dt} = w_s \cdot i_{pq} + \left[\begin{array}{l}\left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sd} + \left(L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{ld} + \left(-L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{pd} \cdots \\ + \left(-R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{id} + \left(-L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_i - L_i \cdot L_l\right) \cdot m_{pd} \cdot v_{dc} + v_{id} \cdot L_{l2} \cdot L_l\end{array}\right] \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{di_{pq}}{dt} = -w_s \cdot i_{pd} + \left[\begin{array}{l}\left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sq} + \left(L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{lq} + \left(-L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{pq} \cdots \\ + \left(-R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{iq} + \left(-L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_i - L_i \cdot L_l\right) \cdot m_{pq} \cdot v_{dc} + v_{iq} \cdot L_{l2} \cdot L_l\end{array}\right] \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{di_{ld}}{dt} = w_s \cdot i_{lq} + \left[\begin{array}{l}\left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2} \cdot L_p \cdot n\right) \cdot v_{sd} + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l - R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{ld} + \left(-R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i\right) \cdot i_{pd} \cdots \\ + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i + R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{id} + L_{l2} \cdot m_{pd} \cdot L_i \cdot v_{dc} + L_p \cdot L_{l2} \cdot v_{id}\end{array}\right] \cdot \frac{1}{L_T}$$

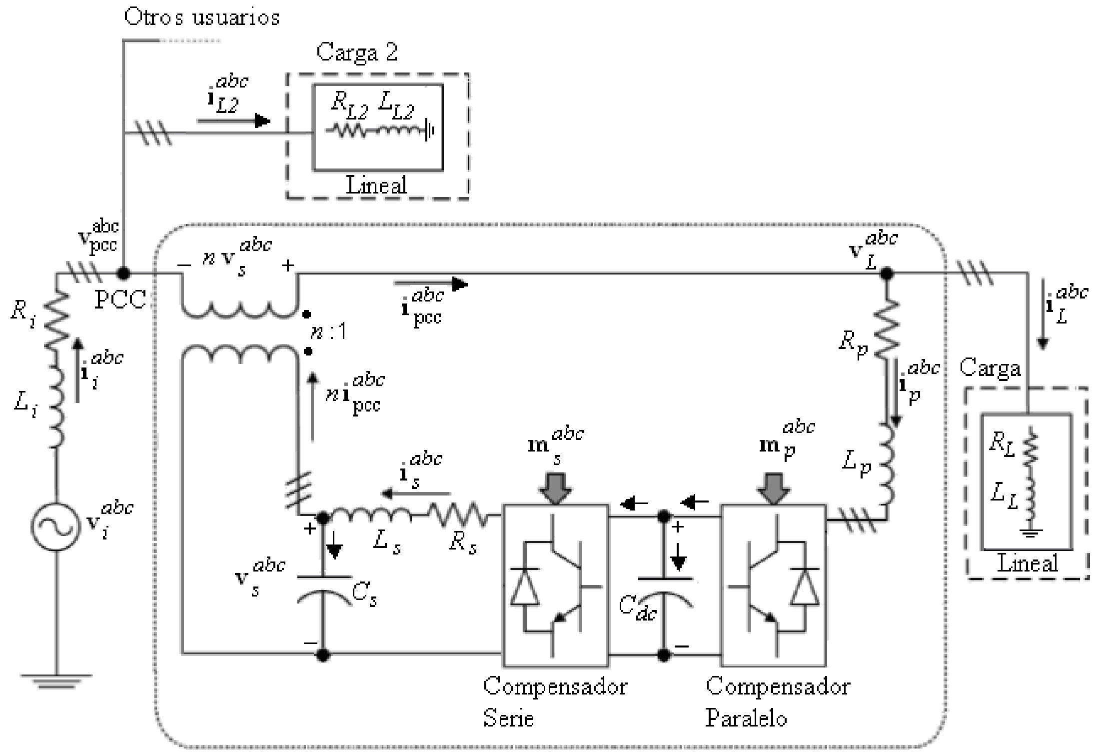
$$\frac{di_{lq}}{dt} = -w_s \cdot i_{ld} + \left[\begin{array}{l}\left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2} \cdot L_p \cdot n\right) \cdot v_{sq} + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l - R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{lq} + \left(-R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i\right) \cdot i_{pq} \cdots \\ + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i + R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{iq} + L_{l2} \cdot m_{pq} \cdot L_i \cdot v_{dc} + L_p \cdot L_{l2} \cdot v_{iq}\end{array}\right] \cdot \frac{1}{L_T}$$

$$\frac{dv_{sd}}{dt} = w_s \cdot v_{sq} + \left(-n \cdot i_{pd} + i_{sd} - n \cdot i_{ld}\right) \cdot \frac{1}{C_s}$$

$$\frac{dv_{sq}}{dt} = -w_s \cdot v_{sd} + \left(-n \cdot i_{pq} + i_{sq} - n \cdot i_{lq}\right) \cdot \frac{1}{C_s}$$

$$\frac{dv_{dc}}{dt} = \left[-\left(m_{sd} \cdot i_{sd} + m_{sq} \cdot i_{sq}\right) + \left(m_{pd} \cdot i_{pd} + m_{pq} \cdot i_{pq}\right)\right] \cdot \frac{1}{C_{dc}}$$

Caso I: Se obtienen las 11 variables de estado para un set de entradas arbitrarias.



Los parámetros del sistema son:

R_i L_i R_s L_s C_s R_p L_p n C_{dc}

R_l L_l **son perturbaciones.**

v_i es constante, pues la tensión en el PCC cambia por los cambios en R_{l2}, L_{l2}.

R_{l2} L_{l2} **son perturbaciones.**

Las 11 ecuaciones permiten encontrar el valor de las 11 variables de estado. Para esto todas las cantidades involucradas en las ecuaciones deben tener valores conocidos, en particular los parámetros, las perturbaciones y las entradas: m_{sd}, m_{sq}, m_{pd} y m_{pq}.

Tensión de Generación

$V_{i\_rms} := 220$ $\quad v_{id} := V_{i\_rms}\cdot\sqrt{3}$

$f := 50$ $\quad v_{iq} := 0$

$w_s := 2\cdot\pi\cdot f$

Transformador

$n := 1$

Enlace

$C_{dc} := 0.36$

Filtro Convertidor Paralelo

$R_p := 1$

$L_p := 10\cdot 10^{-3}$

Filtro Convertidor Serie

$R_s := 1\cdot 10^{-3}$ $\quad L_s := 15\cdot 10^{-3}$

$C_s := 12\cdot 10^{-6}$

Impedancia de Línea

$R_i := 1\cdot 10^{-3}$

$L_i := 1\cdot 10^{-3}$

Carga Principal

$V_{l\_rms} := 220$

$S_l := 3\cdot 10^{3}$ $\quad fp_l := 0.8$

$P_l := S_l\cdot fp_l$ $\quad \phi_l := \mathrm{acos}(fp_l)$

$I_{l\_rms} := \dfrac{P_l}{3\cdot V_{l\_rms}\cdot fp_l}$ $\quad Z_l := \dfrac{V_{l\_rms}}{I_{l\_rms}}$

$R_l := Z_l\cdot fp_l$ $\quad L_l := \tan(\phi_l)\cdot\dfrac{R_l}{w_s}$

$R_l = 38.72$ $\quad L_l\cdot 10^{3} = 92.437$

Entradas Arbitrarias

$\begin{pmatrix} m_{sd} & m_{sq} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 20.738 & -46.74 \end{pmatrix}\cdot 10^{-3}$

$\begin{pmatrix} m_{pd} & m_{pq} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 507.037 & -110.352 \end{pmatrix}\cdot 10^{-3}$

Carga Secundaria

$R_{l2} := 8.719$

$L_{l2} := 20.816\cdot 10^{-3}$

Caso I. Se encuentra el Punto de Operación

$$\left(i_{id}\ \ i_{iq}\ \ i_{sd}\ \ i_{sq}\ \ i_{ld}\ \ i_{lq}\ \ i_{pd}\ \ i_{pq}\ \ v_{sd}\ \ v_{sq}\ \ v_{dc}\right) := \left(34.453\ \ -24.646\ \ 6.651\ \ -2.311\ \ 5.214\ \ -5.899\ \ 1.187\ \ 3.588\ \ -0.082\ \ -66.194\ \ 750\right)$$

Given

$$0 = w_s \cdot i_{iq} + \left[\begin{array}{l}\left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right)\cdot v_{id} + \left(L_{l2}\cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2}\cdot L_l\right)\cdot v_{sd} + \left(-L_{l2}\cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2}\cdot L_p\right)\cdot i_{ld} + \left(L_l \cdot R_{l2}\cdot L_p - L_{l2}\cdot L_l \cdot R_p\right)\cdot i_{pd} \cdots \\ + \left(-L_l \cdot R_{l2}\cdot L_p - R_i \cdot L_{l2}\cdot L_l - L_{l2}\cdot L_p \cdot R_i - R_i \cdot L_p \cdot L_l\right)\cdot i_{id} - L_{l2}\cdot L_l \cdot m_{pd}\cdot v_{dc}\end{array}\right]\cdot \frac{1}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_{l2}\cdot L_l \cdot L_i + I}$$

$$0 = -w_s \cdot i_{id} + \left[\begin{array}{l}\left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right)\cdot v_{iq} + \left(L_{l2}\cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2}\cdot L_l\right)\cdot v_{sq} + \left(-L_{l2}\cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2}\cdot L_p\right)\cdot i_{lq} + \left(L_l \cdot R_{l2}\cdot L_p - L_{l2}\cdot L_l \cdot R_p\right)\cdot i_{pq} \cdots \\ + \left(-L_l \cdot R_{l2}\cdot L_p - R_i \cdot L_{l2}\cdot L_l - L_{l2}\cdot L_p \cdot R_i - R_i \cdot L_p \cdot L_l\right)\cdot i_{iq} - L_{l2}\cdot L_l \cdot m_{pq}\cdot v_{dc}\end{array}\right]\cdot \frac{1}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_{l2}\cdot L_l \cdot L_i +}$$

$$0 = w_s \cdot i_{sq} + \left(-R_s \cdot i_{sd} + m_{sd}\cdot v_{dc} - v_{sd}\right)\cdot \frac{1}{L_s}$$

$$0 = -w_s \cdot i_{sd} + \left(-R_s \cdot i_{sq} + m_{sq}\cdot v_{dc} - v_{sq}\right)\cdot \frac{1}{L_s}$$

$$0 = w_s \cdot i_{pq} + \left[\begin{array}{l}\left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2}\cdot L_l\right)\cdot v_{sd} + \left(L_{l2}\cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2}\cdot L_i\right)\cdot i_{ld} + \left(-L_{l2}\cdot L_l \cdot R_p - L_{l2}\cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2}\cdot L_i\right)\cdot i_{pd} \cdots \\ + \left(-R_i \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_l \cdot R_{l2}\cdot L_i\right)\cdot i_{id} + \left(-L_{l2}\cdot L_l - L_{l2}\cdot L_i - L_i \cdot L_l\right)\cdot m_{pd}\cdot v_{dc} + v_{id}\cdot L_{l2}\cdot L_l\end{array}\right]\cdot \frac{1}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_{l2}\cdot L_l \cdot L_i + L_{l2}\cdot L_p \cdot L_i}$$

$$0 = -w_s \cdot i_{pd} + \left[\begin{array}{l}\left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2}\cdot L_l\right)\cdot v_{sq} + \left(L_{l2}\cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2}\cdot L_i\right)\cdot i_{lq} + \left(-L_{l2}\cdot L_l \cdot R_p - L_{l2}\cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2}\cdot L_i\right)\cdot i_{pq} \cdots \\ + \left(-R_i \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_l \cdot R_{l2}\cdot L_i\right)\cdot i_{iq} + \left(-L_{l2}\cdot L_l - L_{l2}\cdot L_i - L_i \cdot L_l\right)\cdot m_{pq}\cdot v_{dc} + v_{iq}\cdot L_{l2}\cdot L_l\end{array}\right]\cdot \frac{1}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_{l2}\cdot L_l \cdot L_i + L_{l2}\cdot L_p \cdot L_i}$$

$$0 = w_s \cdot i_{lq} + \left[\begin{array}{l}\left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2}\cdot L_p \cdot n\right)\cdot v_{sd} + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2}\cdot R_l \cdot L_i - L_{l2}\cdot L_p \cdot R_l - R_{l2}\cdot L_p \cdot L_i\right)\cdot i_{ld} + \left(-R_{l2}\cdot L_p \cdot L_i + L_{l2}\cdot R_p \cdot L_i\right)\cdot i_{pd} \cdots \\ + \left(-L_{l2}\cdot L_p \cdot R_i + R_{l2}\cdot L_p \cdot L_i\right)\cdot i_{id} + L_{l2}\cdot m_{pd}\cdot L_i \cdot v_{dc} + L_p \cdot L_{l2}\cdot v_{id}\end{array}\right]\cdot \frac{1}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_{l2}\cdot L_l \cdot L_i + L_{l2}\cdot L_p \cdot L}$$

$$0 = -w_s \cdot i_{ld} + \left[\begin{array}{l}\left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2}\cdot L_p \cdot n\right)\cdot v_{sq} + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2}\cdot R_l \cdot L_i - L_{l2}\cdot L_p \cdot R_l - R_{l2}\cdot L_p \cdot L_i\right)\cdot i_{lq} + \left(-R_{l2}\cdot L_p \cdot L_i + L_{l2}\cdot R_p \cdot L_i\right)\cdot i_{pq} \cdots \\ + \left(-L_{l2}\cdot L_p \cdot R_i + R_{l2}\cdot L_p \cdot L_i\right)\cdot i_{iq} + L_{l2}\cdot m_{pq}\cdot L_i \cdot v_{dc} + L_p \cdot L_{l2}\cdot v_{iq}\end{array}\right]\cdot \frac{1}{L_p \cdot L_i \cdot L_l + L_p \cdot L_{l2}\cdot L_l + L_{l2}\cdot L_l \cdot L_i + L_{l2}\cdot L_p \cdot}$$

$$0 = w_s \cdot v_{sq} + \left(-n \cdot i_{pd} + i_{sd} - n \cdot i_{ld}\right)\cdot \frac{1}{C_s}$$

$$0 = -w_s \cdot v_{sd} + \left(-n \cdot i_{pq} + i_{sq} - n \cdot i_{lq}\right)\cdot \frac{1}{C_s}$$

$$0 = \left[-\left(m_{sd}\cdot i_{sd} + m_{sq}\cdot i_{sq}\right) + \left(m_{pd}\cdot i_{pd} + m_{pq}\cdot i_{pq}\right)\right]\cdot \frac{1}{C_{dc}}$$

$$\left(i_{id}\ \ i_{iq}\ \ i_{sd}\ \ i_{sq}\ \ i_{ld}\ \ i_{lq}\ \ i_{pd}\ \ i_{pq}\ \ v_{sd}\ \ v_{sq}\ \ v_{dc}\right) := \mathrm{Find}\left(i_{id}, i_{iq}, i_{sd}, i_{sq}, i_{ld}, i_{lq}, i_{pd}, i_{pq}, v_{sd}, v_{sq}, v_{dc}\right)^T$$

$$\left(i_{id}\ \ i_{iq}\ \ i_{sd}\ \ i_{sq}\ \ i_{ld}\ \ i_{lq}\ \ i_{pd}\ \ i_{pq}\ \ v_{sd}\ \ v_{sq}\ \ v_{dc}\right) =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	33.186	-24.615	6.609	-3.302	5.22	-5.893	1.139	2.592	-0.012	-66.194	749.99

Caso I. Se verifican las cantidades de interés. Parte I

Punto de Operación

$\left(i_{id} \;\; i_{iq}\right) = (33.186 \;\; -24.615)$ $\quad \left(i_{ld} \;\; i_{lq}\right) = (5.22 \;\; -5.893)$ $\quad \left(v_{sd} \;\; v_{sq}\right) = (-0.012 \;\; -66.194)$ $\quad \left(m_{sd} \;\; m_{sq}\right) = (0.021 \;\; -0.047)$

$\left(i_{sd} \;\; i_{sq}\right) = (6.609 \;\; -3.302)$ $\quad \left(i_{pd} \;\; i_{pq}\right) = (1.139 \;\; 2.592)$ $\quad v_{dc} = 749.997$ $\quad \left(m_{pd} \;\; m_{pq}\right) = (0.507 \;\; -0.11)$

Corriente de entrada

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{\left(i_{id}\right)^2 + \left(i_{iq}\right)^2} = 33.736$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{i_{iq}}{i_{id}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -36.566$$

Moduladoras Serie

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{\left(m_{sd}\right)^2 + \left(m_{sq}\right)^2}\cdot 10^3 = 41.751$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{m_{sq}}{m_{sd}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -66.074$$

Moduladoras Paralelo

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{\left(m_{pd}\right)^2 + \left(m_{pq}\right)^2}\cdot 10^3 = 423.685$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{m_{pq}}{m_{pd}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -12.278$$

Voltaje RMS de Carga

$v_l = R_l\cdot i_l + L_l\cdot di_l$ $\quad v_l^{abc} = R_l\cdot i_l^{abc} + L_l\cdot di_l^{abc}$ $\quad v_l^{dq0} = R_l\cdot i_l^{dq0} + L_l\cdot di_l^{dq0} + L_l\cdot W\cdot i_l^{dq0}$ $\quad W = \begin{pmatrix} 0 & -w_s \\ w_s & 0 \end{pmatrix}$

en S.S. $v_l^{dq0} = R_l\cdot i_l^{dq0} + L_l\cdot W\cdot i_l^{dq0}$ por lo tanto, $\begin{pmatrix} v_l^d \\ v_l^q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_l\cdot i_l^d - w_s\cdot L_l\cdot i_l^q \\ R_l\cdot i_l^q + w_s\cdot L_l\cdot i_l^d \end{pmatrix}$

$$\sqrt{\left(i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq}\right)^2 + \left(i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld}\right)^2}\cdot\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = 219.999$$

Voltaje RMS de Carga

Voltaje RMS en el PCC

$v_{PCC} = v_i - R_i\cdot i_i - L_i\cdot di_i$ $\quad v_{PCC}^{abc} = v_i^{abc} - R_i\cdot i_i^{abc} - L_i\cdot di_i^{abc}$ $\quad v_{PCC}^{dq0} = v_i^{dq0} - R_i\cdot i_i^{dq0} - L_i\cdot di_i^{dq0} - L_i\cdot W\cdot i_i^{dq0}$ $\quad W = \begin{pmatrix} 0 & -w_s \\ w_s & 0 \end{pmatrix}$

en S.S. $v_{PCC}^{dq0} = v_i^{dq0} - R_i\cdot i_i^{dq0} - L_i\cdot W\cdot i_i^{dq0}$ por lo tanto, $\begin{pmatrix} v_{PCC}^d \\ v_{PCC}^q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_i^d - R_i\cdot i_i^d + w_s\cdot L_i\cdot i_i^q \\ v_i^q - R_i\cdot i_l^q - w_s\cdot L_i\cdot i_i^d \end{pmatrix}$

$$\sqrt{\left(v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}\right)^2 + \left(v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}\right)^2}\cdot\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = 215.6$$

Voltaje RMS en el PCC

Caso I. Se verifican las cantidades de interés. Parte II

Factor k de Sag o Swell

$$\frac{\sqrt{\left(v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}\right)^2 + \left(v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}\right)^2}}{\sqrt{\left(i_{ld} \cdot R_l - w_s \cdot L_l \cdot i_{lq}\right)^2 + \left(i_{lq} \cdot R_l + w_s \cdot L_l \cdot i_{ld}\right)^2}} = 0.98$$

Factor de Potencia en el PCC

$$\cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}}{v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{i_{pq} + i_{lq}}{i_{pd} + i_{ld}}\right)\right) = 0.9 \qquad \textit{ind}$$

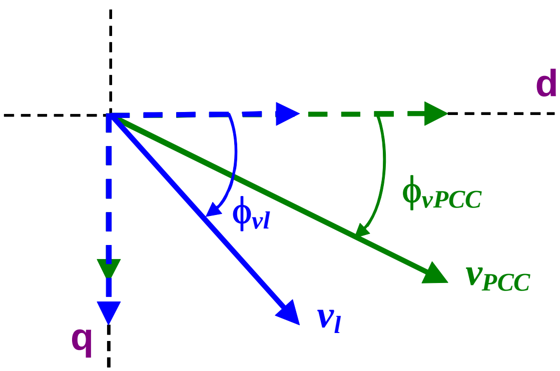
$$\phi_{vPCC} := \operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}}{v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \qquad \phi_{vPCC} = -1.596$$

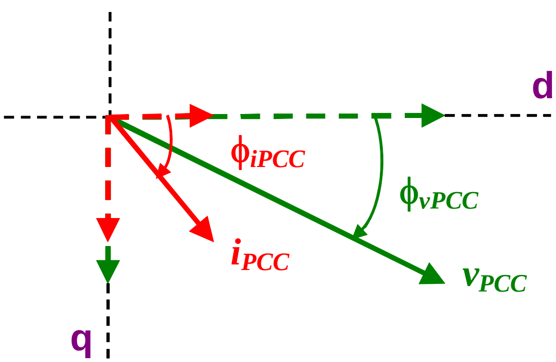
$$\phi_{iPCC} := \operatorname{atan}\left(\frac{i_{pq} + i_{lq}}{i_{pd} + i_{ld}}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \qquad \phi_{iPCC} = -27.439$$

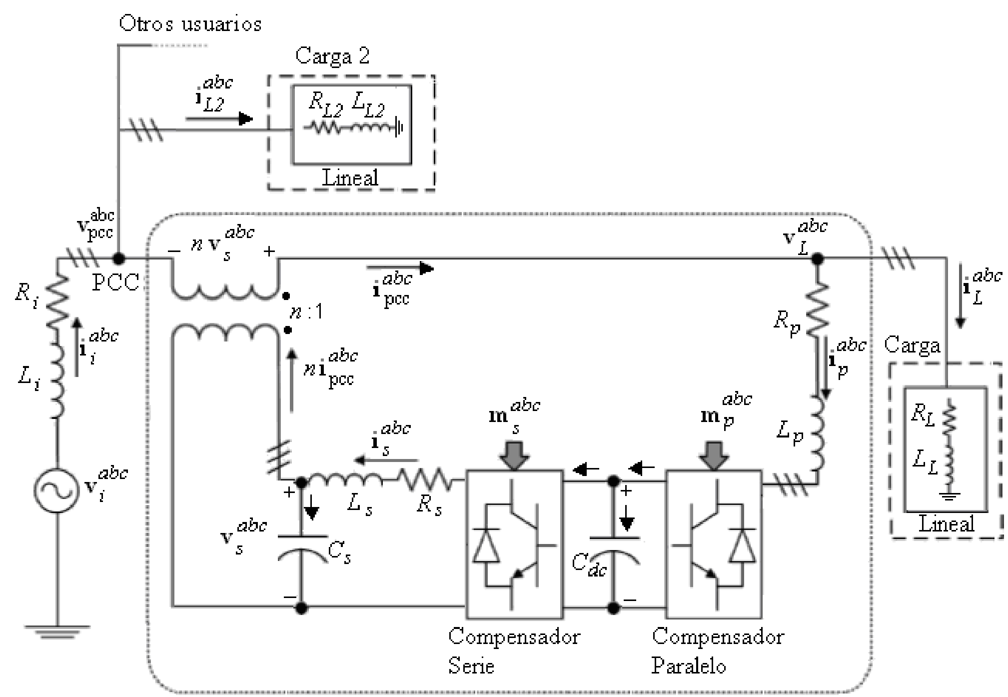
Ángulo entre el Voltaje de la carga y el PCC

$$\left(\operatorname{atan}\left(\frac{i_{lq} \cdot R_l + w_s \cdot L_l \cdot i_{ld}}{i_{ld} \cdot R_l - w_s \cdot L_l \cdot i_{lq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}}{v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}}\right)\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -10$$

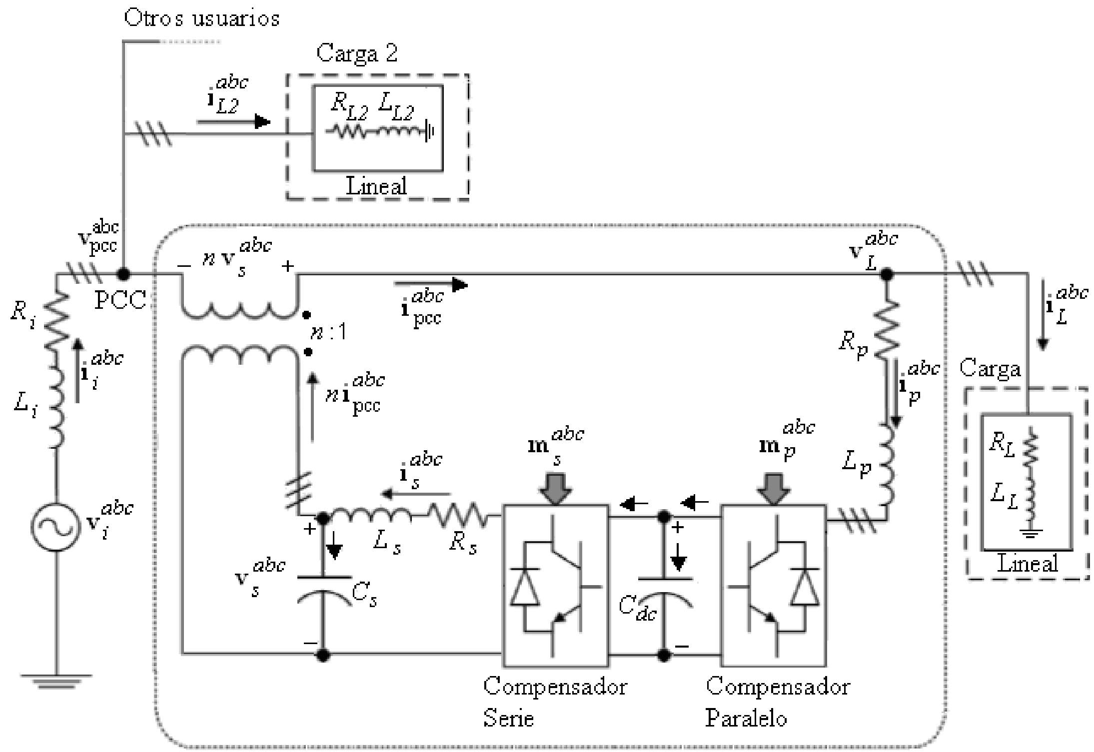
$$\phi_{vl} := \operatorname{atan}\left(\frac{i_{lq} \cdot R_l + w_s \cdot L_l \cdot i_{ld}}{i_{ld} \cdot R_l - w_s \cdot L_l \cdot i_{lq}}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \qquad \phi_{vl} = -11.596$$







Caso II: Se obtienen las 11 variables de estado para un set de salidas arbitrarias.



Las salidas deseadas son:

$V_{l\_rms} = 220$ $\quad fp_{PCC} := 0.93$

$k := 0.95$ $\quad v_{dc} := 750$

$\alpha := -10\cdot\frac{\pi}{180}$

Por lo tanto, se deben tener cinco ecuaciones adicionales a las 11 anteriores. Estas ecuaciones son las que definen las cinco salidas recién definidas.

Al tener ahora 16 ecuaciones, se debe encontrar el valor de 16 cantidades. Once de ellas son las variables de estado como en el caso anterior, cuatro son las entradas del sistema y falta sólo una.

Por otro lado, se sabe que el voltaje en el PCC depende del consumo de la carga 2. Por lo tanto, el valor de R_{l2} y L_{l2} serán buscados para ajustar k. Al agregar dos variables a buscar, en vez de una, se necesita una ecuación extra. Esta será el factor de potencia de esta carga, el que se será fijado arbitrariamente. Así una salida adicional es,

$fp_{l2} := 0.8$ y la ecuación adicional es, $\cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{w_s\cdot L_{l2}}{R_{l2}}\right)\right) = fp_{l2}$

y por lo tanto las cantidades adicionales a encontrar son, $m_{sd} \quad m_{sq} \quad m_{pd} \quad m_{pq} \quad R_{l2} \quad L_{l2}$

y por lo tanto las ecuaciones adicionales son,

(1) $$v_{dc} = 750$$

(2) $$\left(i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq}\right)^2 + \left(i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld}\right)^2 = \left(V_{l\_rms}\sqrt{3}\right)^2$$

(3) $$\operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}}{v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{i_{pq} + i_{lq}}{i_{pd} + i_{ld}}\right) = \operatorname{acos}\left(fp_{PCC}\right)$$

(4) $$\operatorname{atan}\left(\frac{i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld}}{i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}}{v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}}\right) = \alpha$$

(5) $$\frac{\sqrt{\left(v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}\right)^2 + \left(v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}\right)^2}}{\sqrt{\left(i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq}\right)^2 + \left(i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld}\right)^2}} = k$$

(6) $$\cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{w_s\cdot L_{l2}}{R_{l2}}\right)\right) = fp_{l2}$$

Caso II. Se encuentra el Punto de Operación

$$\left(i_{id}\ i_{iq}\ i_{sd}\ i_{sq}\ i_{ld}\ i_{lq}\ i_{pd}\ i_{pq}\ v_{sd}\ v_{sq}\ m_{sd}\ m_{sq}\ m_{pd}\ m_{pq}\ R_{l2}\ L_{l2}\right) := (82.36\ \ -63.317\ \ 6.665\ \ 2.243\ \ 6.751\ \ -4.05\ \ 0.158\ \ 6.226\ \ 17.948\ \ 65.055\ \ 0.011\ \ 0.138\ \ 0.56$$

Given

$$0 = w_s \cdot i_{iq} + \left[\left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right) \cdot v_{id} + \left(L_{l2} \cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sd} + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p\right) \cdot i_{ld} + \left(L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p\right) \cdot i_{pd} + \left(-L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i - \right.$$

$$0 = -w_s \cdot i_{id} + \left[\left(L_p \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_l + L_{l2} \cdot L_p\right) \cdot v_{iq} + \left(L_{l2} \cdot L_p \cdot n + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sq} + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p\right) \cdot i_{lq} + \left(L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p\right) \cdot i_{pq} + \left(-L_l \cdot R_{l2} \cdot L_p - R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i - \right.$$

$$0 = w_s \cdot i_{sq} + \left(-R_s \cdot i_{sd} + m_{sd} \cdot v_{dc} - v_{sd}\right) \cdot \frac{1}{L_s} \qquad 0 = -w_s \cdot i_{sd} + \left(-R_s \cdot i_{sq} + m_{sq} \cdot v_{dc} - v_{sq}\right) \cdot \frac{1}{L_s}$$

$$0 = w_s \cdot i_{pq} + \left[\left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sd} + \left(L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{ld} + \left(-L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{pd} + \left(-R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{id} + \left(-L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_i - \right.$$

$$0 = -w_s \cdot i_{pd} + \left[\left(n \cdot L_i \cdot L_l + n \cdot L_{l2} \cdot L_l\right) \cdot v_{sq} + \left(L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{lq} + \left(-L_{l2} \cdot L_l \cdot R_p - L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i - R_p \cdot L_i \cdot L_l - L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{pq} + \left(-R_i \cdot L_{l2} \cdot L_l + L_l \cdot R_{l2} \cdot L_i\right) \cdot i_{iq} + \left(-L_{l2} \cdot L_l - L_{l2} \cdot L_i - \right.$$

$$0 = w_s \cdot i_{lq} + \left[\left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2} \cdot L_p \cdot n\right) \cdot v_{sd} + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l - R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{ld} + \left(-R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i\right) \cdot i_{pd} + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i + R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{id} + L_{l2} \cdot m_{pd} \cdot L_i \cdot v_{dc}$$

$$0 = -w_s \cdot i_{ld} + \left[\left(L_i \cdot L_p \cdot n + L_{l2} \cdot L_p \cdot n\right) \cdot v_{sq} + \left(-L_i \cdot L_p \cdot R_l - L_{l2} \cdot R_l \cdot L_i - L_{l2} \cdot L_p \cdot R_l - R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{lq} + \left(-R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i + L_{l2} \cdot R_p \cdot L_i\right) \cdot i_{pq} + \left(-L_{l2} \cdot L_p \cdot R_i + R_{l2} \cdot L_p \cdot L_i\right) \cdot i_{iq} + L_{l2} \cdot m_{pq} \cdot L_i \cdot v_{dc}$$

$$0 = w_s \cdot v_{sq} + \left(-n \cdot i_{pd} + i_{sd} - n \cdot i_{ld}\right) \cdot \frac{1}{C_s} \qquad 0 = -w_s \cdot v_{sd} + \left(-n \cdot i_{pq} + i_{sq} - n \cdot i_{lq}\right) \cdot \frac{1}{C_s} \qquad 0 = \left[-\left(m_{sd} \cdot i_{sd} + m_{sq} \cdot i_{sq}\right) + \left(m_{pd} \cdot i_{pd} + m_{pq} \cdot i_{pq}\right)\right] \cdot \frac{1}{C_{dc}}$$

$$v_{dc} = 750 \qquad \cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{w_s \cdot L_{l2}}{R_{l2}}\right)\right) = fp_{l2}$$

$$\left(i_{ld} \cdot R_l - w_s \cdot L_l \cdot i_{lq}\right)^2 + \left(i_{lq} \cdot R_l + w_s \cdot L_l \cdot i_{ld}\right)^2 = \left(V_{l\_rms} \cdot \sqrt{3}\right)^2 \qquad \operatorname{atan}\left(\frac{i_{lq} \cdot R_l + w_s \cdot L_l \cdot i_{ld}}{i_{ld} \cdot R_l - w_s \cdot L_l \cdot i_{lq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}}{v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}}\right) = \alpha$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}}{v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{i_{pq} + i_{lq}}{i_{pd} + i_{ld}}\right) = \operatorname{acos}\left(fp_{PCC}\right) \qquad \frac{\sqrt{\left(v_{id} - R_i \cdot i_{id} + w_s \cdot L_i \cdot i_{iq}\right)^2 + \left(v_{iq} - R_i \cdot i_{iq} - w_s \cdot L_i \cdot i_{id}\right)^2}}{\sqrt{\left(i_{ld} \cdot R_l - w_s \cdot L_l \cdot i_{lq}\right)^2 + \left(i_{lq} \cdot R_l + w_s \cdot L_l \cdot i_{ld}\right)^2}} = k$$

$$\left(i_{id}\ i_{iq}\ i_{sd}\ i_{sq}\ i_{ld}\ i_{lq}\ i_{pd}\ i_{pq}\ v_{sd}\ v_{sq}\ v_{dc}\ m_{sd}\ m_{sq}\ m_{pd}\ m_{pq}\ R_{l2}\ L_{l2}\right) := \operatorname{Find}\left(i_{id}, i_{iq}, i_{sd}, i_{sq}, i_{ld}, i_{lq}, i_{pd}, i_{pq}, v_{sd}, v_{sq}, v_{dc}, m_{sd}, m_{sq}, m_{pd}, m_{pq}, R_{l2}, L_{l2}\right)^T$$

$$\left(i_{id}\ i_{iq}\ i_{sd}\ i_{sq}\ i_{ld}\ i_{lq}\ i_{pd}\ i_{pq}\ v_{sd}\ v_{sq}\ v_{dc}\ m_{sd}\ m_{sq}\ m_{pd}\ m_{pq}\ R_{l2}\ L_{l2}\right) =$$

	12	13	14	15	16	17
1	0.031	-0.047	0.504	-0.131	3.152	$7.526 \cdot 10^{-3}$

Caso II. Se verifican las cantidades de interés.

Corriente de entrada

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{(i_{id})^2+(i_{iq})^2} = 80.663$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{i_{iq}}{i_{id}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -39.554$$

Tensión DC

$$v_{dc} = 750$$

Moduladoras Serie

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{(m_{sd})^2+(m_{sq})^2}\cdot 10^3 = 45.886$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{m_{sq}}{m_{sd}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -56.652$$

Moduladoras Paralelo

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{(m_{pd})^2+(m_{pq})^2}\cdot 10^3 = 425.341$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{m_{pq}}{m_{pd}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -14.594$$

Carga Secundaria

$$R_{l2} = 3.152 \qquad L_{l2}\cdot 10^3 = 7.526$$

Voltaje RMS de Carga

$$\sqrt{(i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq})^2 + (i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld})^2}\cdot\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = 220$$

Voltaje RMS en el PCC

$$\sqrt{(v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq})^2 + (v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id})^2}\cdot\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{1}{\sqrt{2}} = 209$$

Factor k de Sag o Swell

$$\frac{\sqrt{(v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq})^2 + (v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id})^2}}{\sqrt{(i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq})^2 + (i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld})^2}} = 0.95$$

$$\phi_{vPCC} := \operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}}{v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} \qquad \phi_{vPCC} = -3.78$$

$$\phi_{iPCC} := \operatorname{atan}\left(\frac{i_{pq} + i_{lq}}{i_{pd} + i_{ld}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} \qquad \phi_{iPCC} = -25.346$$

$$\phi_{vl} := \operatorname{atan}\left(\frac{i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld}}{i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} \qquad \phi_{vl} = -13.78$$

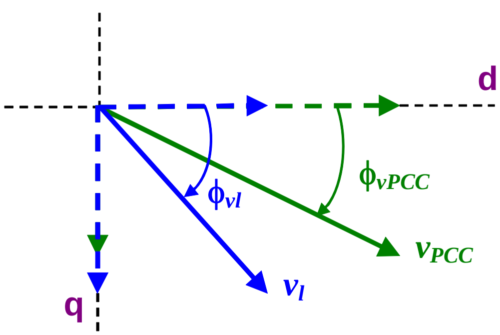
Factor de Potencia en el PCC

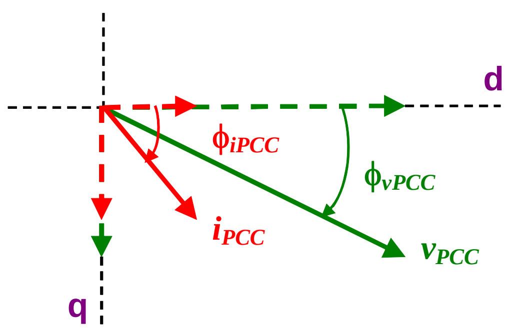
$$\cos\left(\operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}}{v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{i_{pq} + i_{lq}}{i_{pd} + i_{ld}}\right)\right) = 0.93$$

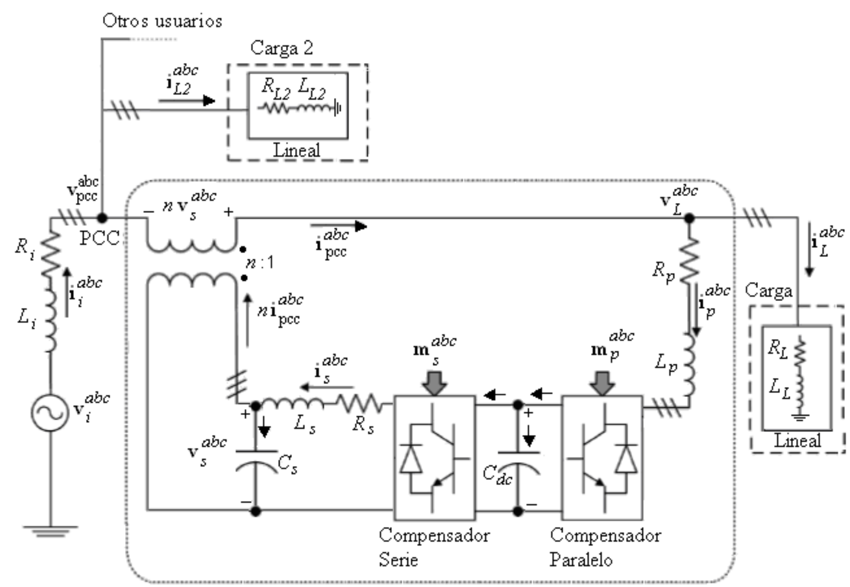
ind

Ángulo entre el Voltaje de la carga y el PCC

$$\left(\operatorname{atan}\left(\frac{i_{lq}\cdot R_l + w_s\cdot L_l\cdot i_{ld}}{i_{ld}\cdot R_l - w_s\cdot L_l\cdot i_{lq}}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{v_{iq} - R_i\cdot i_{iq} - w_s\cdot L_i\cdot i_{id}}{v_{id} - R_i\cdot i_{id} + w_s\cdot L_i\cdot i_{iq}}\right)\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -10$$







To test further

Ajustar el índice de modulación del convertidor paralelo y del convertidor serie a valores nominales para una mejor utilización del voltaje DC.

Moduladoras Serie

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{\left(m_{sd}\right)^2+\left(m_{sq}\right)^2}\cdot 10^3 = 45.886$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{m_{sq}}{m_{sd}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -56.652$$

Moduladoras Paralelo

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\sqrt{\left(m_{pd}\right)^2+\left(m_{pq}\right)^2}\cdot 10^3 = 425.341$$

$$\operatorname{atan}\left(\frac{m_{pq}}{m_{pd}}\right)\cdot\frac{180}{\pi} = -14.594$$