

Resumen para C5 Sistemas electromecánicos: “Violencia moderada 5”

No existen ni el 2 ni el 3

Felipe Vera A.

1. Glosario

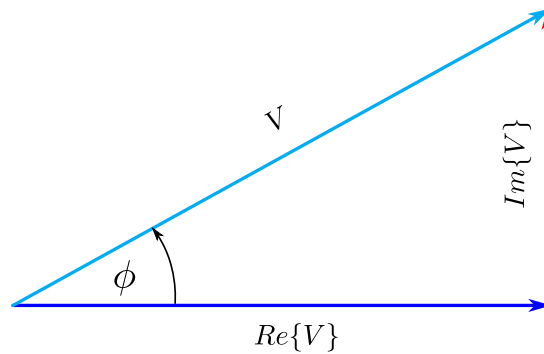
- *Factor de potencia* ($\cos \phi$): La proporción de potencia aparente proporcionada que se convierte realmente en movimiento para el motor.
- *Polos de una máquina*: Cantidad de lugares por donde entra o sale flujo magnético del rotor hacia la armadura o viceversa.
- *Reactancia sincrónica* (X_s): Conjugada la reactancia de dispersión X_σ y la de magnetización del estator X_m . Tiene una parte resistiva del devanado R_a pero generalmente se desprecia.
- *Ángulo de carga* (δ): Ángulo que surge para adaptar el circuito del estator al LVK, y define cuál va a ser el torque/potencia de la máquina, es diseñable para lograr un torque máximo en $\pm \frac{\pi}{2}$. Si excede esos límites, la máquina se desestabiliza.
- *Admisión*: Ajuste de la potencia activa.
- *Excitación*: Ajuste V_p (potencia reactiva).

2. Sistemas monofásicos

Es un método de análisis para CA, en el cual se denota la magnitud y la fase de la sinusoidal como números complejos.

$$v(t) = \hat{V} \cdot \cos(\omega t + \phi) \quad \Leftrightarrow \quad \underline{\dot{V}} = \hat{V} \cdot e^{j\phi} = \hat{V} \cdot (\cos(\phi) + j \sin(\phi))$$

Por lo tanto se tiene el siguiente diagrama fasorial, en el que se relacionan la parte real de la tensión, su parte imaginaria, su módulo y el ángulo.



Por conveniencia, para multiplicar entre números complejos es mejor su notación polar (las magnitudes se multiplican y los ángulos se suman) y para sumarlos es mejor su notación imaginaria.

$$A\angle\phi_1 \cdot B\angle\phi_2 = AB\angle(\phi_1 + \phi_2) \quad (a_1 + jb_1) + (a_2 + jb_2) = (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2)$$

2.1. Cargas capacitivas/inductivas

Cuando se tiene una fuente CA conectada a una carga, circulará una corriente por ella que también se podrá escribir en notación fasorial. Esta carga podrá ser de la forma

- $R + j\omega L$: La carga es *inductiva*, el factor de potencia es inductivo y su parte imaginaria es positiva.
- $R - \frac{j}{\omega C}$: La carga es *capacitiva*, el factor de potencia es capacitivo y su parte imaginaria es negativa.

Para determinar esto, se observa la tensión del generador y la corriente. A la tensión se le asignará por convención un ángulo 0° . Entonces se dice que cuando la corriente...

- *Adelanta* al voltaje, o está adelantada con respecto al voltaje, su ángulo se representa como positivo.
- *Atrasa* al voltaje, o está atrasada con respecto al voltaje, su ángulo se representa como negativo.

Observando tanto la tensión como la corriente puede determinarse si la carga es capacitiva o inductiva, mediante la ley de Ohm.

$$Z = \frac{V}{I}$$

2.2. Potencia aparente/activa

Potencia activa Es la potencia que efectivamente es transmitida a los elementos resistivos de la carga y se convierte en movimiento para el motor. Se mide en Watts [W].

$$P = |V| \cdot |I| \cdot \cos \phi$$

Potencia reactiva Es la potencia transmitida que no se convierte en movimiento para el motor sino que queda dando vueltas en el circuito. Se mide en Volt-Ampére Reactivos [VAR].

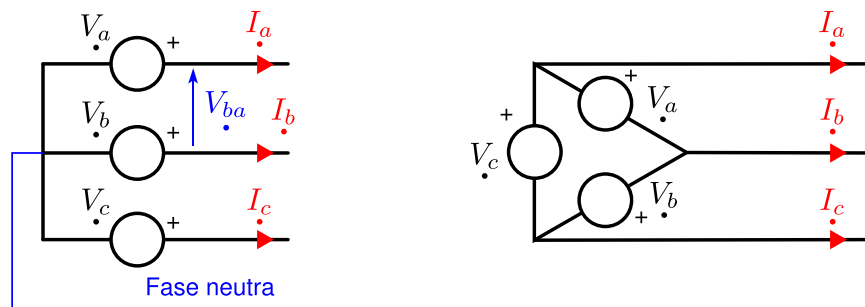
$$Q = |\dot{V}| \cdot |\dot{I}| \cdot \sin \phi$$

Potencia aparente Es la potencia total que la fuente proporciona a la carga sin importar que esta sea consumida o no. Se mide en Volt-Ampére [VA].

$$S = V \cdot I^* \quad |S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

3. Sistemas trifásicos

En aplicaciones industriales es más provechoso usar sistemas trifásicos a monofásicos -tres fuentes alternas con desfase de 120° o $\frac{2\pi}{3}$ entre cada una de ellas, por razones de eficiencia en transformadores y en rectificación.

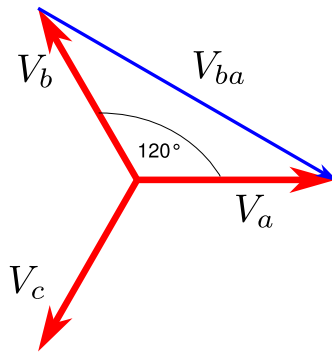


En ese dibujo aparecen las configuraciones trifásicas *Estrella* (Y) y *Delta* (Δ) respectivamente.

Analizaremos el Estrella. Suponemos que los generadores del estrella generan la misma magnitud de tensión pero en distintas fases. Estas tensiones se pueden obtener midiendo la tensión de una línea con respecto a la *fase neutra*.

$$\dot{V}_a = V \angle 0^\circ \quad \dot{V}_b = V \angle 120^\circ \quad \dot{V}_c = V \angle 240^\circ$$

Estos voltajes pueden graficarse vectorialmente, y la tensión entre líneas A y B V_{ba} puede encontrarse mediante el teorema del seno. Como se sabe que los vectores \dot{V}_a , \dot{V}_b y \dot{V}_{ba} forman un triángulo isósceles, sus otros dos ángulos valen 30° .

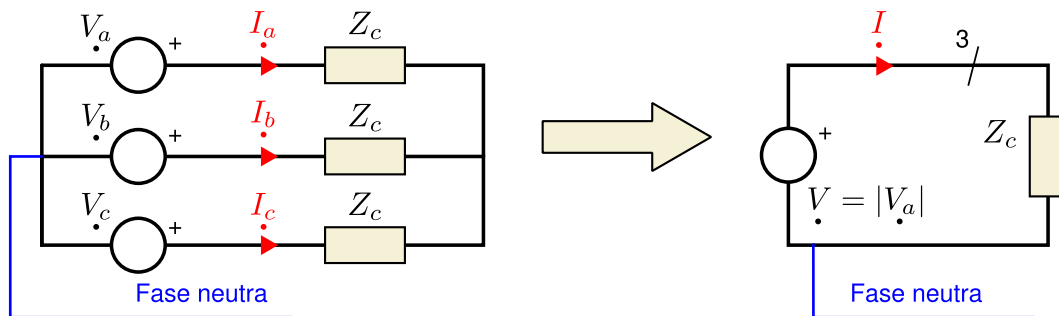


$$\frac{|V_{ba}|}{\sin 120^\circ} = \frac{|V_a|}{\sin 30^\circ} \Rightarrow |V_{ba}| = \sqrt{3}|V_a|$$

Por eso el voltaje entre líneas en un arreglo estrella siempre será $\sqrt{3}$ veces que el voltaje por línea (línea - neutro).

3.1. Cargas equilibradas

Cuando las cargas son equilibradas (conectada una impedancia Z igual a cada línea), las magnitudes de voltaje por línea, corriente de línea y carga pueden analizarse de manera monofásica, como sigue.



Con ello, se pueden extraer la magnitud de la corriente que pasa por cada línea y la forma en que están distribuidas la potencia aparente y potencia activa por cada fase.

La potencia $S_f = V \cdot I^*$ es la potencia que consume la impedancia por cada fase. La potencia total que consume la carga trifásica será igual a:

$$S = 3S_f = 3V \cdot I^*$$

Lo mismo ocurre con la potencia activa y reactiva, puesto que el desfase tensión-corriente ϕ (y por ende el factor de potencia) es el mismo en cada fase si la carga es equilibrada.

4. Máquinas sincrónicas por fin

La gran característica de las máquinas sincrónicas es que su velocidad de giro está dada por la frecuencia del voltaje con la cual se alimenta ($\omega_{\text{eléctrico}}$) y la cantidad de pares de polos (p) que posee la máquina.

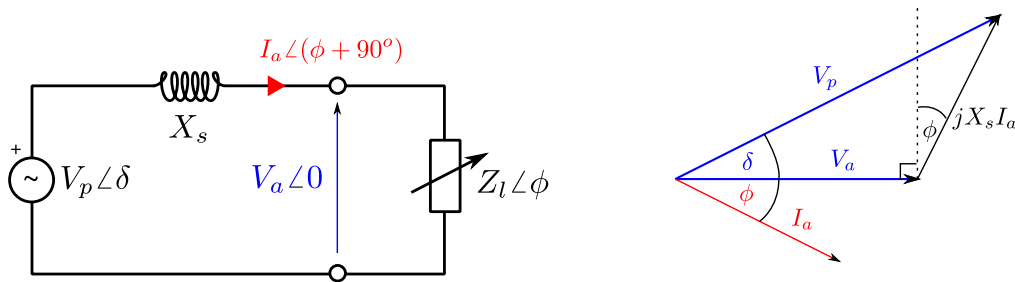
$$\omega_{\text{giro}} = \frac{2\pi f_{\text{eléctrica}}}{p}$$

Como en las continuas, el torque con el que gira la máquina depende de la potencia activa proporcionada y de la rapidez angular con la que lo hace.

$$T_e = \frac{P}{\omega_g}$$

Circuito equivalente por fase Las impedancias de estator X_s se consideran equilibradas, por lo que es posible hacer el mismo análisis monofásico con respecto a la fase neutra.

Ojo!! Las tensiones nominales se proporcionan casi siempre entre líneas (V_{l-l}), por lo que se debe dividir por $\sqrt{3}$ para ocuparla como tensión de fase V_a .



Las variables son:

- V_a : Una fase de la tensión trifásica aplicada. Se refiere al voltaje línea-neutro, no al voltaje línea-línea.
- V_p : Tensión de inducción del motor. Depende linealmente de la corriente de campo si no hay saturación magnética.
- X_s : Reactancia sincrónica.
- δ : Ángulo de carga
- ϕ : Ángulo de la impedancia de carga conectada Z_l .

Potencia de giro La potencia de giro depende de las características V_a , V_p y X_s del circuito de estator.

$$P_{\text{giro/fase}} = \frac{V_a V_p \sin(\delta)}{X_s} \Rightarrow P_{\text{giro}} = 3P_{\text{giro/fase}}$$

Torque Relaciona la velocidad de giro y su potencia.

$$T = \frac{P_{\text{giro}}}{\omega_{\text{giro}}} \Rightarrow T = \frac{3 V_a V_p \sin(\delta)}{\omega_{\text{giro}} \cdot X_s}$$

Corrientes de campo En zona magnética lineal son directamente proporcionales a la tensión de inducción del motor.

$$\frac{V_{p2}}{V_{p1}} = \frac{I_{f2}}{I_{f1}}$$