



Zeno Martini (admin)

RETI DI SEQUENZA

1 January 2004

Se pensiamo ad una rete trifase a quattro fili ed indichiamo con E_i le tensioni di tre fili rispetto a quello preso come riferimento, le correnti nei tre fili si possono calcolare con il seguente sistema.

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= \dot{Y}_{11} \cdot \dot{E}_1 + \dot{Y}_{12} \cdot \dot{E}_2 + \dot{Y}_{13} \cdot \dot{E}_3 \\ \dot{I}_2 &= \dot{Y}_{21} \cdot \dot{E}_1 + \dot{Y}_{22} \cdot \dot{E}_2 + \dot{Y}_{23} \cdot \dot{E}_3 \\ \dot{I}_3 &= \dot{Y}_{31} \cdot \dot{E}_1 + \dot{Y}_{32} \cdot \dot{E}_2 + \dot{Y}_{33} \cdot \dot{E}_3\end{aligned}$$

Una rete trifase è *simmetrica*, quando le autoammettenze ($\mathbf{Y}_{ii}$), le mutue ammettenze dirette ($\mathbf{Y}_{ij}$) ed inverse ($\mathbf{Y}_{ji}$) sono uguali tra loro, ($i,j=1,2,3$).

Un carico trifase è costituito da tre impedenze uguali; esso costituisce una rete simmetrica.

Per le reti simmetriche vale la proprietà: le componenti simmetriche delle tensioni danno luogo a correnti della corrispondente sequenza.

Si possono allora definire una *ammettenza alla sequenza zero* $\mathbf{Y}_0$, una *ammettenza alla sequenza diretta* $\mathbf{Y}_d$, una *ammettenza alla sequenza inversa* $\mathbf{Y}_i$. Ovviamente si definiscono anche le corrispondenti impedenze che sono l'inverso delle ammettenze.

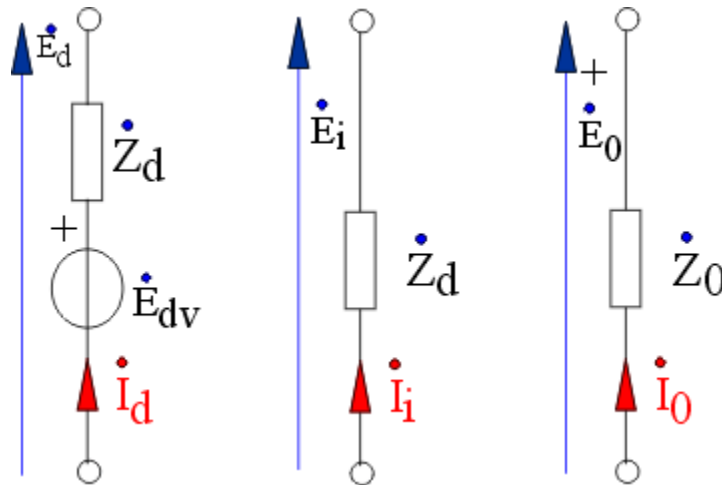
Bipoli di sequenza nelle reti trifasi simmetriche

Per la precedente proprietà ogni rete trifase simmetrica si può ricondurre allo studio di tre bipoli monofasi di sequenza:

1. bipolo di sequenza diretta definito dall'equazione $\mathbf{E}_d = \mathbf{E}_{dv} - \mathbf{Z}_d \cdot \mathbf{I}_d$.
2. bipolo di sequenza inversa definito dall'equazione $\mathbf{E}_i = \mathbf{E}_{iv} - \mathbf{Z}_i \cdot \mathbf{I}_i$
3. bipolo di sequenza zero definita dall'equazione $\mathbf{E}_0 = \mathbf{E}_{0v} - \mathbf{Z}_0 \cdot \mathbf{I}_0$

Sono tre bipoli attivi, se ci si riferisce all'ipotesi più generale di generatori non simmetrici. Se però, come accade nella pratica degli impianti, i generatori possono ritenersi simmetrici, considerando diretta la terna da essi generata, i tre bipoli sono definiti dalle equazioni:

1. bipolo di sequenza diretta: $\mathbf{E_d} = \mathbf{E_{dv}} - \mathbf{Z_d} \cdot \mathbf{I_d}$.
2. bipolo di sequenza inversa $\mathbf{E_i} = -\mathbf{Z_i} \cdot \mathbf{I_i}$
3. bipolo di sequenza zero $\mathbf{E_0} = -\mathbf{Z_0} \cdot \mathbf{I_0}$



Studio dei guasti

Per guasto si intende un contatto tra le parti attive, quindi tra le fasi, tra le fasi ed il neutro, o tra le parti attive ed il terreno. Questo contatto può avvenire con impedenza nulla, nel qual caso si parla di cortocircuito netto, o con impedenza diversa da zero.

Riterremo valida l'ipotesi di generatori privi di tensioni di sequenza inversa e zero.

Il guasto impone, nella sezione in cui avviene, valori di tensioni e correnti che definiscono, in generale, terne non simmetriche.. Sono allora presenti tensioni e correnti di tutte le sequenze.

Nella sezione di guasto le componenti di sequenza devono soddisfare, contemporaneamente, alle equazioni dei bipoli di sequenza ed alle equazioni corrispondenti alle condizioni imposte dal tipo di guasto. Si perviene ad un sistema complesso di 6 equazioni in 6 incognite: le tre componenti di sequenza delle tensioni e le tre delle correnti. Ricavate le componenti di sequenza, si calcolano le effettive terne del sistema. Il sistema di equazioni è un vincolo per i bipoli di sequenza, che determina tra gli stessi una configurazione di collegamento che caratterizza il guasto evidenziandone l'interdipendenza dei parametri.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{E}_d = \dot{E}_{dv} - \dot{Z}_d \cdot \dot{I}_d \\ \dot{E}_i = -\dot{Z}_i \cdot \dot{I}_i \\ \dot{E}_0 = -\dot{Z}_0 \cdot \dot{I}_0 \\ f(\dot{E}_d, \dot{E}_i, \dot{E}_0, \dot{I}_d, \dot{I}_i, \dot{I}_0) = 0 \\ g(\dot{E}_d, \dot{E}_i, \dot{E}_0, \dot{I}_d, \dot{I}_i, \dot{I}_0) = 0 \\ h(\dot{E}_d, \dot{E}_i, \dot{E}_0, \dot{I}_d, \dot{I}_i, \dot{I}_0) = 0 \end{array} \right.$$

Le ultime tre equazioni del sistema sono esplicitate dalle condizioni imposte dal guasto.

Vediamo due casi tipici.

Cortocircuito fase - neutro (o terra)

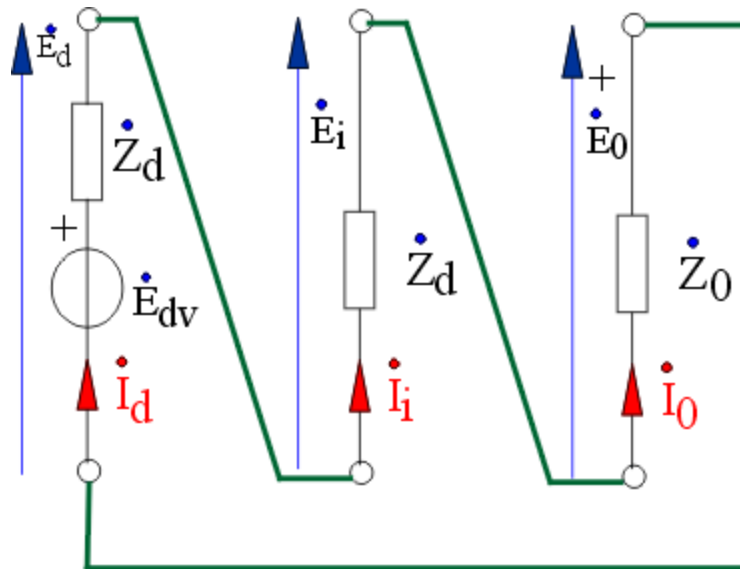
Il corto si verifichi nella fase 1. Le condizioni imposte dal guasto sono allora:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= 0 \\ \dot{I}_2 &= 0 \\ \dot{I}_3 &= 0 \end{aligned}$$

Applicando la scomposizione a queste due terne dissimmetriche di tensione e di corrente, le ultime tre equazioni del sistema diventano:

$$\begin{aligned} \dot{E}_d + \dot{E}_i + \dot{E}_0 &= 0 \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_d \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_i \end{aligned}$$

relazioni che portano a riconoscere che i tre bipoli di sequenza nel guasto fase-terra risultano in serie.



Si ricava allora che

$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_{dv}}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_0}$$

quindi

$$\dot{I}_1 = \frac{3 \cdot \dot{E}_{dv}}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i + \dot{Z}_0}$$

Cortocircuito fase - fase

Siano la 2 e la 3 le fasi interessate. Le condizioni definite dal guasto sono:

$$\dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

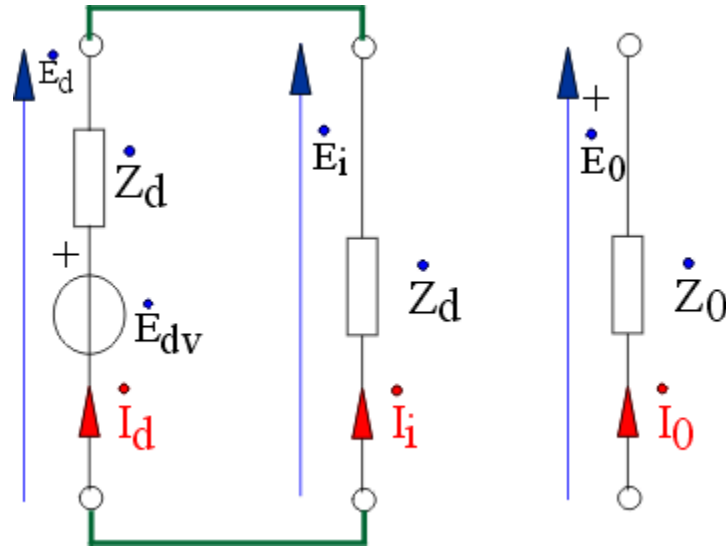
$$\dot{I}_1 = 0$$

$$\dot{E}_2 = \dot{E}_3$$

ed applicando alle due terne le regole di scomposizione si rendono esplicite le equazioni f , g , h del sistema:

$$\begin{aligned}\dot{E}_d &= \dot{E}_i \\ \dot{I}_d &= -\dot{I}_i \\ \dot{I}_0 &= 0\end{aligned}$$

che consentono di dire che il guasto tra le due fasi corrisponde al parallelo dei bipoli di sequenza diretta ed inversa, mentre il bipolo di sequenza zero rimane aperto.



Si ricava allora

$$\dot{I}_d = \frac{\dot{E}_{dv}}{\dot{Z}_d + \dot{Z}_i}$$

quindi

$$\dot{I}_3 = j \cdot \sqrt{3} \cdot \dot{I}_d$$

POTENZA

In una qualsiasi rete trifase le potenze attive e reattive totali sono rispettivamente la somma delle potenze attive e reattive proprie di ciascuna sequenza. Sintetizzando con la potenza complessa scriveremo

$$\dot{S} = 3 \cdot (\dot{E}_0 \cdot \check{I}_0 + \dot{E}_d \cdot \check{I}_d + \dot{E}_i \cdot \check{I}_i)$$

Quando coesistono tensioni e correnti delle diverse sequenze la potenza fluttuante non è più nulla, quindi la potenza istantanea non è costante.

In un sistema monofase la potenza fluttuante può essere rappresentata dal vettore, rotante nel piano complesso con velocità angolare pari al doppio della pulsazione di tensione e corrente:

$$\dot{P}_f = \dot{U} \cdot \dot{I}$$

Analogamente la potenza fluttuante trifase può essere espressa dal vettore

$$\dot{P}_f = 3 \cdot (\dot{E}_0 \cdot \dot{I}_0 + \dot{E}_d \cdot \dot{I}_d + \dot{E}_i \cdot \dot{I}_i)$$