



Fe de erratas - agosto 2021

La intensidad total: $I = I_1 + I_2 + I_3 = 175,09 - 88,01j = 196 \angle -26,69^\circ \text{ A}$

3) Método de separación de potencias.

En el primer receptor:

$$P_1 = \sqrt{3} V_{L1} I_1 \cos \varphi_1 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 57,74 \cdot 1 = 40\,003,4 \text{ W}$$

$$Q_1 = \sqrt{3} V_{L2} I_1 \sin \varphi_1 = 0 \text{ VAr}$$

En el segundo receptor:

$$P_2 = 4\,499 \text{ W}$$

$$Q_2 = \sqrt{3} V_{L2} I_2 \sin \varphi_2 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 8,12 \cdot 0,6 = 3\,375,42 \text{ VAr}$$

En el tercer receptor:

$$P_3 = \sqrt{3} V_{L3} I_3 \cos \varphi_3 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 138,56 \cdot 0,8 = 76\,797,75 \text{ W}$$

$$Q_3 = \sqrt{3} V_{L3} I_3 \sin \varphi_3 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 138,56 \cdot 0,6 = 57\,598,31 \text{ VAr}$$

Las potencias activas y reactivas totales:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 121,3 \text{ kW}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 60,974 \text{ kVAr}$$

La potencia aparente: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{121,3^2 + 60,974^2} = 135,763 \text{ kVA}$

La intensidad total por fase: $I = \frac{S}{V} = \frac{135\,763}{\sqrt{3} \cdot 400} = 196 \text{ A}$

El factor de potencia total: $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{121,3}{135,763} = 0,893$

1.4-7. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores siguientes:

- Receptor en estrella de resistencia por fase 100Ω y reactancia despreciable.
- Receptor en triángulo de resistencia por fase 100Ω y reactancia despreciable.

Calcular:

- Intensidad de línea del primer receptor.
- Intensidad de línea del segundo receptor.
- Intensidad de línea total.

Solución: a) 2,3 A; b) 6,93 A; c) 9,23 A

1.4-8. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores siguientes:

- Receptor en estrella de impedancia $Z_1 = 50 \angle 37^\circ \Omega$ por fase.
- Receptor en triángulo de impedancia $Z_2 = 3 + 4j \Omega$ por fase.

Calcular:

- Intensidad de línea del primer receptor.
- Intensidad de línea del segundo receptor.
- Intensidad de línea y factor de potencia total.

Solución: a) 4,6 A; b) 138,56 A; c) 143 A, 0,607

1.4-9. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores siguientes:

- Receptor trifásico equilibrado que consume una potencia aparente de 10 kVA, con factor de potencia 0,8 inductivo.

La intensidad I_{TR} :

$$I_{TR} = \frac{V_{TR}}{Z_{TR}} = \frac{400 \angle -120^\circ}{10 \angle 90^\circ} = 40 \angle -210^\circ = (-34,64 + 20j) \text{ A}$$

La intensidad I_{ST} :

$$I_{ST} = \frac{V_{ST}}{Z_{ST}} = \frac{400 \angle 0^\circ}{10 \angle 0^\circ} = 40 \angle 0^\circ = (40 + 0j) \text{ A}$$

La intensidad I_R se calcula aplicando la primera ley de Kirchhoff al punto de conexión de la fase R:

$$I_R + I_{TR} = I_{RS}; \quad I_R = I_{RS} - I_{TR} = 103,92 + 20j = 105,83 \angle 11^\circ \text{ A}$$

De forma análoga:

$$I_S = I_{ST} - I_{RS} = -29,28 - 40j = 49,57 \angle -126,2^\circ \text{ A}$$

$$I_T = I_{TR} - I_{ST} = -74,64 + 20j = 77,27 \angle 165^\circ \text{ A}$$

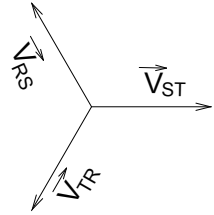


Fig. 1.12

1.5-2. A una línea trifásica de 300 V, 50 Hz se conecta un receptor en triángulo. La rama RS del triángulo es una resistencia de 300Ω ; las ramas ST y TR son resistencias de 100Ω . Calcular:

- Intensidad I_{RS} .
- Intensidad I_{TR} .
- Intensidad de línea I_R

Solución: a) 1 A; b) 3 A; c) 3,61 A

1.5-3. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz se conecta un receptor en triángulo. Las ramas RS y ST del triángulo son resistencias de 100Ω ; la rama TR es una bobina de impedancia $Z = 100 \angle 30^\circ \Omega$. Calcular las intensidades de línea.

Solución: $I_R = 5,66 \text{ A}$;

$I_S = 6,93 \text{ A}$; $I_T = 7,73 \text{ A}$

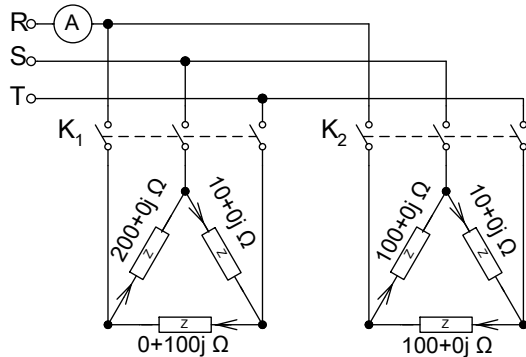


Fig. 1.13

1.5-4. En la línea trifásica de 400 V, 50 Hz, con los receptores que indica la figura 1.13, calcular la indicación del amperímetro en los casos siguientes:

- El interruptor K_1 abierto y K_2 cerrado.
- El interruptor K_1 cerrado y K_2 abierto.
- Los dos interruptores cerrados.

Solución: a) 6,93 A; b) 2,48 A; c) 7,09 A

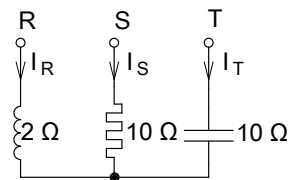


Fig. 1.14

1.5-9. A una línea trifásica con neutro, de tensión compuesta o de línea 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores que indica la figura 1.19.

- Un motor monofásico entre la fase R y el neutro de potencia nominal 0,75 CV, factor de potencia 0,8 y rendimiento a plena carga 80 %.
- Un motor trifásico de 5,5 CV, factor de potencia 0,8 y rendimiento a plena carga 90 %.

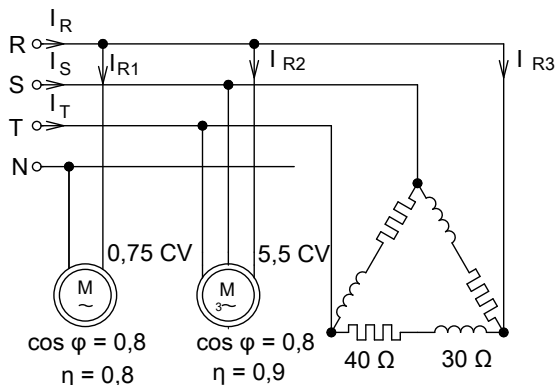


Fig. 1.19

- Receptor en triángulo con una bobina de resistencia 40 Ω y reactancia 30 Ω por rama. Calcular la intensidad de línea en la fase R.

Solución: $I_R = 25,73 \text{ A}$

1.5-10. A una línea trifásica de 380 V, 50 Hz, se conectan los receptores que indica la figura 1.20:

- Un receptor de impedancia $Z_1 = 10 \angle 30^\circ$ conectado entre las fases R y S.
- Un receptor trifásico en estrella de impedancia de fase $Z_2 = 20 \angle -30^\circ$

Calcular la indicación del amperímetro. La tensión entre fase y neutro o tensión de fase:

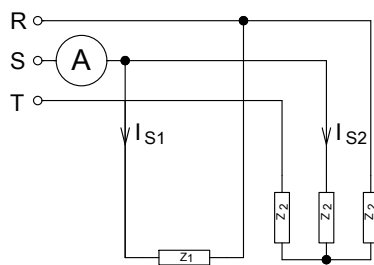


Fig. 1.20

$$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

Considerando la tensión V_R como origen de fases (fig. 1.21): $V_R = 220 \angle 0^\circ$, $V_S = 220 \angle -120^\circ$, $V_{RS} = 380 \angle 30^\circ$ y V_{SR} es opuesta a V_{RS} ; $V_{SR} = 380 \angle -150^\circ$

La intensidad en la fase S del primer receptor:

$$I_{S1} = \frac{V_{SR}}{Z_1} = \frac{380 \angle -150^\circ}{10 \angle 30^\circ} = 38 \angle -180^\circ = (-38 + 0j) \text{ A}$$

La intensidad en la fase S del segundo receptor:

$$I_{S2} = \frac{V_S}{Z_2} = \frac{220 \angle -120^\circ}{20 \angle -30^\circ} = 11 \angle -90^\circ = (0 - 11j) \text{ A}$$

La intensidad total en la fase S:

$$I_s = I_{S1} + I_{S2} = -38 - 11j = 39,56 \angle -163,86^\circ \text{ A}$$

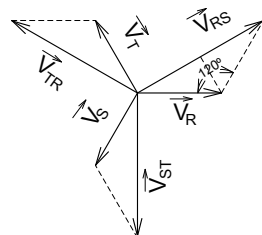


Fig. 1.21

2.2-9. Calcular la intensidad admisible en un cable tetrapolar con conductores de aluminio, aislados con XLPE, tensión 0,6/1 kV, sección 35 mm² en instalación interior enterrada bajo tubo y separada de otra instalación entubada 0,25 m.

Tabla 2.8. Intensidades máximas admisibles (A) en instalaciones receptoras con canalización enterrada. Cables unipolares o multiconductores directamente o bajo tubo. Temperatura del terreno 25 °C. Resistividad térmica del terreno 2,5 K·m/W. Según la norma UNE-HD 60364-5-52 (extracto de la tabla C.52-2 bis)

Sección mm ²	COBRE				ALUMINIO			
	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento							
	PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3	PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
1,5	20	17	24	21	—	—	—	—
2,5	27	22	32	27	20	17,5	24	21
4	36	29	42	35	27	22	32	27
6	44	37	53	44	34	28	40	34
10	59	49	70	58	45	38	53	45
16	76	63	91	75	58	49	70	58
25	98	81	116	96	76	62	89	74
35	118	97	140	117	91	76	107	90
50	140	115	166	138	107	89	126	107
70	173	143	204	170	133	111	156	132
95	205	170	241	202	157	131	185	157
120	233	192	275	230	179	149	211	178
150	264	218	311	260	202	169	239	201
185	296	245	348	291	228	190	267	226
240	342	282	402	336	263	218	309	261
300	387	319	455	380	297	247	349	295

Tabla 2.9. Factores de reducción por agrupamiento de varios circuitos en conductos enterrados, según la norma UNE-HD 60364-5-52 (extracto de la tabla B.52-19)

N.º cables o circuitos unipolares	CABLES MULTICONDUCTORES				CABLES UNIPOLARES			
	Distancia entre conductos en metros							
	0	0,25	0,5	1,0	0	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,70	0,80	0,85	0,90	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,6	0,80	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,90

La intensidad admisible 90-0,9 = 81 A.

2.2-10. Calcular la intensidad admisible en una instalación interior, canalización bajo tubo empotrado en pared de obra, con 3 o 4 conductores unipolares de cobre de sección 16 mm² aislados con PVC, tensión asignada 400/750 V.

La intensidad máxima admisible en instalaciones interiores según el REBT, (ITC-BT-19) y la norma UNE-HD 60364-5-52; para conductores de cobre o aluminio, aislados con termoplásticos (PVC, Z1 y similares) o termoestables (XLPE, EPR, Z y similares), tensión de aislamiento hasta 1 kV y temperatura ambiente 40 °C se indica en la tabla 2.10.

económica será aquella que dé lugar a un volumen de material mínimo.

En la práctica se divide la línea en tramos que se calculan independientemente, considerando todas las cargas que soporta y su caída de tensión.

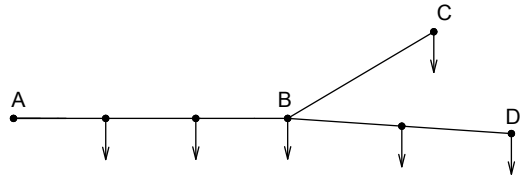


Fig. 2.9

La caída de tensión total debe ser

la suma de las caídas de tensión parciales, desde el origen al extremo de la línea.

Para una línea de finales ramificados como la de la figura 2.9, la caída de tensión u_1 en el tramo inicial AB, que da lugar a un volumen mínimo, siendo u la caída de tensión total, se calcula:

$$u_1 = \frac{u}{1 + \sqrt{\frac{C \cdot L_{BC} + D \cdot L_{BD}}{B \cdot L_{AB}}}}$$

Siendo B , C y D los momentos eléctricos de los tramos AB, BC y BD.

$$B = \sum(L I \cos \varphi)_{AB} \quad C = \sum(L I \cos \varphi)_{BC} \quad D = \sum(L I \cos \varphi)_{BD}$$

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

2.6-1. En la línea trifásica a 400/230 V, de la figura 2.10, con conductores de cobre, se admite una caída de tensión total del 2 %. Calcular:

- Caída de tensión en los tramos AB, BC y BD para un volumen mínimo de cobre.
- Sección teórica del conductor de fase en cada tramo.

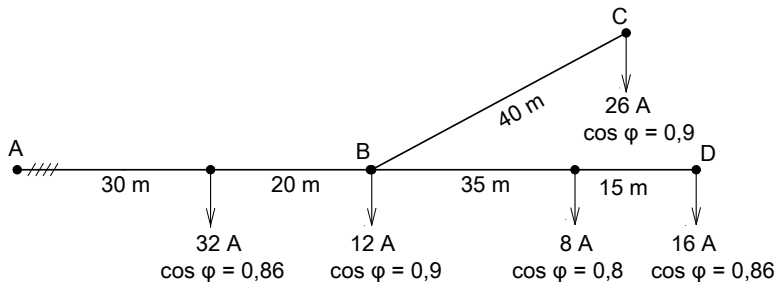


Fig. 2.10

a) El momento eléctrico en los distintos tramos, considerando la intensidad de línea.

$$B = \sum(L I_L \cos \varphi)_{AB} = 30 \cdot 32 \cdot 0,86 + 50 \cdot (12 \cdot 0,9 + 8 \cdot 0,8 + 16 \cdot 0,86 + 26 \cdot 0,9) = 3543,6 \text{ A} \cdot \text{m}$$

$$C = \sum(L I_L \cos \varphi)_{BC} = 40 \cdot 26 \cdot 0,9 = 936 \text{ A} \cdot \text{m}$$

$$D = \sum(L I_L \cos \varphi)_{BD} = 35 \cdot 8 \cdot 0,8 + 50 \cdot 16 \cdot 0,86 = 912 \text{ A} \cdot \text{m}$$

- Conductores aislados en el interior de tubos en montaje superficial.
- Conductores aislados en el interior de canales protectoras.
- Canalizaciones prefabricadas.
- Conductores aislados en el interior de conductos cerrados de obra de fábrica.

El cálculo de la sección de los conductores se realiza según la carga prevista (ITC-BT-10), considerando la caída de tensión y la intensidad permitida, norma UNE-HD 60364-5-52. La caída de tensión permitida es del 1 % cuando los contadores están parcialmente concentrados y del 0,5 % si están totalmente concentrados (ITC-BT-14).

Tabla 8.1. Instalación bajo tubo de la línea general de alimentación (ITC-BT-14)

Secciones (mm ²)	Fase	10 (Cu)	16 (Cu)	16 (Al)	25	35	50	70	95	120	150	185	240
	Neutro	10	10	16	16	16	25	35	50	70	70	95	120
Diámetro exterior de los tubos (mm)		75	75	75	110	110	125	140	140	160	160	180	200

En general, salvo justificación por cálculo, la sección del conductor neutro será igual a la del conductor de fase.

Otro tipo de canalizaciones permitirán ampliar un 100 % la sección de los conductores.

8.8. EQUIPO DE MEDIDA

Es el conjunto de contadores y demás elementos destinados a medir el consumo de energía eléctrica. La instalación se realiza según el REBT (ITC-BT-16) y de acuerdo con las normas de la empresa suministradora. Para consumo mayor de 250 A se necesita más de una LGA

La colocación puede ser individual, con caja de protección y medida CPM, para el suministro a un único usuario o a dos usuarios alimentados desde un mismo lugar.

El equipo de medida para contadores concentrados en local o en armario (para 16 contadores como máximo) está formado por el interruptor general de maniobra (160 A o 250 A), protección contra sobretensiones (si es necesario) y las unidades funcionales siguientes: embarrado general y fusibles de seguridad, medida, mando (opcional), recarga de vehículo eléctrico, autoconsumo (si es necesario), telecomunicaciones (opcional), embarrado de protección y bornes de salida.

El local para la centralización de contadores es cerrado, dedicado solo a este fin, situado preferentemente en la planta baja del edificio, lo más cerca posible a la entrada y cerca de la canalización vertical de las derivaciones individuales. Su acceso es por lugares de uso común. Están contruidos con materiales no inflamables, ventilados, con alumbrado de emergencia y puertas de acceso que se abren hacia el exterior.

8.9. DERIVACIÓN INDIVIDUAL

Es la parte de la instalación que partiendo de la línea general de alimentación suministra energía eléctrica a una instalación de usuario.

La instalación se realiza según el REBT (ITC-BT-15) y de acuerdo con las especificaciones de la empresa suministradora. Podrán estar constituidas por los mismos sistemas de instalación que la línea general de alimentación.

Cada derivación individual será independiente, constará de conductor neutro, fase o

$$u_R = u_{cc} \cos \varphi_{cc} = 4,1 \cdot 0,4 = 1,64 \%; \quad u_X = \sqrt{u_{cc}^2 - u_R^2} = \sqrt{4,1^2 - 1,64^2} = 3,76 \%$$

El factor de potencia de la carga: $\cos \varphi_2 = 0,8$; $\varphi_2 = 36,87^\circ$; $\sin \varphi_2 = 0,6$

El índice de carga cuando se trabaja a plena carga: $\beta = 1$

Entonces la variación de tensión: $u = 1(1,64 \cdot 0,8 + 3,76 \cdot 0,6) = 3,57 \%$

$$u = \frac{V_{2V} - V_2}{V_{2V}} 100; \quad V_2 = \frac{100 - u}{100} V_{2V} = \frac{100 - 3,57}{100} \cdot 230 = 221,79 \text{ V}$$

c) El factor de potencia de la carga capacitiva:

$$\cos \varphi_2 = 0,2; \quad \varphi_2 = -78,46^\circ; \quad \sin \varphi_2 = -0,9798$$

El índice de carga cuando trabaja a media carga: $\beta = \frac{1}{2}$

La variación porcentual de tensión en bornes del secundario:

$$u = \frac{1}{2} (1,64 \cdot 0,2 - 3,76 \cdot 0,9798) = -1,68 \%$$

La tensión en bornes del secundario: $V_2 = \frac{100 + 1,68}{100} \cdot 230 = 233,86 \text{ V}$

B.4. La placa de características de un transformador monofásico indica los siguientes datos: 100 kVA, 6000/400 V, 50 Hz, $u_{cc} = 4 \%$. Calcular:

a) Intensidad de corriente de cortocircuito en el secundario, considerando la red de alimentación del transformador de potencia infinita.

b) Potencia aparente de cortocircuito.

a) La intensidad de cortocircuito en el secundario: $I_{cc} = \frac{I_{2n}}{u_{cc}} 100$

La intensidad nominal del secundario: $I_{2n} = \frac{S_n}{V_{2n}} = \frac{100\,000}{400} = 250 \text{ A}$

Entonces: $I_{cc} = \frac{250}{4} \cdot 100 = 6250 \text{ A} = 6,25 \text{ kA}$

b) La potencia de cortocircuito en el secundario:

$$S_{cc} = \frac{S_n}{u_{cc}} 100 = \frac{100\,000}{4} \cdot 100 = 2\,500\,000 \text{ VA} = 2,5 \text{ MVA}$$

B.5. Se ensaya un transformador monofásico de 100 kVA, 6000/230 V, 50 Hz. El ensayo en cortocircuito se realiza conectando el devanado de alta tensión a una fuente de tensión regulable, alterna senoidal de frecuencia 50 Hz. Los datos obtenidos en el ensayo son: 300 V, 16,67 A, 1,8 kW.

El ensayo en vacío se realiza conectando el devanado de baja tensión a una tensión alterna senoidal, 230 V, 50 Hz siendo el consumo de potencia de 400 W.

Calcular:

a) Rendimiento a plena carga, con factor de potencia 0,8 inductivo.

b) Rendimiento a tres cuartos de plena carga con igual factor de potencia.

c) Potencia aparente de rendimiento máximo.

d) Rendimiento máximo con factor de potencia unidad.