

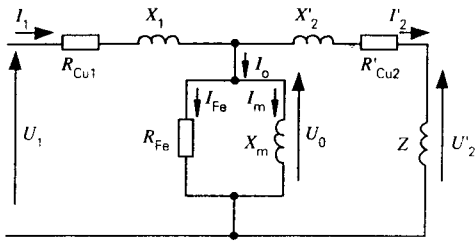
Transformadores monofásicos

Transformador ideal $a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2}$

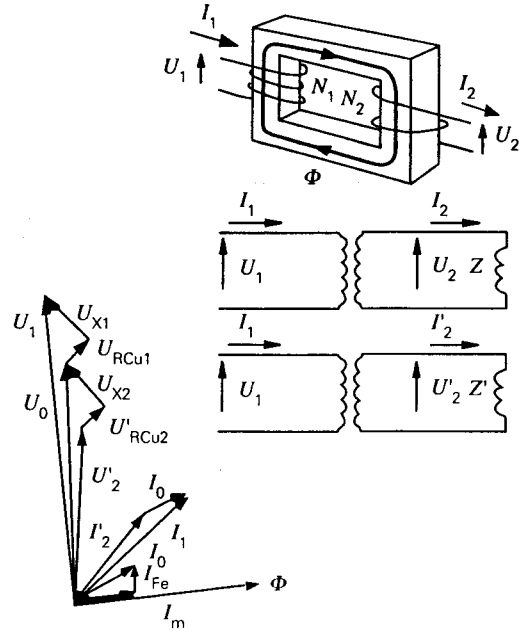
Conversión de magnitudes en el transformador refiriéndolas a la tensión de entrada (transformación de resistencia)

$Z' = Z \cdot a^2$
 $R' = R \cdot a^2$
 $X' = X \cdot a^2$

Transformador real



$U_2' = U_2 \cdot a$
 $I_2' = I_2 \cdot \frac{1}{a}$
 $Z' = Z \cdot a^2$
 $R'_{Cu2} = R_{Cu2} \cdot a^2$
 $X'_{2} = X_{2} \cdot a^2$



En vacío	Cortocircuito	En carga	Altas frecuencias
$R_{Cu} \ll R_{Fe}$ $X \ll X_m$	R_{Fe} y X_m despreciables, dado que $I_0 \ll I_2'$ $R_{Cu} = R_{Cu1} + R'_{Cu2}$ $X = X_1 + X'_2$	$R_{Cu1} \approx R'_{Cu2}$ $X_1 \approx X'_2$	$R_{Cu} \cdot R_{Fe} < X$ X_m despreciables, dado que $I_c \ll I_2'$
Medición de R_{Fe} y P_{Fe}	Medición de R y P	U_1' depende de I_1' y de φ , válido para transformadores de potencia	

Ecuación principal de los transformadores

$$U = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$U = 4,44 \phi \cdot f \cdot N$$

Mediante la ecuación principal de los transformadores se determina la tensión de vacío a partir de las mediciones de construcción del transformador.

ϕ : Flujo magnético; f : frecuencia; N : número de espiras

Tensión de cortocircuito

$$U_c = \frac{U}{U_1} \cdot 100\%$$

Si estando el secundario en cortocircuito pasa la intensidad nominal por el primario entonces en el primario está aplicada la tensión de cortocircuito U_c .

Corrientes de cortocircuito (avería)

$$I_{cc} = \frac{I}{U_c} \cdot 100\%$$

$$I = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

Transformadores trifásicos, conceptos, magnitudes características, circuitos

(DIN VDE 0532, Parte 1/03.82; DIN VDE 0532, Parte 4/03.82)

Conceptos	Arrollamientos
<ul style="list-style-type: none"> Tensión nominal U: tensión que ha de aplicarse o compuesta tensión de vacío. Intensidad nominal I: corriente correspondiente a la de línea carga nominal. Arrollamiento de tensión superior (arrollamiento AT): arrollamiento con la tensión nominal más alta. Arrollamiento de tensión inferior (arrollamiento BT): arrollamiento con la tensión nominal más baja. 	
<ul style="list-style-type: none"> Tensión superior U_{st} Tensión inferior U_{st} Relación de transformación nominal: $a = \frac{U_{\text{AT}}}{U_{\text{BT}}}$ 	<p>Conexión en triángulo</p>
<ul style="list-style-type: none"> Potencia nominal: $S_n = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$ Pérdidas en vacío (pérdidas en el hierro P_{vFe}): potencia activa consumida en vacío. Pérdidas de cortocircuito (pérdidas nominales de los arrollamientos P_{vCu}): se miden en el ensayo de cortocircuito. Pab: potencia total absorbida Rendimiento 	<p>Conexión en estrella</p>
<ul style="list-style-type: none"> Grupo de conexión Dy5 	<p>Conexión en zig-zag</p>
<ul style="list-style-type: none"> Grupo de conexión, indica la conexión del arrollamiento AT (letra mayúscula) y la conexión del arrollamiento BT (letra minúscula) así como el desfase entre la tensión superior y la inferior, conexión en triángulo D o d, conexión en estrella Y o y, conexión en zig-zag z, Neutro de estrella N o n, sacado al exterior. Cifra característica $\times 30^\circ$ igual al ángulo de desfase. 	<p>Grupo de conexión Dy5</p>

Grupo de conexión	Relación de transformación	Gráfico vectorial		Grupo de conexión	Relación de transformación	Gráfico vectorial	
		AT	BT			AT	BT
Y y 0	$\frac{N_1}{N_2}$			Y z 5	$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$		
D y 5	$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$			Y y 6	$\frac{N_1}{N_2}$		
Y d 5	$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$			D y 11	$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$		

Placas de identificación de los transformadores

(DIN VDE 0532, Parte 1/03.82; DIN VDE 0532, Parte 10/03.82)

Placa de identificación de un transformador en baño de aceite con conmutador

Nombre o anagrama de la empresa					
Tipo	Número	Año de construcción	VDE 0532		
Potencia nominal	kVA	160	Clase	LT	Frecuencia nominal
					Hz
	1	20.400			Grupo de conexión
					Yzn
Tensión nominal V	2	20.000	400	Um	kV
	3	19.600			24/1.1
Intensidad nominal	A	4.62	231	Clase de aislamiento	
Tensión nominal de cortocircuitos %	4.1				
	Intens. permanente de cortocircuito kA				
Clase de protección			Duración de cortocircuito máx. s2		
Clase de refrigeración			DNAN		
Peso total	t1,0	t0,27			

Indicaciones mínimas

- Clase de transformador.
- Nombre del fabricante.
- Año de construcción.
- Potencia nominal.
- Tensiones nominales.
- Grupo de conexión.
- Peso total.
- Número VDE.
- Número de fabricación.
- Número de fases.
- Frecuencia nominal.
- Intensidades nominales.
- Tensión nominal de cortocircuito.
- Peso de aceite

Indicaciones complementarias

- Clase de aislamiento.
- Esquema.
- Características del acceso-rio.
- Líquido aislante.
- Sobretemperatura.
- Clase de tomas intermedias.
- Peso para transporte.

Designaciones de los bornes de las máquinas y reóstatos (C.E.I.)

Dínamos y motores de corriente continua

- A y B. Bornes empalme arrollamiento inducido.
- C y D. Bornes empalme arrollamiento inductor en derivación.
- E y F. Bornes empalme arrollamiento inductor en serie.
- G y H. Bornes conexión arrollamiento polos auxiliares o de conmutación.
- J y K. Bornes arrollamiento inductor excitación independiente.
El borne A siempre con el + de línea.

Motores trifásicos

- U, Y, W. Entradas bobinados estator.
- X, Y, Z. Salidas bobinados estator.
- u, v, w. Terminales arrollamiento de rotor trifásico.
- u, x/y, v. Terminales arrollamiento de rotor bifásico.
- R, S, T. Hilos línea

Reóstatos arranque motores trifásicos

- X, Y, Z. En reóstatos con tres bornes.
- R, S, T. En reóstatos con seis bornes.
- U, V, W.
- U, X/Y, V. Para rotores bifásicos.
- U, V, W. Para rotores trifásicos.

Transformadores

- U, V, W. Bornes de alta tensión.
- u, v, w. Bornes de baja tensión.
- R, S, T. Línea.

1.º Transformadores de intensidad

- P1 P2 Primario.
- 1S1 1S2 1.º Secundario.
- 2S1 2S2 2.º Secundario.

2.º Transformador de tensión en tomas

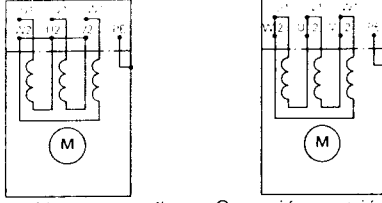
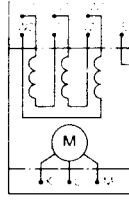
- A B o N Primario.
- a1 a2 a3, etc., b o n. Secundario.

La conexión AB es entre fases y la An es entre fase y neutro.

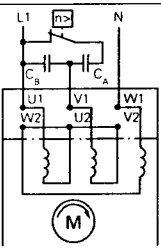
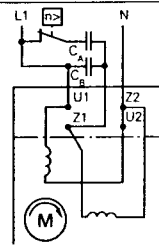
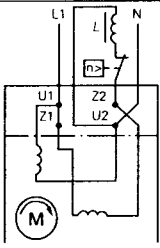
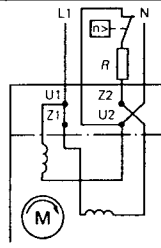
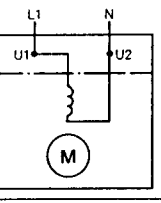
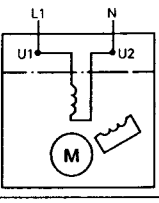
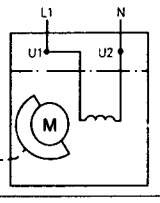
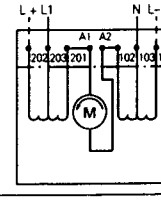
3.º Tranformadores de tensión

- A, B o N Primario.
- 1a, 1b o 1n 1.º Secundario.
- 2a, 2b o 2n 2.º Secundario.

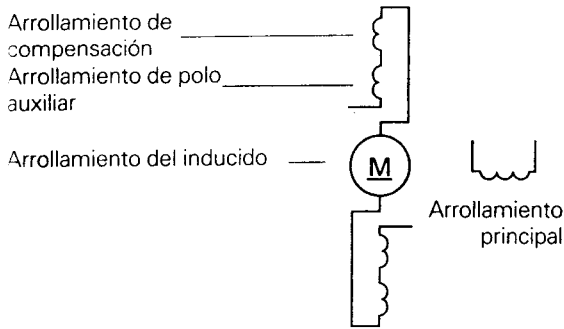
Motores asíncronos trifásicos

$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} \text{ (r.p.m.)}$ $n_r = n_s - n$	$s = \frac{n_s - n}{n_s}$ <p>s: Deslizamiento</p> $s_{\%} = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\%$ <p>s_%: Deslizamiento en %</p>	$P_{act} = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ $\eta = \frac{P_{mec}}{P_{act}}$ $P_{mec} = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$
	<p>Motor de rotor en cortocircuito o jaula de ardilla</p>	<p>Motor de rotor de anillos rozantes</p>
Esquema	 <p>Conexión en estrella Conexión en triángulo</p>	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Robusto. • De reducido mantenimiento. • Compacto. • Mal arranque. • Problemas en el control de la velocidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige relativamente poco mantenimiento. • Buen arranque. • Posibilidad de controlar la velocidad mediante una resistencia en el circuito del inducido.
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas herramientas • Equipos elevadores pequeños. • Máquinas de transformación. • Maquinaria agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos elevadores. • En situaciones de arranque difícil. • Máquinas con grandes masas inertes. • Máquinas herramientas grandes.

Motores de corriente alterna conectados a una red monofásica

	Motor trifásico conectado a tensión alterna	Motor de corriente alterna con arrollamiento auxiliar		
		Motor de condensador	Con inductividad	Con resistencia
Esquema				
Propiedades	Comportamiento de excitación en derivación, bajo grado de rendimiento.	Comportamiento de excitación en derivación, con C _A elevado par de arranque.	Comportamiento de excitación en derivación, arranque desfavorable cosφ reducido.	Comportamiento de excitación en derivación, construcción sencilla.
Aplicaciones	Maquinaria de construcción.	Electrodomésticos, tales como lavadoras y similares.	Se utiliza pocas veces.	Electrodomésticos, tales como lavadoras y similares.
	Motor de corriente alterna sin fase auxiliar	Motor de polos hendidos	Motor de repulsión	Motor universal
Esquema				
Propiedades	Es necesario arrancarlo.	Comportamiento de excitación en derivación, construcción sencilla, rendimiento bajo.	Comportamiento de excitación en serie	Comportamiento de excitación en serie
Aplicaciones	Ocasionalmente para maquinaria para la construcción.	Para pequeñas potencias, p.e. en electrodomésticos.	Máquinas textiles.	Electrodomésticos, herramientas eléctricas de mano.

Motores de corriente continua



$$P_{ab} = U \cdot I_a + U_f \cdot I_f$$

$$\eta = \frac{P}{U \cdot I + U_f \cdot I_f}$$

$$R_t = R_a + R_w + R_k$$

- U_a : Tensión en el arrollamiento del inducido.
- U_f : Tensión en el arrollamiento de campo.
- R : Resistencia interna.
- R_a : Resistencia del arrollamiento del inducido.
- R_w : Resistencia del arrollamiento del polo auxiliar.
- R_k : Resistencia del arrollamiento de compensación.
- R_f : Resistencia del arrollamiento de campo.
- I_a : Corriente del arrollamiento del inducido.
- I_f : Corriente del arrollamiento de campo.

	Motor con excitación independiente	Motor de excitación en paralelo	Motor de excitación en serie	Motor Compound
Esquema (dibujado sin los arrollamientos de polo auxiliar ni de compensación).				
Corriente de arranque	$I_A = \frac{U}{R_f}$	$I_A = \frac{U}{R_f} + \frac{U}{R_t}$	$I_A = \frac{U}{R_t + R_f}$	$I_A = \frac{U}{R_f + R_{t,ser}} + \frac{U}{R_{t,par}}$
Propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa variación de las revoluciones al variar la carga. • Control de las revoluciones a través de la tensión del inducido o la corriente del campo. • El arrollamiento del inducido y el arrollamiento del campo pueden tener eventualmente tensiones diferentes. 		<ul style="list-style-type: none"> • Elevado par de arranque. • Las revoluciones dependen de la carga. • En vacío eventualmente se embala. • Control de las revoluciones mediante variación de tensión o variación de la corriente de campo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Según la combinación, comportamiento preterentemente como motor de excitación en paralelo, o en serie. • Inestable con arrollamiento Compound diferencial.
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Control de revoluciones mediante convertidor Leonard, o rectificador controlado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas herramientas. • Instalaciones transportadoras 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos eléctricos. • Equipos elevadores. • Motor de arranque de automóvil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas herramientas. • Accionamiento de masas de inercia, p.e. prensas, máquinas de troquelar, cizallas. • Accionamiento de trenes de laminación.

Arranque de los motores

Clase de motor	Clase de arranque	Esquema	Propiedades	Aplicación
Motor de rotor en cortocircuito o de jaula de ardilla	Resistencias en serie.		$I - U$ $M - U$	Motores de corriente alterna $P > 1,4 \text{ kW}$
	Arranque estrella-triángulo.		$I = \frac{1}{3} \cdot I_{\Delta}$ $M = \frac{1}{3} \cdot M_{\Delta}$ Corriente regulada $= 0,58 \cdot I$	Motores trifásicos $I_{\Delta} > 60 \text{ A}$
	Transformador de arranque.		$I - U$ $M - U$ Relativamente caro.	Grandes potencias, motores de alta tensión.
Motor de rotor de anillos rozantes	Reostato variable en el rotor		Corriente de arranque reducida, par de arranque elevado, posibilidad de controlar las revoluciones mediante las resistencias.	Grandes máquinas herramientas, bombas, equipos elevadores.
Motor de corriente continua	Resistencia en serie R_{an} .		$R_{an} = \frac{U}{I_{A \text{ max}}} - R_i$ R_{an} : Resistencia de arranque. I_A : Corriente de arranque. R_s : Resistencia de regulación del campo. R : Resistencia interna	Máquina herramienta

Protección de los motores (DIN VDE 0530 Parte 1/12.84; DIN VDE 0660 Parte 104/09.82)

Clase de avería	Peligro para	Dispositivo de protección
Derivación a través de la carcasa	Personas y animales.	Medidas de protección según DIN VDE 0100, Parte 410.
Cortocircuito	Acometida del motor. Interruptor o contacto del motor. Guardamotor o relé del motor. Arrollamiento del motor.	Fusibles, interruptor de protección de línea, interruptor de potencia.
Sobrecarga	Acometida del motor.	Fusibles, interruptor de protección de línea, interruptor de potencia.
	Motor.	Guardamotor, guardamotor térmico.

Con independencia de su régimen de funcionamiento y su ejecución, los motores se pueden sobrecargar durante 15 s a la tensión nominal (y frecuencia nominal) con 1,6 veces la corriente de red.

Requisitos para la protección de los motores:

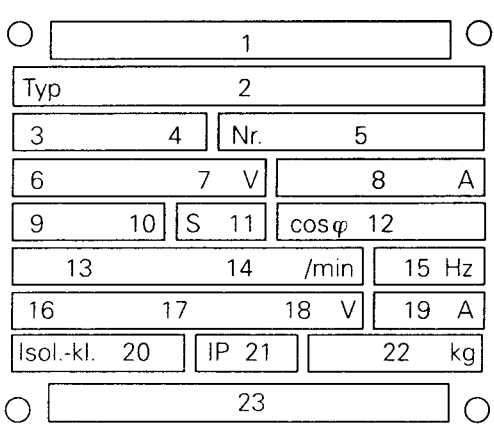
- Posibilidad de carga permanente a la intensidad nominal.
- Corriente de regulación variable.
- Debe ser una reproducción térmica del motor.
- Debe vigilar la corriente en todas las vías de corriente.

Guardamotor	Relé de protección del motor	Guardamotor térmico (protección integral del motor)

Criterios para la elección de los motores

Condiciones previas	Posibilidades de ejecución	Condiciones previas	Posibilidades de ejecución
Red de alimentación de energía	Red trifásica	Comportamiento en servicio	Comportamiento de la velocidad al variar la carga p.e. comportamiento de excitación en serie. comportamiento de excitación en derivación. comportamiento de motor síncrono.
	p.e. 6 kV, 3/N 50 Hz 500 V, 3 ~50 Hz 400 V, 3/N 50 Hz		
	Red de corriente alterna monofásica	Condiciones de puesta en marcha	Procedimiento de arranque, p.e. arrancador de resistencia, arrancador estrella-triángulo, transformador de arranque, arranque en carga
	15 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz (Red ferroviaria) 230 V, 50 Hz		
	Red de corriente continua	Régimen de funcionamiento	S 1 ... S 8
110 V, 125 V, 220 V, 250 V, 440 V, 600 V			
Velocidad, gama de revoluciones	Velocidad nominal. Varias velocidades nominales. Gama de revoluciones. Forma de control de las revoluciones	Condiciones de servicio	Clase de protección, p.e. IP 44. Tipo de protección, p.e. protección contra explosiones. Forma de construcción, p.e. IM 3.
Potencia	Potencia nominal - potencias nominales. Protección de la intensidad nominal. Protección Sección de acometida	Equipos complementarios	Convertidores electrónicos, convertidores de máquina, dispositivos guardamotors. Equipos de arranque, línea de acometida, tipo de acoplamiento, reductor, cimentación

Placas de identificación de máquinas rotativas (DIN 42 961/06.80)

		Número correlativo	Explicación
		9	Potencia nominal Indicación en kW para motores, generadores de corriente continua y de inducción. Potencia aparente en kVA en generadores síncronos y máquinas de potencia reactiva.
		10	Unidad de potencia, p.e. kW.
		11	Régimen de funcionamiento nominal.
		12	Factor de potencia.
		13	Sentido de giro.
		14	Velocidad nominal en rpm.
		15	Frecuencia nominal.
		16	«Err» (excitación), para máquinas de corriente continua y máquinas síncronas. «Lfr» (inducido) para máquinas asíncronas.
		17	Forma de conexión del arrollamiento del inducido (ver casilla 6).
		18	Máquinas de corriente continua y síncronas: tensión nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: tensión de parada del inducido (régimen nominal).
		19	Máquinas de corriente continua y síncronas: corriente nominal de excitación. Motores con inducido de anillos rozantes: intensidad nominal del rotor.
		20	Clase de aislamiento.
		21	Clase de protección.
		22	Peso en kg o t.
		23	Número y año de edición de la disposición VDE tomada como base.
Número correlativo	Explicación		
1	Nombre del fabricante.		
2	Identificación del tipo complementado por tamaño de construcción, forma de construcción.		
3	Clase de corriente.		
4	Clase de máquina: p.e. generador, motor, etc.		
5	Número de fabricación.		
6	Identificación del tipo de conexión del arrollamiento.		
7	Tensión nominal.		
8	Intensidad nominal.		