



AEA 90909

CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN SISTEMAS TRIFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA

PARTE 1 – Informe Técnico

FACTORES PARA EL CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO CONFORME A AEA 90909-0



IT AEA 90909-1

Corrientes de Cortocircuito en Sistemas Trifásicos de Corriente Alterna

Parte 1: Factores para el cálculo de las corrientes de cortocircuito conforme a AEA 90909-0

ÍNDICE GENERAL

Cláusula	Subcláusula	Contenido	Página
1		General	
	1.1	Objeto y campo de aplicación	8
	1.2	Normas para consulta	8
	1.3	Aplicación de los factores	8
	1.3.1	Factores C	8
	1.3.2	Factores K_G y K_S o K_{SO}	8
	1.3.3	Factores $K_{G,S}$, $K_{T,S}$ o $K_{G,SO}$, $K_{T,SO}$	9
	1.3.4	Factor K_T	9
	1.3.5	Factor K	9
	1.3.6	Factores μ , λ y q	9
	1.3.7	Factores m y n	9
	1.3.8	Contribución de los motores asíncronos a la corriente simétrica inicial de cortocircuito	9
	1.4	Símbolos, subíndices y superíndices	9
	1.4.1	Símbolos	9
	1.4.2	Subíndices	10
	1.4.3	Superíndices	10
2		Factores utilizados en AEA 90909-0	
	2.1	Factor C para la fuente de tensión equivalente en el punto de cortocircuito	10
	2.1.1	Generalidades	11
	2.1.2	Métodos de cálculo	11
	2.1.3	Fuente de tensión equivalente en el punto de cortocircuito y factor de tensión C	12
	2.1.4	Un modelo simple que ilustra el significado del factor de tensión C	13
	2.2	Factores de corrección de impedancia para el cálculo de las impedancias de cortocircuito de generadores, unidades transformadoras y grupos de generación	18
	2.2.1	Generalidades	18
	2.2.2	Factor de corrección K_G	18
	2.2.3	Factores de corrección para grupos de generación con conmutador bajo carga	21



Cláusula	Subcláusula	Contenido	Página
	2.2.4	Factores de corrección para grupos de generación sin conmutador bajo carga	32
	2.2.5	Influencia del factor de corrección de impedancia para grupos de generación para el cálculo de la corriente de cortocircuito en redes malladas y las corrientes máximas de cortocircuito en la condición de carga más desfavorable	36
	2.3	Factor de corrección de impedancia K_T para el cálculo de las impedancias de cortocircuito de los transformadores de redes	39
	2.3.1	Generalidades	39
	2.3.2	Ejemplo para un transformador de red $S_{rT} = 300 MVA$	41
	2.3.3	Examen estadístico de 150 transformadores de redes	45
	2.3.4	Factores de corrección de impedancias para transformadores de redes en redes malladas	46
	2.4	Factor K para el cálculo de la corriente pico de cortocircuito	48
	2.4.1	Generalidades	48
	2.4.2	Factor K en circuitos R-L serie	49
	2.4.3	Factor K en ramas en paralelo R-L-Z	52
	2.4.4	Cálculo de la corriente pico de cortocircuito i_p en redes malladas	55
	2.4.5	Ejemplo para el cálculo de K e i_p en redes malladas	57
	2.5	Factor μ para el cálculo de la corriente simétrica de ruptura de cortocircuito	58
	2.5.1	Generalidades	58
	2.5.2	Conceptos básicos	59
	2.5.3	Cálculo de la corriente simétrica de ruptura de cortocircuito I_b con el factor μ	62
	2.6	Factor λ ($\lambda_{máx}$, $\lambda_{mín}$) para el cálculo de la corriente permanente de cortocircuito	63
	2.6.1	Generalidades	63
	2.6.2	Influencia de la saturación del hierro	65
	2.7	Factor q para el cálculo de la corriente de ruptura de cortocircuito de los motores asíncronos	68
	2.7.1	Generalidades	68
	2.7.2	Cálculo del factor q	69
	2.7.3	Corrientes de ruptura de cortocircuito en el caso de fallas desequilibradas	73
	2.8	Factores m y n para el cálculo de la integral de Joule o de la corriente térmica equivalente de cortocircuito	74
	2.8.1	Generalidades	74
	2.8.2	Corriente trifásica de cortocircuito en función del tiempo	75
	2.8.3	Factor m	76
	2.8.4	Factor n	76



Cláusula	Subcláusula	Contenido	Página
	2.8.5	Factor n en AEA 90909-0, figura 22	77
	2.9	Evaluación de la contribución de los motores asíncronos o grupos de motores asíncronos (motores equivalentes) a la corriente simétrica inicial de cortocircuito	79
	2.9.1	Generalidades	79
	2.9.2	Cortocircuito en bornes de motores asíncronos	80
	2.9.3	Corrientes parciales de cortocircuito de motores asíncronos alimentados a través de transformadores	80
	2.9.4	Suma de las corrientes parciales de cortocircuito de varios grupos de motores asíncronos alimentados a través de varios transformadores	82
Bibliografía			85
Índice de figuras y tablas			
Figura 1		Modelo para establecer la relación entre la caída de tensión Δu y la desviación de la corriente de cortocircuito $\Delta i_k''$	13
Figura 2		Cálculo de $\Delta i_k''$ conforme a la ecuación [8] para diferentes parámetros	16
Figura 3		Corriente parcial de cortocircuito $\underline{I}_{kG(S)}''$ de un generador directamente conectado a una red	19
Figura 4		Cálculo de $\underline{I}_{kG(S)}''$ por el método de superposición	19
Figura 5		Corriente simétrica parcial de cortocircuito I_{kS}'' de un grupo de generación S , en el lado de alta tensión de la unidad transformadora con conmutador bajo carga	21
Figura 6		Simulación de un grupo de generación con conmutador bajo carga	23
Figura 7		Corriente parcial de cortocircuito de un grupo de generación obtenida con el método de superposición	25
Figura 8		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones calculadas con la ecuación [33] {22} y {23}	26
Figura 9		Grupo de generación con conmutador bajo carga y transformador auxiliar $F1$, $F2$ y $F3$: puntos de cortocircuito ($I_{kMF1}'' = I_{kMF2}''$)	27
Figura 10		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones $\Delta_{G(v)}$ de acuerdo a la ecuación [39] para corrientes parciales de cortocircuito de generadores en 47 grupos de generación con conmutadores bajo carga {23}. Punto de defecto $F1$ en la figura 9	29
Figura 11		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones $\Delta_{T(v)}$ conforme a la ecuación [42] para las corrientes parciales de cortocircuito de las unidades transformadoras en 47 grupos de generación con conmutador bajo carga {23} – Punto de defecto $F1$ en la figura 9	30
Figura 12		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones $\Delta_{T(v)}$ conforme a la ecuación [42], ver figura 11, si se prevé para el cálculo de $I_{kT(S)}''$ solamente el funcionamiento dentro de la zona de sobreexcitación {23}	31
Figura 13		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones $\Delta_{F2(v)}$ conforme a la ecuación [46] para la corriente parcial de cortocircuito I_{kF2}'' (figura 9) en el caso de funcionamiento sub o sobreexcitado antes del cortocircuito	32
Figura 14		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones calculadas con la ecuación [50], {22} y {23}	34
Figura 15		Frecuencia acumulativa H de las desviaciones calculadas con la ecuación [39] para 27 generadores de grupos de generación sin conmutador bajo carga	34



Índice de figuras y tablas

Figura 16	Frecuencia acumulativa H de las desviaciones calculadas con la ecuación [42] para 27 unidades transformadoras de grupos de generación sin conmutador bajo carga	35
Figura 17	Frecuencia acumulativa H de las desviaciones calculadas con la ecuación [46] para la corriente parcial de cortocircuito I_{kF2}'' (figura 9) de grupos de generación sin conmutador bajo carga	36
Figura 18	Frecuencia acumulativa H de las desviaciones Δ {13}	39
Figura 19	Cálculo de $I_{kT(S)}'' = \underline{I}^b + \underline{I}_{kTU}^b$ con el método de superposición {19} y {25}	41
Figura 20	Corrientes de cortocircuito $\underline{I}_{kT(S)}''$ en función de t , U^b y S_{kQ}'' para el transformador de red $S_{rT} = 300 MVA$ (datos en el texto)	42
Figura 21	Desviaciones Δ_{NT} calculadas mediante la ecuación [64] para el transformador $S_{rT} = 300 MVA$	44
Figura 22	Frecuencia acumulativa H de las desviaciones Δ_{NT} calculadas mediante la ecuación [64] 1: $K_T = 1,0$; 2: K_T conforme a la ecuación [63] con $I_T^b / I_{rT} = 1$	46
Figura 23	Cálculo del factor κ en el caso de un cortocircuito trifásico con alimentación única (circuito $R-L$ serie)	50
Figura 24	Factor κ y t_p ($f = 50 Hz$) en función de R / X o de X / R	51
Figura 25	Diagrama del circuito equivalente para el cálculo de κ en el caso de dos ramas en paralelo (sistema de secuencia directa)	52
Figura 26	Factor κ para el cálculo de $i_p = \kappa \sqrt{2} I_k''$ en el caso de dos ramas en paralelo como se muestra en la figura 25, con $Z_I = Z_{II}$, $0,005 \leq R_I / X_I \leq 1,0$ y $0,005 \leq R_{II} / X_{II} \leq 10,0$	53
Figura 27	Caídas $\Delta\kappa_a$, $\Delta(1,15 \kappa_b)$ y $\Delta\kappa_c$ con respecto al valor exacto de κ dentro del rango $0,005 \leq Z_I / Z_{II} \leq 1,0$ para la configuración de la figura 25	55
Figura 28	Ejemplo para el cálculo de κ e i_p con los métodos a), b) y c) (AEA 90909-0, 4.3.1.2)	57
Figura 29	Configuración y características de la red (cortocircuito con única alimentación) y los datos relevantes para mostrar el decrecimiento de la componente simétrica de corriente alterna de un cortocircuito cercano al generador	60
Figura 30	Decrecimiento de la corriente simétrica de cortocircuito (factor μ) determinado a partir de cálculos y de mediciones en laboratorios {5}	63
Figura 31	Método de la curva de saturación que permite calcular la reactancia de Potier X_p de acuerdo con {4}	66
Figura 32	Circuito equivalente con la fuente de tensión $E_0(I_f)$ y la reactancia de Potier X_p	66
Figura 33	Factor q obtenido a partir de valores medidos y calculados de $I_{bM} = \mu q I_{kM}''$, ecuación [91], para diferentes t_{min} , en comparación a $q = q_{IEC}$ (AEA 90909-0, figura 17)	70
Figura 34	Valores de μ , q , μq y $e^{-t/T_{AC}}$ en función del tiempo, utilizados para el cálculo de la corriente simétrica de ruptura de cortocircuito $I_{bM} = \mu q I_{kM}''$ en el caso de una falla en bornes de un motor asíncrono	71



Índice de figuras y tablas		
Figura 35	Constantes de tiempo reales T_{AC} para la determinación de la corriente simétrica de ruptura de cortocircuito I_{bM} y en comparación a $T_{\mu q} = -t_{min} / \ln(\mu q)_{IEC}$ (para número de motores ver Tabla 4)	73
Figura 36	Valor de I_{bM} / I_{kM}'' , en función del tiempo, en el caso de un cortocircuito equilibrado (I_{b3M} / I_{kM}'') y un cortocircuito bifásico (I_{b2M} / I_{kM}'') en bornes de un motor asincrónico (ejemplo: Motor N° 28 de la Tabla 4)	74
Figura 37	Contribución de un motor asincrónico o un grupo de motores asincrónicos a la corriente simétrica inicial de cortocircuito $I_k'' = I_{kQ}'' + I_{kM}''$	80
Figura 38	Ejemplo para estimar la corriente parcial de cortocircuito I_{kM}'' proporcionada por un único motor asincrónico o un motor equivalente	81
Figura 39	Corrientes parciales de cortocircuito provenientes de varios grupos de motores asincrónicos alimentados a través de varios transformadores (ver las restricciones en el texto)	83
Figura 40	Estudio de los términos izquierdo y derecho de la ecuación [118] para determinar la caída Δ de acuerdo a la ecuación [120]: $u_{kr} = 0,06 \Rightarrow 6\%$, $I_{LR} / I_{rM} = 5$ para los transformadores y grupos de motores	84
Tabla 1	Tensiones y corrientes antes del cortocircuito en el lado de baja tensión de los transformadores de redes	45
Tabla 2	Resultados de cálculos en redes de alta tensión malladas con factores de corrección de impedancia para grupos de generación y con K_T conforme a la ecuación [65] para las desviaciones Δ de la ecuación [66] {19}	48
Tabla 3	Valores de K para el ejemplo en la figura 28	58
Tabla 4	Datos para motores asincrónicos de media y baja tensión (50 Hz) y valores calculados	72
Tabla 5	Datos para el generador modelo {15}	78



PARTE 1 – Informe Técnico

FACTORES PARA EL CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO CONFORME A AEA 90909-0

1 General

1.1 Objeto y campo de aplicación

Esta parte de AEA 90909 es un informe técnico aplicable a las corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Este informe técnico pretende mostrar el origen y la aplicación, hasta donde sea necesario, de los factores utilizados como respuesta a la doble exigencia de precisión técnica y simplicidad, cuando se aborda el cálculo de las corrientes de cortocircuito de acuerdo a AEA 90909.

En consecuencia este informe técnico debe considerarse como un complemento de AEA 90909-0. No obstante, no modifica las bases para el procedimiento normalizado de cálculo dado en AEA 90909-0.

Nota: En ocasiones se dan referencias, no con el objeto de modificar el procedimiento establecido en la norma, sino para ofrecer ayuda adicional.

1.2 Normas para consulta

IEC 60038: 1983, *Tensiones normales IEC*

AEA 90909-0:2004, *Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna – Parte 0: Cálculo de las corrientes*

IEC/TR 60909-2:1992, *Equipamiento eléctrico – Datos para el cálculo de la corriente de cortocircuito de acuerdo con IEC 60909 (1988)*

IEC/TR 60909-4:2000, *Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna – Parte 4: Ejemplos para el cálculo de las corrientes de cortocircuito*

1.3 Aplicación de los factores

1.3.1 Factores C

Los factores de tensión $c_{m\acute{a}x}$ y $c_{m\acute{i}n}$ son utilizados junto con la fuente de tensión equivalente en el punto de cortocircuito, con el objeto de calcular las corrientes máxima y mínima iniciales de cortocircuito (ver 2.1).

1.3.2 Factores K_G y K_S o K_{SO}

Los factores de corrección de impedancia K_G y K_S o K_{SO} se introducen para el cálculo de las impedancias de cortocircuito de generadores y grupos de generación (con o sin conmutador bajo carga) (ver 2.2).