

ETAP User Group - No.29

IEC規格による 短絡電流計算の留意点と解析評価



2018年11月27日 10:00am – 18:00pm
株式会社 エルテクス設計 亀田 和之



Agenda

- 適用規格について理解する
- 電気機器や保護装置の性能、能力、定格について理解する
- 電気設備の特長、ETAPの機能を理解して、系統のモデリングを行う
- ETAPの計算結果と保護装置の能力を基に、正しい評価を行う
- 正しい評価に基づき、有効な（実施可能な）対策を検討する



適用規格について理解する

ETAP は、IEC, ANSI, GOST による短絡電流計算に対応

IEC	ANSI	GOST
3-Phase Faults – Device Duty (IEC 60909)	3-Phase Faults – Device Duty	3-Phase Device Duty
Panel 1-Ph UPS/1-Ph System Device Duty	Panel 1-Ph UPS/ 1-Ph System Device Duty	Maximum LG, LL, LLG and 3-Phase Faults
LG, LL, LLG & 3-Phase Faults (IEC 60909)	LG, LL, LLG & 3-Phase Faults – 1/2 Cycle	Minimum LG, LL, LLG and 3-Phase Faults
3-Phase Faults – Transient Study (IEC 61363)	LG, LL, LLG & 3-Phase Faults – 1.5-4 Cycle	Short-Circuit Display Options
Short-Circuit Display Options	LG, LL, LLG & 3-Phase Faults – 30 Cycle	Unit Display Options
Alert View	Short-Circuit Display Options	Fault Current Type Display Options
Short-Circuit Report Manager	Alert View	Alert View
Short-Circuit Plots	Short-Circuit Report Manager	Short-Circuit Report Manager
IEC Short-Circuit Analyzer	Short-Circuit Result Analyzer	Halt Current Calculation
Halt Current Calculation	Halt Current Calculation	Get Online Data
Get Online Data	Get On-Line Data	Get Archived Data
Get Archived Data	Get Archived Data	

ETAP は、IEC 規格に完全に準拠

Standard Compliance

ETAP short-circuit calculation per IEC Standards fully complies with the latest IEC documentation as listed below:

Standard	Pub. Year	Title
IEC 62271-100	2003	High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating-current circuit breakers
IEC 62271-200	2003	High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
IEC 62271-203	2003	High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV
IEC 60282-2	1997	High-voltage fuses – Part2: Expulsion fuses
IEC 61363-1	1998	Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units – Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c.
IEC 60909-0	2016	Short-Circuit Currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of Currents
IEC 60909-1	2002	Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC-60909-0
IEC 60909-2	1992	Electrical equipment - Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 60909 (1988)
IEC 60909-4	2000	Short-circuit currents in three-phase a.c. systems Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents
IEC 60947-1	2004	Low voltage switchgear and control gear, Part 1: General rules
IEC 60947-2	2003	Low voltage switchgear and control gear, Part 2: Circuit breakers

These standards are for short-circuit calculation and equipment rating in AC systems with nominal voltages operating at 50 Hz or 60 Hz. They cover 3-phase, line-to-ground, line-to-line, and line-to-line-to-ground faults.

IEC 60909 について理解する



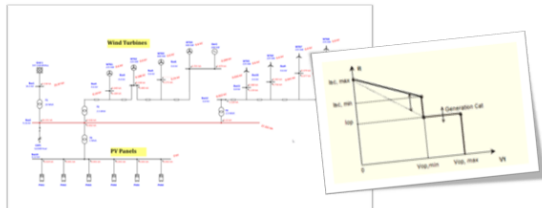
2001年版 =>
2016年版



2001年版 => 2016年版
主な変更点

IEC 909 Device Duty Short Circuit *Enhanced*

Compliance with IEC 909-2016 ed. 2



etap 18 Features & Capabilities

Wind Turbine Generator - WTG-1

Info Rating Imp/Model SC Model FRT Turbine Wind Controls In

Generic 1.8 kV 5500 kW

Short-Circuit Current

ANSI Short-Circuit

Voltage S.C. Current

Vop,min 90 % I_{max} 150 % 2940 A

Vop,max 110 % I_{min} 100 % 1960 A

Reactive Current Support

S.C. PF Real Power Support

User-Defined PF

Auto Trip

Control Adjustment Angle

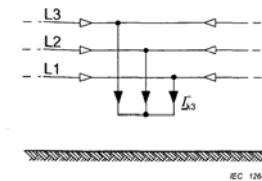
φ Deg.

Source of short-circuit current: Max and min fault current in percent of FLA (Full-load current)

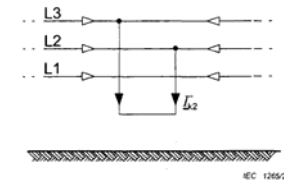
The image shows the current-limiting curve for the current magnitude, when an inverter operated in its current limiting mode.

Control adjustment angle applied when PF cannot be maintained under SC conditions.

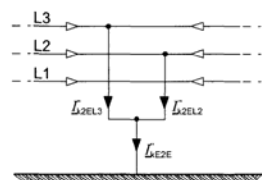
短絡事故の種類 Types of Short-Circuit Faults



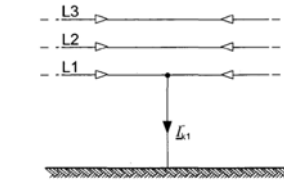
3相短絡



線間短絡



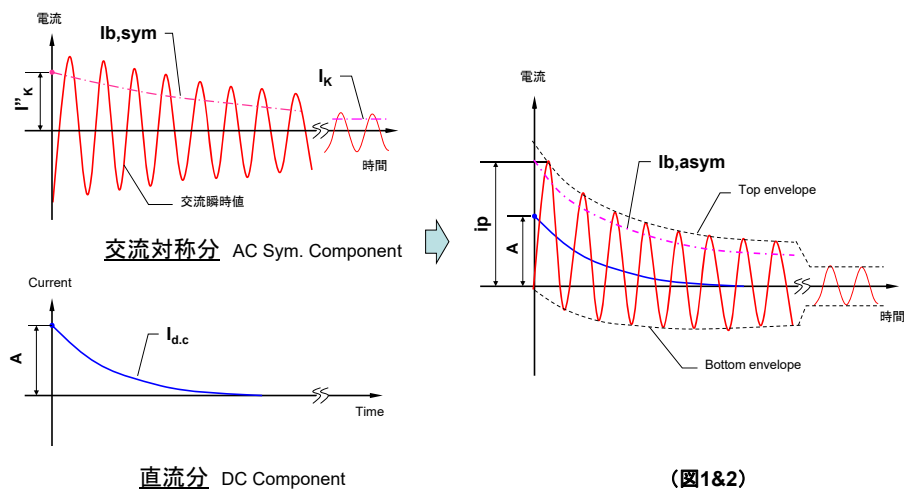
2線地絡



1線地絡

(図3)

短絡電流の構成要素 Component of Short-Circuit Currents



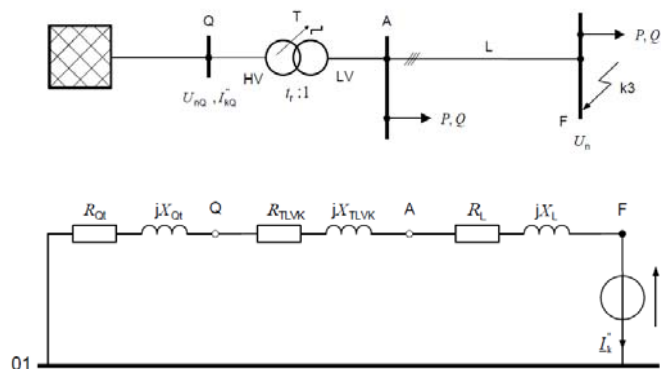
IEC 909 による短絡電流計算

- 初期対称実効値 (I''_k) Initial Symmetrical Short-Circuit Current
- ピーク値 (i_p) Peak Short-Circuit Current
- 遮断電流値 (I_b) Short-Circuit Breaking Current
- 定常電流値 (I_k) Steady-State Short-Circuit Current
- 直流分 (i_{dc}) DC Component
- 熱等価短絡電流値 (I_{th}) Thermal Equivalent Short-Circuit Current

初期対称実効値を求める (I''_k)

(1/2)

系統構成の例

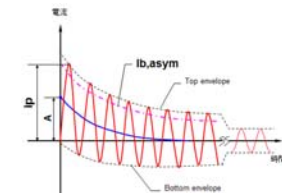


初期対称実効値を求める (I''_k)

(2/2)

I''_k の計算式

$$I''_k = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}}$$



(33)

- 事故点における等価電圧源 (Equivalent Voltage Source)
- 母線の公称電圧および電圧係数に基づく等価電圧源
- インピーダンス Z_k を求める
- インピーダンス補正係数を適用する

電圧係数 Voltage Factor (c)

(1/2)

Voltage Factor c (± 6% voltage tol)		
Nominal Voltage Un	For Maximum Short-Circuit Current Calculation	For Minimum Short-Circuit Current Calculation
	Cmax	Cmin
Others < 1000 V	1.05	0.95
Medium voltage: > 1 kV to 230 kV	1.10	1.00
High voltage: > 230 kV	1.10	1.00

Voltage Factor c (± 10% voltage tol)		
Nominal Voltage Un	For Maximum Short-Circuit Current Calculation	For Minimum Short-Circuit Current Calculation
	Cmax	Cmin
Others < 1000 V	1.10	0.90
Medium voltage: > 1 kV to 230 kV	1.10	1.00
High voltage: > 230 kV	1.10	1.00

For more detailed information please refer to IEC 60909-2016 Table 1.

(表1)

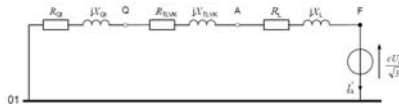
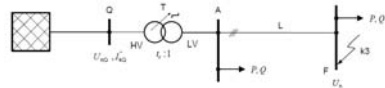
電圧係数 Voltage Factor (c)

(2/2)

- 電圧係数は、運転状態によって運転電圧が公称電圧（計算に用いた値）と異なる場合の **電圧変動係数** といえる
- なぜ、電圧係数を適用するのか？
 - 運転状態によって電圧が変動する
 - 計算値と異なった変圧器のタップ値で運転
 - 静的負荷およびコンデンサによる影響
 - 発電機や電動機の過渡的な影響

インピーダンス Z_k を求める

(1/5)



インピーダンス Z_k を求める

(2/5)



- 同期発電機のデータ (Synchronous Generator Data)**
 短絡電流計算に必要な同期発電機に関するデータは、下記のとおりです。
- 定格容量、電圧および力率 (Rated MW, kV, and power factor)
 - 初期過渡、過渡リアクタンスおよびX/Rの値 (Xd', Xd, and X/R)
 - 発電機のタイプ (Generator type)
 - IECによる励磁機のタイプ (IEC exciter type)
- 同期モータのデータ (Synchronous Motor Data)**
 短絡電流計算に必要な同期モータに関するデータは、下記のとおりです。
- 定格容量、電圧および極数 (Rated kW/hp, kV, and the number of poles)
 - 初期過渡リアクタンスおよびX/Rの値 (Xd'およびX/R)
 - 始動電流率、直軸リアクタンスおよび初期直軸開路時定数(% LRC, Xd, および Tdo'-IECによる短絡電流計算の場合)

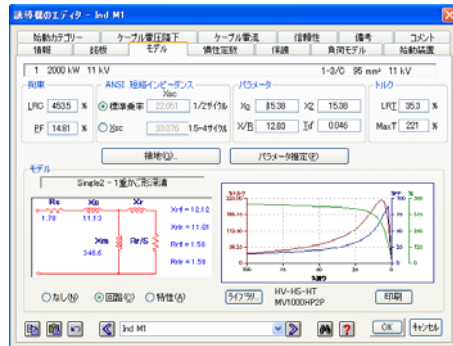
インピーダンス Z_k を求める

(3/5)

誘導電動機のインピーダンス

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_M} = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (30)$$

ここで、 U_{rM} : 定格電圧, I_{LR} : 拘束電流, I_{rM} : 定格電流, S_{rM} : 定格皮相電力



誘導モータのデータ (Induction Machine Data)
 短絡電流計算に必要な誘導モータに関するデータは、下記のとおりです。

- 定格出力および電圧 (Rated kW/hp and kV)
- X/Rの値および下記のデータ (どれか1つ)
 スサイクルおよび1.5から4サイクルにおける X_{sc} (ANSIにて、Short-Circuit Z オプションを X_{sc} と設定した場合)
 %LRC (ANSIにて、Short-Circuit Z オプションを Std MF と設定した場合)
 %LRCおよび Td' (IECによる短絡電流計算の場合)

インピーダンス Z_k を求める

(4/5)

インピーダンス補正係数 (まとめ)

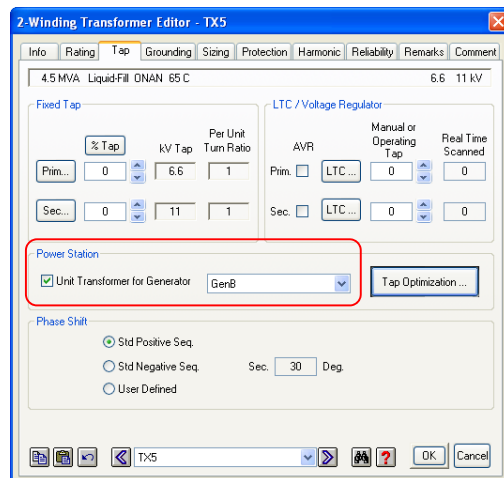
- 配電用変圧器 (with or without OLTC) K_T
- 同期発電機 (発電機用変圧器がない場合) K_G
- 発電機用変圧器 (with OLTC) の系統側で短絡事故 K_S
- 発電機用変圧器 (without OLTC) の系統側で短絡事故 K_{SO}
- 同期発電機と発電機用変圧器 (with OLTC) の間 (F1) で事故 $K_{G,S}$
- 同期発電機と発電機用変圧器 (with OLTC) の間の分岐回路 (F2) で事故 $K_{T,S}$
- 同期発電機と発電機用変圧器 (without OLTC) の間 (F1) で事故 $K_{G,SO}$
($K_{T,SO} = 1$)
- 同期発電機と発電機用変圧器 (without OLTC) の間の分岐回路 (F2) で事故 $K_{G,SO}$
 $K_{T,SO}$

< 詳細は該当するスライドを参照 >

インピーダンス Z_k を求める

(5/5)

インピーダンス補正係数 (発電機用変圧器の規定)



ETAP は、
 変圧器エディタで発電機
 の ID を規定すること
 より、その発電機の 発
 電機用変圧器 (Unit
 Transformer for
 Generator) と規定される。

交流成分の減衰

(1/3)

Near-to Generator と Far-From-Generator

下記の場合、短絡電流は **Near-to Generator**

少なくとも1台の発電機が、発電機定格電流の2倍以上の初期対称短絡電流 (I''_k) を寄与する場合

または

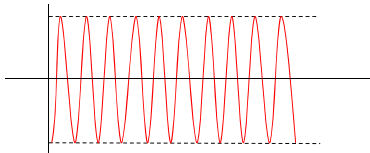
同期電動機および誘導電動機からの寄与電流が、電動機が無い場合の初期対称短絡電流 (I''_k) の5%以上の場合

上記以外の場合、短絡電流は **Far-From-Generator**

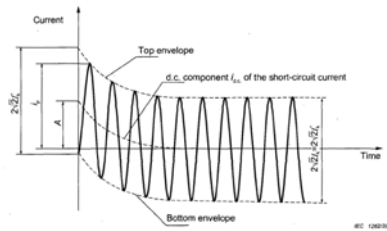
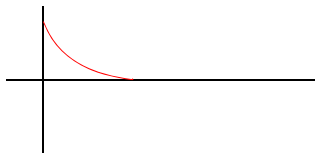
交流成分の減衰 (2/3)

Far-From-Generator の短絡電流

交流成分 (減衰しない)



直流成分 (Zero まで減衰する)

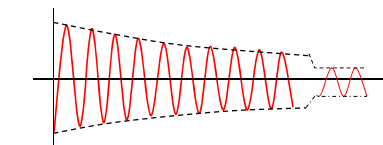


- I_k^p = initial symmetrical RMS short-circuit current
- i_p = peak short-circuit current
- I_k = steady state short-circuit current
- $i_{d.c.}$ = d.c. component of short-circuit current
- A = initial value of the d.c. component id.c.

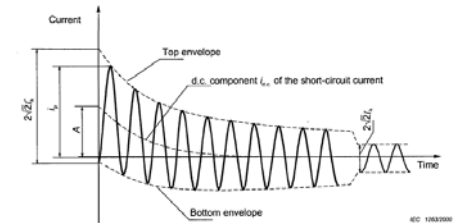
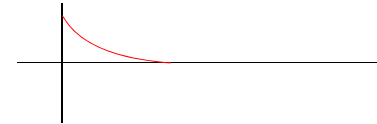
交流成分の減衰 (3/3)

Near-to-Generator の短絡電流

交流成分 (減衰する)



直流成分 (Zero まで減衰する)



- I_k^p = initial symmetrical RMS short-circuit current
- i_p = peak short-circuit current
- I_k = steady state short-circuit current
- $i_{d.c.}$ = d.c. component of short-circuit current
- A = initial value of the d.c. component id.c.

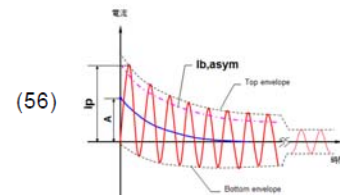
ピーク値 i_p の計算 (1/3)

ピーク値 i_p の基本計算式:

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k^p$$

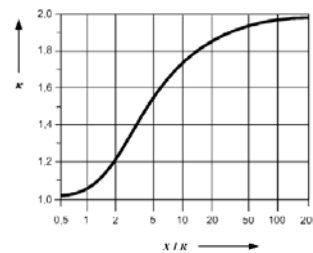
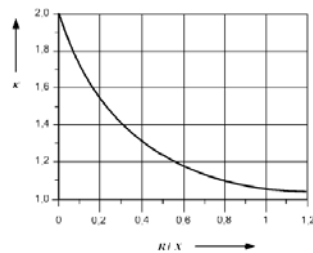
係数 κ は、IEC の式 (57) および 図12 による。

$$\kappa = 1.02 + 0.98e^{-3R/X}$$



(56)

(57)



(図12)

ピーク値 i_p の計算 (2/3)

方法 A :

一定の R/X 比 または X/R 比 を用いて計算

方法Aの場合の係数 K_a は、図12 または式 (57) より、短絡電流をもたらす分岐回路のうち 最小の R/X 比 または 最大の X/R を用いて決定する ($\kappa = K_a$)。

方法 B :

短絡事故点の R/X 比 または X/R 比 を用いて計算

方法Bの場合の係数 K_b は、系統の合成インピーダンスを求めて R/X 比を算出する場合に生じる誤差を補うために、IEC の 図12 または 式 (57) より求めた係数 κ に 安全係数 1.15 を掛けて求める。



- 注記: 1) $R/X < 0.3$ の場合は、係数 1.15 を適用しない。
 2) $1.15\kappa(b)$ の結果は、低圧系統では 1.8 を、中圧および高压系統では 2.0 を超えないものとする。

ピーク値 i_p の計算

(3/3)



方法 C :
等価周波数 $f_c = 20\text{Hz}$ (50Hz の場合)
または 24Hz (60Hz の場合) を用いて
計算

方法Cの場合の係数 K_c は、等価周波
数との比を用いて、IEC の 図12 または
式 (57) より求める。

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c}{X_c} \cdot \frac{f_c}{f} \quad (62)$$

$$\frac{X}{R} = \frac{X_c}{R_c} \cdot \frac{f}{f_c}$$

ここで、 $Z_c = R_c + jX_c \rightarrow$ 等価電圧源の周波数が f_c である短絡事故点から見た等価インピーダンス。

遮断電流値 $I_{b\text{ sym}}$ の計算

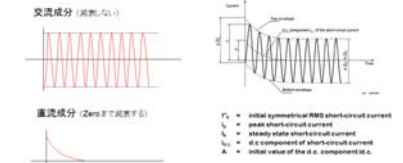
(1/6)

Far-From-Generator の短絡電流

交流成分は減衰しない
 \Rightarrow 交流成分の減衰Page (2/3) 参照

交流成分の減衰

Far-From-Generator の短絡電流



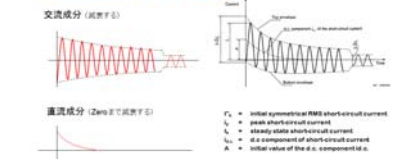
(2/3)

Near-to-Generator の短絡電流

交流成分が減衰する
 \Rightarrow 交流成分の減衰Page (3/3) 参照

交流成分の減衰

Near-to-Generator の短絡電流



(3/3)

ここで、
 $I_{b\text{ asym}} = \sqrt{(I_{b\text{ sym}}^2 + I_{dc}^2)}$

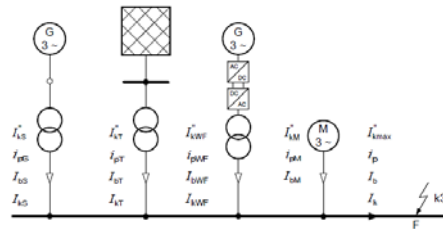
遮断電流値 $I_{b\text{ sym}}$ の計算 (Near-to-Generator) (2/6)

Non-meshed Network と Meshed Network

$$I_b = \mu \cdot I_{k\text{max}} \quad (66) \quad \text{同期機の寄与電流}$$

$$I_b = \mu \cdot q \cdot I_{k\text{max}} \quad (68) \quad \text{誘導機の寄与電流}$$

3相短絡電流 (Non-meshed Networks)



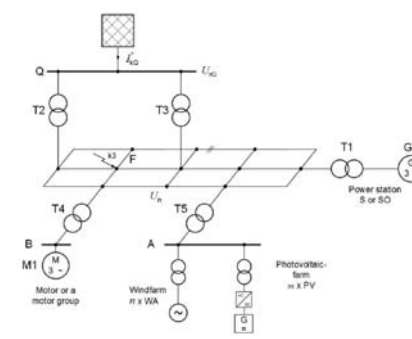
(図10)

$$I_b = \sum I_{bi} \quad (74)$$

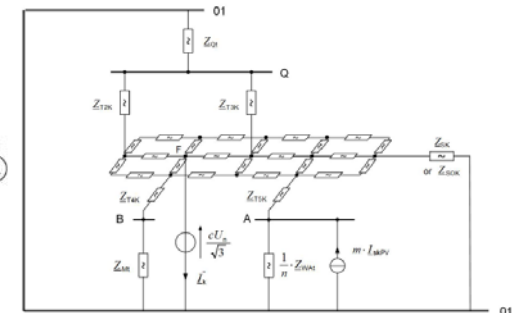
$$I_b = I_{bS} + I_{bT} + I_{bWF} + I_{bM} = \mu \cdot I_{kS} + I_{kT} + I_{kWf\text{max}} + \mu \cdot q \cdot I_{kM} \quad (75)$$

遮断電流値 $I_{b\text{ sym}}$ の計算 (Near-to-Generator) (3/6)

3相短絡電流 (Meshed Networks)



(図10a)



(図10b)

遮断電流値 $I_{b\ sym}$ の計算 (Near-to-Generator) (4/6)

3相短絡電流 (Meshed Networks)

In case of multiple-fed short circuits, current I_b can be calculated by:

$$I_b = I_{kmax}'' \quad (76)$$

Currents calculated with Formula (76) are larger than the real symmetrical short-circuit breaking currents. For increased accuracy, Formula (77) can be used.

$$I_b = I_{kmax}'' - \sum_i \frac{Z_{GKi} \cdot I_{kGi}''}{cU_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_i) \cdot I_{kGi}'' - \sum_j \frac{Z_{Mj} \cdot I_{kMj}''}{cU_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_j q_j) \cdot I_{kMj}'' - \sum_k \frac{Z_{SKk} \cdot I_{kSk}''}{cU_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_k) \cdot I_{kSk}'' - \sum_l \frac{Z_{SOKl} \cdot I_{kSOKl}''}{cU_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_l) \cdot I_{kSOKl}'' - \sum_m \frac{Z_{WAm} \cdot I_{kWAm}''}{cU_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_m) \cdot I_{kWAm}'' - \sum_n \frac{Z_{WDn} \cdot I_{kWDn}''}{cU_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_n) \cdot I_{kWDn}'' \quad (77)$$

遮断電流値 $I_{b\ sym}$ の計算 (Near-to-Generator) (5/6)

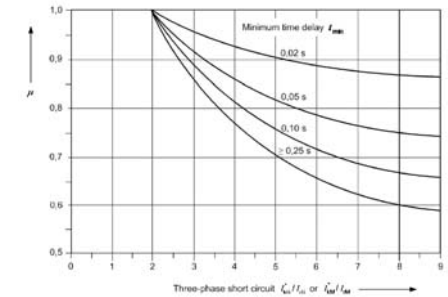
同期機 の I_b の計算式

$$I_b = \mu \cdot I_{kmax}'' \quad (66)$$

係数 μ の計算式

$$\begin{aligned} \mu &= 0,84 + 0,26e^{-0,26 t_{min}'' / I_{rG}''} \quad \text{pour } t_{min} = 0,02 \text{ s} \\ \mu &= 0,71 + 0,51e^{-0,30 t_{min}'' / I_{rG}''} \quad \text{pour } t_{min} = 0,05 \text{ s} \\ \mu &= 0,62 + 0,72e^{-0,32 t_{min}'' / I_{rG}''} \quad \text{pour } t_{min} = 0,10 \text{ s} \\ \mu &= 0,56 + 0,94e^{-0,38 t_{min}'' / I_{rG}''} \quad \text{pour } t_{min} \geq 0,25 \text{ s} \end{aligned}$$

(67)



(図13)

I_{rG}'' / I_{rG}'' が 2 以下の場合 (Far-From-Generator)、全ての遮断時間 (t_{min}) において、 $\mu = 1$ とする。

遮断電流値 $I_{b\ sym}$ の計算 (Near-to-Generator) (6/6)

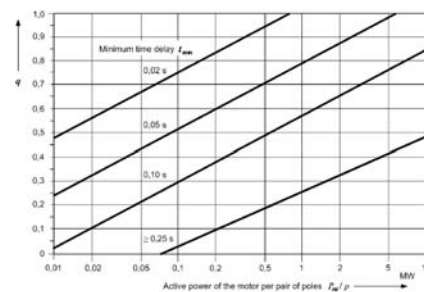
誘導機 の I_b の計算式

$$I_b = \mu \cdot q \cdot I_{kmax}'' \quad (68)$$

係数 q の計算式

$$\begin{aligned} q &= 1,03 + 0,12 \ln(P_{TM} / P) \quad \text{pour } t_{min} = 0,02 \text{ s} \\ q &= 0,79 + 0,12 \ln(P_{TM} / P) \quad \text{pour } t_{min} = 0,05 \text{ s} \\ q &= 0,57 + 0,12 \ln(P_{TM} / P) \quad \text{pour } t_{min} = 0,10 \text{ s} \\ q &= 0,26 + 0,10 \ln(P_{TM} / P) \quad \text{pour } t_{min} \geq 0,25 \text{ s} \end{aligned}$$

(69)



(図14)

ここで、

P_{TM} - 定格有効電力 (MW)

P - 極の対数 (number of pairs of poles of the motor)

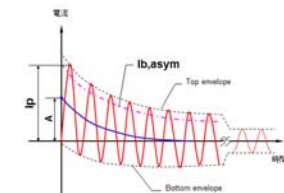
上記の計算値が $q > 1$ の場合、 $q = 1$ とする。

直流分 i_{dc} の計算

(1/1)

$$i_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2\pi \cdot f \cdot t \cdot R/X}$$

I_k'' 初期対称値
 f 系統の周波数
 t 遮断時間 (t_{min})
 R/X R/X 比

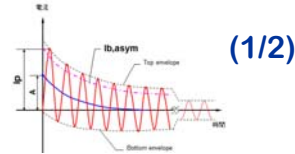


(81)

Meshed Networks の場合、 R/X 比 (または X/R 比) は 方法C で決定する。
 $f \cdot t$ の値により、等価周波数との比 f_c / f を下表のように適用する。

$f \cdot t$	<1	<2,5	<5	<12,5
f_c / f	0,27	0,15	0,092	0,055

定常値 I_k の計算



■ 発電機単独の場合

最大短絡電流定常値 (Generator maximum excitation)

$$I_{kmax} = \lambda_{max} \cdot I_{rG} \quad (83)$$

最小短絡電流定常値 (Generator no-load excitation)

$$I_{kmin} = \lambda_{min} \cdot I_{rG} \quad (84)$$

(I_{rG} : 発電機の定格電流)

■ 3相短絡電流 (Non-meshed Networks)

$$I_k = \sum_i I_{ki} \quad (88)$$

$$I_k = I_{kS} + I_{kT} + I_{kWF} = \lambda I_{rGt} + I_{kT}'' + I_{kWF} \quad (89)$$

■ 3相短絡電流 (Meshed Networks)

$$I_{kmax} = I_{bMO} \quad (90)$$

$$I_{kmin} = I_{kmin}'' \quad (91)$$

定常値 I_k の計算

(2/2)

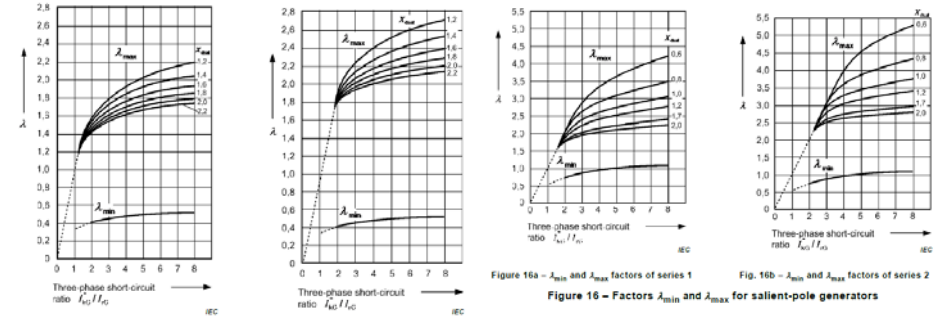


Figure 15a - λ_{min} and λ_{max} factors of series 1 Fig. 15b - λ_{min} and λ_{max} factors of series 2
Figure 15 - Factors λ_{min} and λ_{max} factors for cylindrical rotor generators

Figure 16a - λ_{min} and λ_{max} factors of series 1 Fig. 16b - λ_{min} and λ_{max} factors of series 2
Figure 16 - Factors λ_{min} and λ_{max} for salient-pole generators

(図15)

(図16)

熱等価短絡電流値 I_{th} の計算

(1/2)

The Joule integral $\int i^2 dt$ is a measure of the energy generated in the resistive element of the system by the short-circuit current. In this standard it is calculated using a factor m for the time-dependent heat effect of the DC component of the short-circuit current and a factor n for the time-dependent heat effect of the AC component of the short-circuit current for one individual short circuit (see Figures 18 and 19).

$$\int_0^{T_k} i^2 dt = (I_k'')^2 \cdot (m + n) \cdot T_k = I_{th}^2 \cdot T_k \quad (108)$$

The thermal equivalent short-circuit current is:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n} \quad (109)$$

For a series of i three-phase successive individual short-circuit currents, the following formula shall be used for the calculation of the Joule integral or the thermal equivalent short-circuit current.

$$\int i^2 dt = \sum_i (I_{ki}'')^2 (m_i + n_i) \cdot T_{ki} = I_{th}^2 \cdot T_k \quad (110)$$

$$I_{th} = \sqrt{\frac{\int i^2 dt}{T_k}} \quad (111)$$

with

$$T_k = \sum_i T_{ki} \quad (112)$$

熱等価短絡電流値 I_{th} の計算

(2/2)

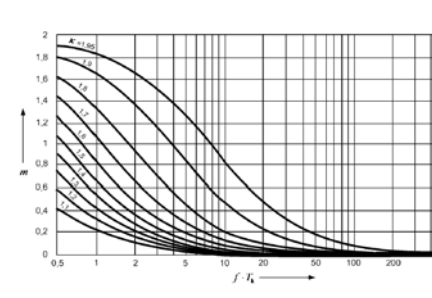


Figure 18 - Factor m for the heat effect of the DC component of the short-circuit current (for programming, the formula to calculate m is given in Annex A)

(図18)

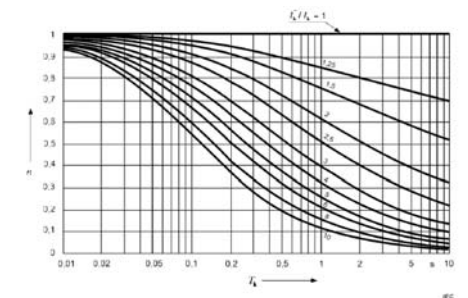
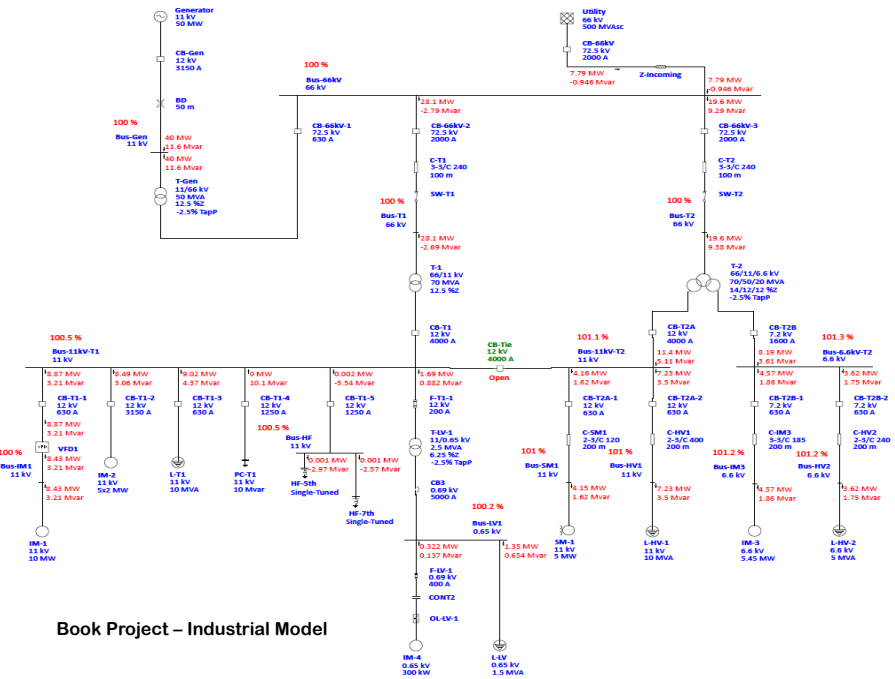


Figure 19 - Factor n for the heat effect of the AC component of the short-circuit current (for programming, the formula to calculate n is given in Annex A)

(図19)



電気設備の特長、ETAPの機能を理解して、システムのモデリングを行う

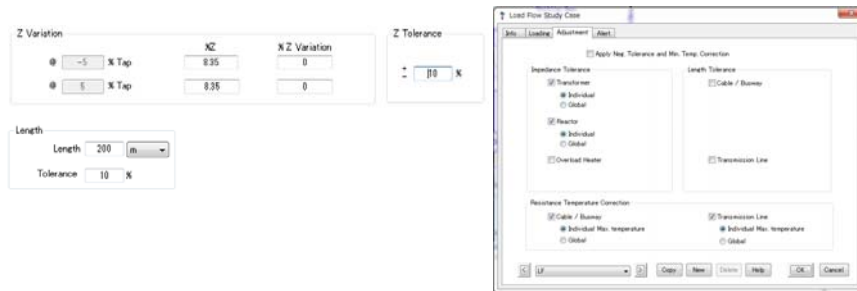


Book Project – Industrial Model

システムモデリングの留意点

(1/2)

- ① どのシステムまでモデリングするか？ => 縮約の方法
- ② 解析の目的に応じて、結果が厳しくなる条件の設定
- ③ 機器の裕度の取り扱い => 変圧器の %z、ケーブル長さ、など



- ④ 電圧係数の適用をやめる？ => IECによる計算結果と言えない

システムモデリングの留意点

(2/2)

- ④ 一括負荷の容量をどう入力するか？

例1：一括負荷からの寄与電流を考慮して、下記のように入力する。

- 接続負荷容量 => 変圧器容量の 80%
- 負荷率 (% Loading) => 60%
- 運転負荷容量 => 80% x 60% = 48%

例2：同上の理由により、電動機と静的負荷の割合を指定する。

- ⑤ 短絡電流の最大値または最小値を求めるのか？

一般的に、

- 遮断器等の遮断責務に検討 => 最大値
- 保護協調の検討 => 最小値

短絡電流

- 最大
- ユーザ定義の係数
- 最小(真実計算結果)

これらのオプションが選択すると！

- 最大電圧係数が適用される (ユーザー定義の場合はユーザーが入力した値)
- 最小インピーダンス値を適用 (「調整」の頁でユーザーが適用するよう選択した場合、マイナス方向の許容誤差および最小抵抗温度補正が適用される)

短絡電流

- 最大
- ユーザ定義の係数
- 最小(真実計算結果)

このオプションが選択すると！

- 最小電圧係数が適用される
- 最大インピーダンス値を適用 (「調整」の頁でユーザーが適用するよう選択した場合、プラス方向の許容誤差および最大抵抗温度補正が適用される)

(See, Study Case / Standard / Short-Circuit Current)



電気機器や保護装置の性能、能力、定格について理解する

① 遮断器の定格データを入力する (定格遮断電流、定格投入電流、定格遮断時間)

品名	汎用品					低圧用			
	VF-20CM-0H	VF-20CM-0D	VF-25CM-0D	VF-32CM-0D	VF-40CM-0D	VF-20CM-0G	VF-25CM-0G	VF-32CM-0G	VF-40CM-0G
閉路操作方式	電動リモコン					電動リモコン			
準拠規格*	JEC-2300 (1998) IEC60271-100 (2001)					JEC-2300 (1998) IEC60271-100 (2001)			
定格電圧 (kV)	7.2 / 3.6, 7.2, 3.6					7.2 / 3.6			
定格電流 (A)	JEC	600	600	600	1200	600	600	600	1200
	IEC	630	630	630	1250	630	630	630	1250
定格遮断電流 (kA)	JEC	20	20	25	25	31.5	31.5	40	40
定格投入電流 (kA)	JEC	50	50	63	63	80	80	100	100
定格短時間遮断電流 (kA)	JEC, 2h	20	20	25	25	31.5	31.5	40	40
定格開閉時間 (秒)	JEC, 3s	20	20	25	25	31.5	31.5	40	40
定格遮断時間 (サイクル)						0.23	0.23	0.23	0.23

品名	AE630-5W	AE1000-5W	AE1250-5W	AE1600-5W
フレームサイズ (A)	630	1000	1250	1600
定格遮断電流 (kA)	630 (3極)	1000 (3極)	1250 (3極)	1600 (3極)
定格投入電流 (kA)	115, 345, 575, 630, 630	600, 800, 800, 800	675, 875, 750, 875, 875	800, 800, 1000, 1000
定格短時間遮断電流 (kA)	44, 47.5, 50.4, 53.5, 56.7, 69.6, 63.0 (3極)	700, 700, 800, 800	875, 875, 1000, 1000, 1000	1000, 1000, 1000, 1000
定格開閉時間 (秒)	160 (3極) 100 (3極)	400 (3極) 1000 (3極)	800 (3極) 1250 (3極)	1000 (3極) 1600 (3極)
定格遮断時間 (サイクル)	0.23	0.23	0.23	0.23

三菱電機のカタログより
抜粋

② 遮断器の能力を計算する (遮断電流非対称値 Ib asym、直流分 Idc)

IECによる装置能力の計算 (Calculation of IEC Device Capability)
上記のテーブルに示すように、いくつかの装置の能力値は、ユーザーによって入力される能力およびIEC規格によって与えられるデフォルト値をもとにETAPによって計算されます。

- 中圧遮断器：中圧遮断器の非対称遮断および直流電流の定格は、下式により計算します。

$$I_{b,asym} = I_{b,3mm} \sqrt{1 + 2e^{-\frac{t_{min}}{\tau}}}$$

$$I_{dc} = I_{b,3mm} (\sqrt{2}) e^{-\frac{t_{min}}{\tau}}$$

ここで、fは系統の周波数、tminは最小遅れ時間、およびIb,3mmはユーザーによって入力される交流遮断電流です。IEC 66271-100のFigure 9によって、X/Rは50Hzにおいて試験力率7%として計算します。

- 低圧遮断器：低圧遮断器の非対称遮断電流の定格は、下式により計算します。

$$I_b I_{b,asym} = I_{b,3mm} \sqrt{1 + 2 \times e^{-\frac{4\pi f t_{min}}{X/R}}}$$

ここで、fは系統の周波数、tminは最小遅れ時間、およびIb,3mmはユーザーによって入力される交流遮断電流です。X/RはIEC 60947-2のTable 11によって与えられる試験力率を基に計算します。

- ヒューズ：ヒューズの非対称遮断電流の定格は、下式により計算します。

$$I_b I_{b,asym} = I_{b,3mm} \sqrt{1 + 2 \times e^{-\frac{4\pi f t_{min}}{X/R}}}$$

ここで、fは系統の周波数、tminは0.5 cycleと仮定、およびIb,3mmはユーザーによって入力される交流遮断電流です。X/Rは試験力率をデフォルト値の15%として計算します。



ETAPの計算結果と保護装置の能力を基に、正しい評価を行う

① 短絡電流計算結果の評価に関する規定 (保護装置の能力と短絡電流計算結果を比較する)

装置の定格と短絡電流責務の比較 (Comparison of Device Rating and Short-Circuit Duty)

3相装置の責務の計算において、ETAPは、保護装置の定格と母線の短絡電流責務を比較します。短絡電流責務は、IEC規格に準拠し、あるいは入力された装置の定格を基にチェックします。短絡電流責務が装置の責務よりも大きい場合、ETAPは、単線結線図とレポートの両方にマークします。下記のテーブルは、中圧遮断器、低圧遮断器およびヒューズに関して、装置の定格と短絡電流責務の関係性を比較したものです。

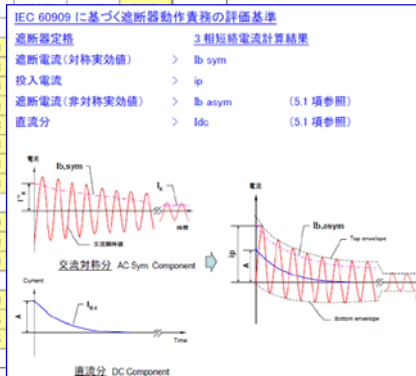
装置のタイプ	装置の能力	短絡電流責務
中圧遮断器	投入 交流遮断 Ib, asymm * Idc *	ip Ib, symm Ib, asymm
低圧遮断器	Ithr 投入 遮断 Ib, asymm *	Ith Ip Ib, symm Ib, asymm
ヒューズ	Ithr 遮断 Ib, asymm *	Ith Ib, symm Ib, asymm

装置の定格と短絡電流責務の比較 (Comparison of Device Rating and Short-Current Duty)

*ETAPで計算した装置の能力

② 短絡電流計算結果の評価の例 (保護装置の能力と短絡電流計算結果を比較する)

故障母線	母線電圧	遮断器定格				3相短絡電流計算結果				備考		
		遮断時間 tmin (sec)	遮断電流 (kA)	投入電流 (kA)	遮断電流 (非対称効値) (kA)	遮断時間 tmin (sec)	Ib sym (kA)	Ib asym (kA)	Idc (kA)			
		0.08	31.5	80	32.387	7.529	11.602	11.597	31.186	13.020	5.918	
		0.05	40	100	44.122	18.622	57.734	47.854	139.835	59.101	34.683	
		0.05	40	100	44.122	18.622	57.734	47.854	139.835	59.101	34.683	
		0.05	40	100	44.122	18.622	57.734	47.854	139.835	59.101	34.683	
		0.08	17	140	17.479	4.063	11.630	11.631				
		0.08	17	140	17.479	4.063	11.630	11.631				
		0.08	40	109.3	41.127	9.561	59.740	47.243				
		0.08	40	109.3	41.127	9.561	59.740	47.243				
		0.08	40	109.3	41.127	9.561	59.740	47.243				
		0.08	40	109.3	41.127	9.561	59.740	47.243				
		0.08	40	109.3	41.127	9.561	59.740	47.243				
		0.08	40	109.3	41.127	9.561	59.740	47.243				
		0.05	40	100	44.122	18.622	52.684	44.800				
		0.05	40	100	44.122	18.622	52.715	44.509				
		0.05	40	100	44.122	18.622	52.715	44.509				
		0.05	40	100	44.122	18.622	56.821	47.729				
		0.05	40	100	44.122	18.622	56.850	47.745				
1号2号共用-1	6.6	0.05	40	100	44.122	18.622	56.850	47.745				



正しい評価に基づき、有効な
(実施可能な) 対策を検討する

- ① 系統のインピーダンスを大きくする => 電圧降下、電動機始動？
 - ・ 変圧器の%Zを大きくする
 - ・ リアクトルを設置する
 - ・ ケーブルを入力する => 低圧系統では有効
- ② 遮断器の遮断容量をアップする => コスト、スペース？
- ③ 遮断器を通過する電流 (Though Fault Current) で評価する

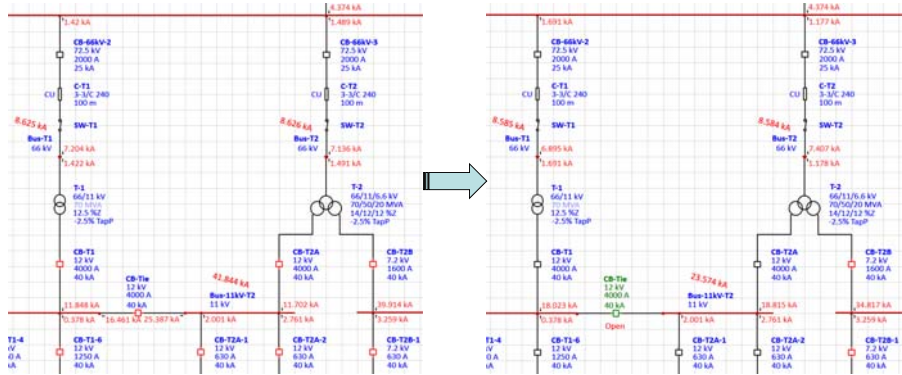
Short-Circuit Summary Report

Device Duty Based on Total Bus Fault Current Max Through Fault Current

3-Phase Fault Currents	Bus		Device				Device Capacity (kA)				Short-Circuit Current (kA)				
	ID	kV	ID	Type	Peak	Ib sym	Ib asym	Idc	I'k	ip	Ib sym	Ib asym	Idc	Ik	
Bus-11kV-T1	11.000	11.000	Bus-11kV-T1	SwitchGear	100.000	40.000	42.689	14.911	41.844	106.758	36.140	41.318	20.028 *	23.284	
	11.000	11.000	CB-T1-4	CB	100.000	40.000	42.689	14.911	41.844	106.758 *	36.140	41.318	20.028 *		
	11.000	11.000	CB-T1-1	CB	100.000	40.000	42.689	14.911	32.841	83.786	29.290	33.241	15.719 *		
	11.000	11.000	CB-T1-3	CB	100.000	40.000	42.689	14.911	37.668	96.104 *	33.742	38.257	18.030 *		
	11.000	11.000	CB-T1-2	CB	100.000	40.000	42.689	14.911	30.007	76.556	24.989	28.822	14.362 *		
	11.000	11.000	CB-T1	CB	100.000	40.000	42.689	14.911	25.387	64.769	20.639	23.950	12.151		
	11.000	11.000	CB-Tie	CB	100.000	40.000	42.689	14.911	41.482	105.833 *	35.903	41.028	19.855 *		
	11.000	11.000	CB-T1-6	CB	100.000	40.000	42.689	14.911							

④ 系統運用を制限する => 可能性?

⑤ 遮断器動作前に溶断する即断ヒューズを追加する



母線連結遮断器 Close

母線連結遮断器 Open
または 即断ヒューズ追加

⑥ X/R を見直す (小さくする) => i_p , I_b asym, I_{dc} が小さくなる

$$i_n = K\sqrt{2}I_k$$

$$I_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot e^{-2\pi f t / R X}$$

X/R = 100

3-Phase Fault Currents

Bus		Device		Device Capacity (kA)				Short-Circuit Current (kA)					
ID	kV	ID	Type	Making Peak	I _b sym	I _b asym	I _{dc}	I ¹ k	i _p	I _b sym	I _b asym	I _{dc}	I _k
Bus-66kV	66.000	Bus-66kV	SwchGear					8.626	22.977				6.010
		66.000	CB-66kV-3	CB	62.500	25.000	26.681	9.320	8.626	22.977	7.979	10.601	6.980
		66.000	CB-66kV-1	CB	62.500	25.000	26.681	9.320	8.626	22.977	7.979	10.601	6.980
66.000	CB-66kV-2	CB	62.500	25.000	26.681	9.320	8.626	22.977	7.979	10.601	6.980		

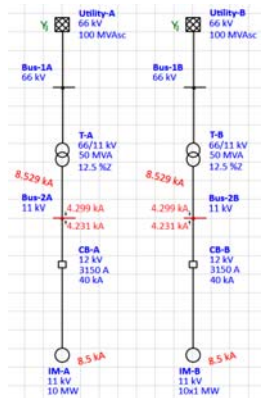
X/R = 20

3-Phase Fault Currents

Bus		Device		Device Capacity (kA)				Short-Circuit Current (kA)					
ID	kV	ID	Type	Making Peak	I _b sym	I _b asym	I _{dc}	I ¹ k	i _p	I _b sym	I _b asym	I _{dc}	I _k
Bus-66kV	66.000	Bus-66kV	SwchGear					8.630	22.351				6.010
		66.000	CB-66kV-3	CB	62.500	25.000	26.681	9.320	8.630	22.351	7.983	9.079	4.325
		66.000	CB-66kV-1	CB	62.500	25.000	26.681	9.320	8.630	22.351	7.983	9.079	4.325
		66.000	CB-66kV-2	CB	62.500	25.000	26.681	9.320	8.630	22.351	7.983	9.079	4.325

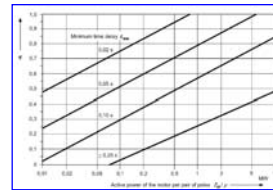
⑦ 負荷を大きな塊りにしない

=> 負荷の容量が大きいと I_b 減衰が遅くなる



10MWx1 (左)、1MWx10 (右)

$$I_b = \mu \cdot q \cdot I_{kmax}$$



Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	I _b sym	I _b asym	I _{dc}
0.01	8.164	12.901	9.990
0.02	8.024	11.539	8.292
0.03	7.875	10.470	6.899
0.04	7.718	9.627	5.754
0.05	7.500	8.910	4.810
0.06	7.298	8.336	4.030
0.07	7.100	7.865	3.383
0.08	6.907	7.471	2.847
0.09	6.719	7.135	2.400
0.10	6.536	6.844	2.028
0.15	6.138	6.203	0.896
0.20	5.761	5.776	0.410
0.25	5.407	5.410	0.193
0.30	5.407	5.408	0.092

10MWx1 (減衰が遅い)

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	I _b sym	I _b asym	I _{dc}
0.01	8.164	12.901	9.990
0.02	7.826	11.402	8.292
0.03	7.399	10.116	6.899
0.04	6.989	9.053	5.754
0.05	6.600	8.167	4.810
0.06	6.415	7.576	4.030
0.07	6.235	7.094	3.383
0.08	6.060	6.696	2.847
0.09	5.891	6.361	2.400
0.10	5.726	6.075	2.028
0.15	5.399	5.472	0.896
0.20	5.090	5.106	0.410
0.25	4.801	4.805	0.193
0.30	4.801	4.802	0.092

1MWx10 (減衰が早い)

⑧ 遮断時間を考慮する => ETAP の Minimum time delay

⑨ 電圧係数の適用をやめる? => IECによる計算結果と言えない

⑩ 系統を分割する => 例えば、大容量の変圧器を使用しない(低圧系統)

上記の方法の組合より、最善策を見つける!

Thank you!



資料請求・お問い合わせは

ELTECHS 株式会社 エルテクス設計 Web Site URL <http://www.eltechs.co.jp>

千葉県船橋市習志野台 4-5-16 (〒274-0063) Phone 047-490-1010 Fax 047-490-1011 E-mail etap2@eltechs.co.jp

