

# Inrush-Limiter<sup>®</sup> T1

Transformer inrush current limiter



## 安全に関するご注意

正しく安全にお使いいただくため、  
ご使用前に「取扱説明書」を必ずお読みください。

- ◆本書からの無断転載は固くお断りいたします。
- ◆仕様等はお断りなしに変更する場合がありますのでご了承ください。

詳細仕様などは、以下の連絡先へお問い合わせください。

**株式会社興電舎** <https://inrush-limiter.jp/ja> E-mail: [info@kodensya.co.jp](mailto:info@kodensya.co.jp)

本 社：〒882-0862 宮崎県延岡市浜町222番地1

TEL 0982-20-7007 FAX 0982-20-7014

電気を活かす。社会に生きる。



# Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

## 受変電用変圧器の課電開始時に発生する励磁突入電流現象による様々な障害を解消する装置を提供します。

弊社は、長年未解決なままで顧みられなかった励磁突入電流の問題を一挙に解決する技術を実現しました。

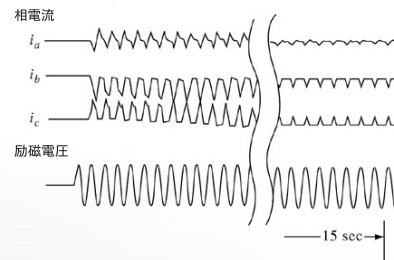


### 励磁突入電流現象とは

励磁突入電流現象は、変圧器課電開始時に発生する電圧低下・電流不平衡・波形歪を伴う過渡的現象で、数秒・数十秒間、時には数分間に及ぶほどの継続時間が長く、また近傍の広範な負荷系一帯（公共施設・工場・一般需要家設備など）の動力系、制御系、保護系に様々な障害をもたらします。これらは、モーター動力システムの変調（脈動・異常加熱など）、電子機器の不具合、制御装置・保護リレー装置の誤作動、ノーヒューズブレーカーの自動トリップ等の事象を伴うために放置すれば深刻な問題となります。

### 変圧器課電時の励磁突入電流波形

図 1-1



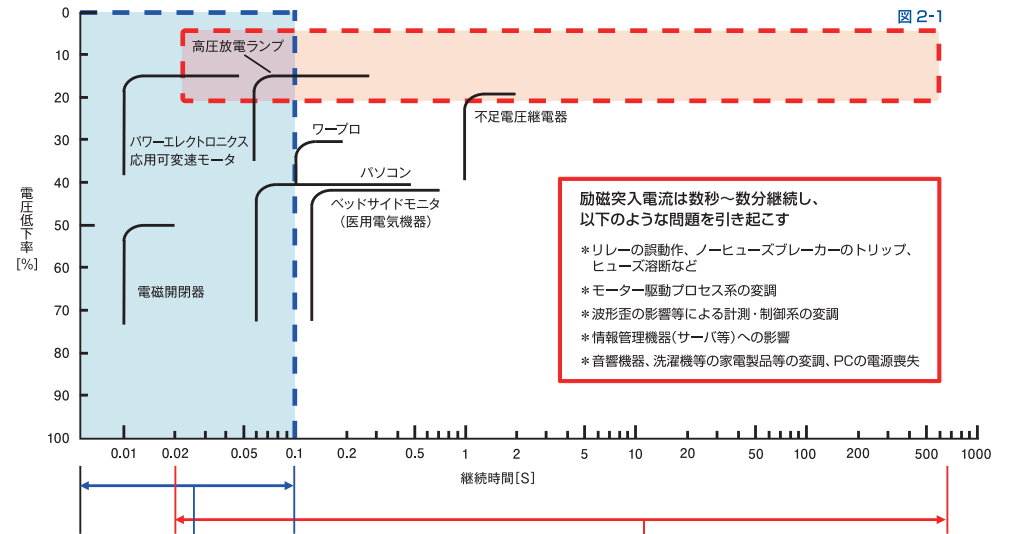
出典：Handbook of Power Systems Engineering with Power Electronics Applications, 2nd Edition by Yoshhide Hase

### 励磁突入電流現象による障害事例

励磁突入電流現象は変圧器の課電開始直後に5～20%程度の電圧低下・三相不平衡の極端な歪電流が長い時間続く過渡現象です。図2-1は、励磁突入電流現象に伴う電圧低下率(%)の大きさと継続時間をグラフ化したものです。図に示すように同現象の一般的概念は電圧低下率5～20%、継続時間数秒～数分程度であり、またこの間の電流は三相不平衡な尖頭波形の歪電流となり、下記の特徴があります。

- ① 商用周波数現象なのでその減衰が遅く、継続時間が断然長い
- ② 電圧の低下・電流の歪が共に問題となる
- ③ 変圧器課電開始時の現象なので変圧器の開閉操作の度毎に生じ、その発生頻度が断然多い
- ④ 商用周波数現象なので現象が付近一帯の広範囲な負荷系に及ぶ

図では雷撃等の事故遮断時に発生する瞬時電圧低下現象の該当範囲(継続時間は通常100ms以内、図の左枠の範囲)を併記しております。両者の対比では励磁突入電流現象の方が電圧低下率は小さいものの①②③④のすべての点で事故遮断による瞬時電圧低下現象よりはるかに深刻なものとなります。



励磁突入電流は数秒～数分継続し、以下のような問題を引き起こす

- \* リレーの誤動作、ノーヒューズブレーカーのトリップ、ヒューズ溶断など
- \* モーター駆動プロセス系の変調
- \* 波形歪の影響等による計測・制御系の変調
- \* 情報管理機器(サーバ等)への影響
- \* 音響機器、洗濯機等の家電製品等の変調、PCの電源喪失

雷撃等の事故遮断による瞬時電圧低下の範囲

励磁突入電流による障害の範囲

出典：本図は「瞬時電圧低下対策の最近の動きについて」(社)日本電気技術者協会ホームページに記載のグラフへ加筆して作成しております。



写真は障害が及ぶ場所をイメージしたものです。

# Inrush-Limiter T1

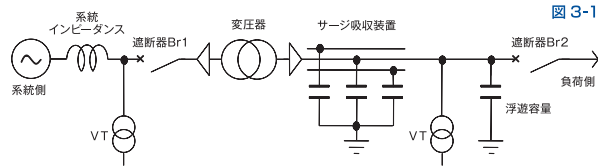
変圧器励磁突入電流抑制装置

## 励磁突入電流発生メカニズムとその抑制のためのアルゴリズム

変圧器の励磁突入電流の原因となる残留磁束とは変圧器の解列瞬時の鉄心内磁束ではありません。

一般に、変圧器の二次側(負荷側)開放で励磁課電中の変圧器を一次側(高圧側)遮断器の開操作で解列する時、その遮断直後は、変圧器鉄心・コイルおよび二次側につながる外部回路で構成される閉回路により過渡現象が短時間継続します。その過渡現象継続時間中は各相鉄心の磁束も変化します。したがって、真の残留磁束とはその過渡現象終了時点の磁束であるということになり、その大きさ・極性は遮断瞬時の磁束値とは異なります。

図3-1において、遮断器(Br1)開操作により変圧器を解列した直後もその二次巻線側には微小負荷(サージ吸収装置・浮遊容量等の微小負荷回路)による閉回路が存在します。その閉回路に解列直後に生ずる電圧・電流・磁束の過渡現象は、次のa.およびb.の条件が成り立つので三相平衡過渡現象であると考えられます。



- a. 遮断器開操作の直前直後において変圧器およびその一次側回路(系統側)・二次側回路(サージ吸収装置・浮遊容量等の微小負荷回路)は三相平衡である。
- b. 遮断器開操作直前の電流は微小な変圧器励磁電流(通常1A以下)であるので遮断器は開操作によって各相同時のチョッピング遮断となり、各相の遮断時間差が生じない(負荷電流/故障電流遮断の場合のような電流ゼロ点遮断に伴う遮断タイミングの各相時間差を生じない)。

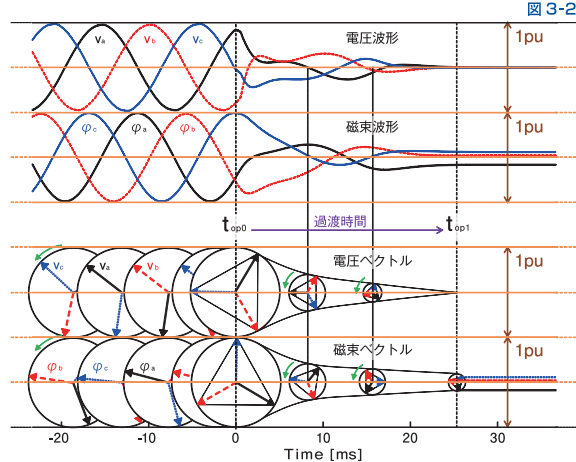
したがって、遮断器開操作による三相同時電流遮断瞬時( $t_{op0}$ )に始まる過渡現象は三相平衡過渡現象であり、その終息時点( $t_{op1}$ )で電圧は三相同時にゼロ値に達し、また同じタイミングで鉄心内磁束は三相平衡の残留磁束となります。換言すれば、変圧器鉄心に残る真の残留磁束は三相過渡電圧がゼロに至るタイミング $t_{op1}$ で一定値に達する鉄心内磁束であり、またその大きさは三相平衡(磁束ベクトルとして正三角形)であるということになります。

### a. 残留磁束の様相(弊社独自の理論展開)

弊社がフィールド試験で得た試験結果の一部を図3-2に示します。

図の上段において、電圧波形 $V_a, V_b, V_c$ は変圧器二次側巻線側のVT出力波形であり、またそれをデジタルサンプリング手法により時間積分して得た鉄心内磁束の波形 $\phi_a, \phi_b, \phi_c$ も示しています。電圧波形、磁束波形ともに三相平衡過渡現象の様相を示しているため、両者とも三相ベクトルが正三角形を保持しつつ時間的に回転していると理解することができます。その様子を下段に併記しています。時間 $t_{op0}$ (ラジアン表示では $\theta_{op0}$ )に始まる過渡時間帯において、電圧波形ベクトルは二次側閉回路の自由振動角速度で回転しつつ縮小し、時間 $t_{op1}$ (ラジアン表示では $\theta_{op1}$ )で三相同時にゼロ値に達して消滅します。また磁束波形ベクトルは(電圧の積分値なので)電圧の減衰に伴ってその回転速度を減じつつ電圧消滅と同一時点 $t_{op1}$ にて静止して一定値となります。この時点の三相平衡磁束が真の残留磁束 $\phi_a(t_{op1}), \phi_b(t_{op1}), \phi_c(t_{op1})$ (ラジアン表示では $\phi_a(\theta_{op1}), \phi_b(\theta_{op1}), \phi_c(\theta_{op1})$ )となります。

変圧器解列直後の過渡時間帯における電圧波形・鉄心内磁束波形とそのベクトル表示



## b. 励磁突入電流抑制のアルゴリズム(弊社特許方式)

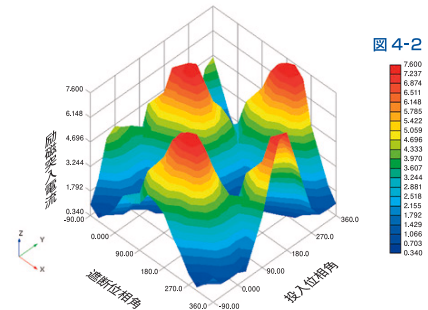
変圧器解列時の真の残留磁束は既に述べたように三相ベクトル表示では正三角形で表される磁束となります。

また、解列中の変圧器が遮断器(Br1)閉操作により再課電されるとき、変圧器鉄心には三相平衡の初期励磁磁束 $\phi_a(t_a), \phi_b(t_a), \phi_c(t_a)$ (ラジアン表示では $\phi_a(\theta_a), \phi_b(\theta_a), \phi_c(\theta_a)$ )が生成されますが、系統電圧が三相平衡なので初期励磁磁束もまた三相平衡であり、したがって三相ベクトル表示では正三角形であらわされる磁束となります。そして、真の残留磁束 $\phi_a(\theta_{op1}), \phi_b(\theta_{op1}), \phi_c(\theta_{op1})$ と初期励磁磁束 $\phi_a(\theta_a), \phi_b(\theta_a), \phi_c(\theta_a)$ のスカラー差 $\Delta\phi_a, \Delta\phi_b, \Delta\phi_c$ が大きすぎて鉄心の飽和レベルを超す相があれば過大な突入電流が発生いたします。また逆にそのスカラー差が各相ともに極小になるように遮断器の投入位相タイミング制御を行えば効果的な励磁突入電流抑制が実現できます。

図4-1は弊社が模擬送電線設備により多数回実験を試みた試験結果を示しています。

真の残留磁束のベクトル三角形の位相角タイミング(横軸)に対して遮断器投入位相角タイミング(縦軸)が一致する場合に励磁突入電流が最少になり、また両者が逆位相になる場合に最大になることを示しています。

また、同様に多数回実験の結果を3次元可視化したものを図4-2に示します。Z軸は励磁突入電流の大きさを表し、その値が最も小さい谷底領域が最適投入位相角タイミングであることが示されています。

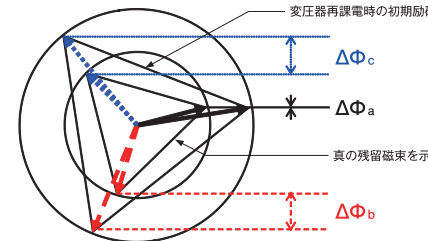


前述の理論並びに実験結果を踏まえ、弊社の励磁突入電流抑制装置は変圧器解列直後の過渡現象時間帯終息時点の鉄心磁束を真の残留磁束値として演算記憶し、変圧器再課電時の遮断器投入位相角制御の基準としております。

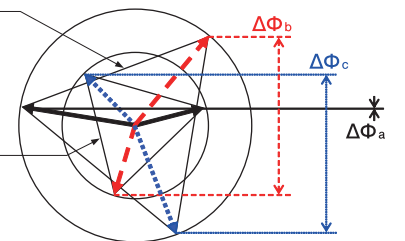
図4-3、4-4に変圧器再課電時の遮断器投入位相角タイミングを真の残留磁束値の位相角タイミングに一致させるための効果的なアルゴリズムを可視化した概念を示します。

(特許第5343118号)

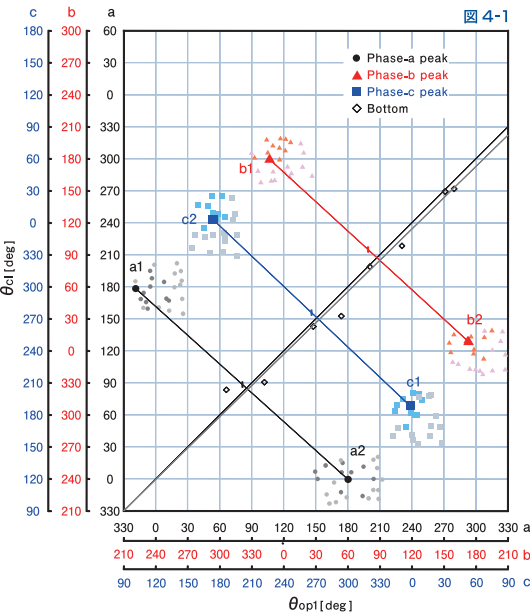
同一位相角投入制御(本装置で採用)  
(残留磁束最小相スカラー値一致制御)



逆位相制御投入(参考)  
(励磁突入電流が最大級になるケース)



模擬送電線設備による実験結果プロット図



# Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

## Inrush-Limiterの抑制効果

### 励磁突入電流波形の比較

図5-1および図5-2は、弊社の励磁突入電流抑制装置(商品名Inrush-Limiter)により遮断器投入位相角タイミングを変えて弊社模擬送電線設備を用いた多数回実験を行い、励磁突入電流抑制を行わない場合と、行った場合の励磁突入電流の大きさを比較するものです。

#### 〔励磁突入電流抑制を行わない場合〕

図5-1は励磁突入電流抑制を行わず、残留磁束位相角に対して遮断器投入位相角タイミングが逆相(ほぼ180度の位相差)で遮断器の投入を行った結果であり、a相の励磁突入電流( $i_a$ )が大きな値を示していることがわかります。

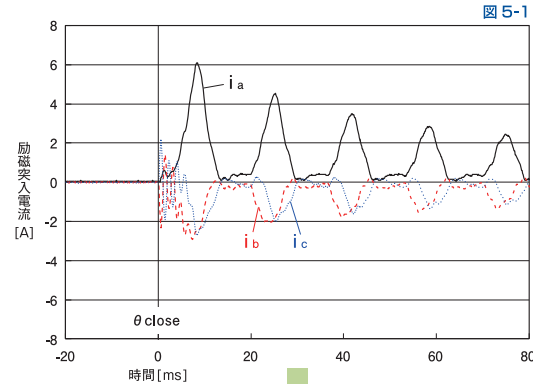


図 5-1

#### 〔励磁突入電流抑制を行った場合〕

図5-2は励磁突入電流抑制を目的に残留磁束位相角に対して遮断器投入位相角タイミングをInrush-Limiterにより最適位相角制御をして遮断器の投入を行った結果であり、励磁突入電流は各相とも極少に抑制されていることがわかります。

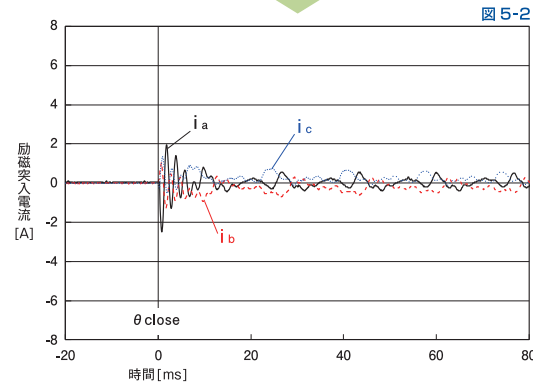


図 5-2

### 投入位相角と電圧低下率

図5-3は弊社模擬送電線設備を用いて遮断器の最適投入位相角を基準に、投入位相角の差(横軸)をパラメータとして励磁突入電流現象によって発生する電圧低下率(縦軸)を多数回実験により求めた結果をグラフ化したものです。横軸の0度付近は遮断器投入位相角が理論上の最適投入位相角とほぼ一致しているケースであり電圧低下率は最小値を示しています。Inrush-Limiterは、実用上±20度以内の位相角差になるように制御することが可能であり、励磁突入電流と電圧低下率を理想的に抑制できます。

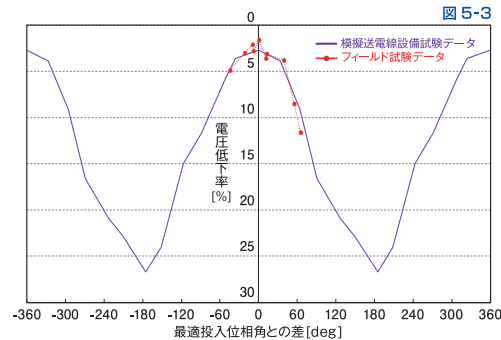


図 5-3

なお、図中に赤色で示すプロットは、某メーカーの工場受電設備にて遮断器投入位相角を変えて試験を行った結果であり、フィールド試験が弊社模擬送電線設備による多数回実験結果を裏打ちするものとなりました。

## Inrush-Limiterの適用

### 適用受変電設備

Inrush-Limiterは、66～500kV級の送変電設備および6.6kVVの配電設備のいずれにもご採用いただけます。適用は電気事業者、あるいは需要家(公共施設・工場・大型ビル施設・一般需要家など)の受変電設備にて変圧器励磁突入電流抑制に広くご利用いただくことで、励磁突入電流および電圧低下率の抑制に大きい効果を発揮いたします。

※図中の各変圧器に対応

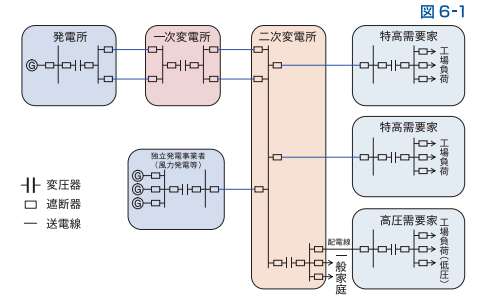


図 6-1

### インターフェース

入出力インターフェースは次のような信号を扱います。

入力：系統電圧 VT1の二次側三相電圧、  
変圧器電圧 VT2またはVT3の二次側三相電圧  
遮断器投入信号  
遮断器状態信号  
※CT入力は不要です。

出力：遮断器投入指令、警報

変圧器容量、結線方式等による適用上の制約はありません。

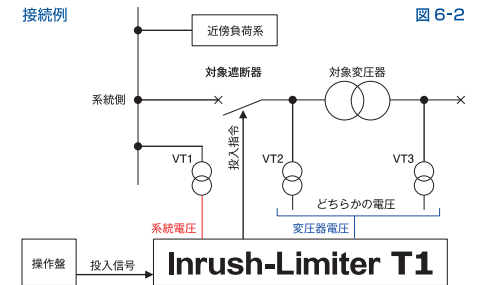


図 6-2

### システム構成

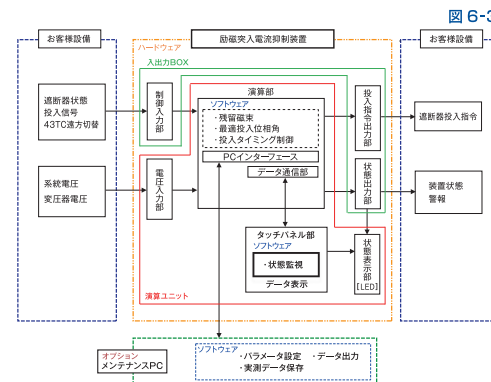


図 6-3

### 各部の機能 表 6-1

名称	機能
電圧入力部	系統電圧(当該変圧器一次側の遮断器一次側)および変圧器電圧(当該変圧器の一次または二次側)の計器用変成器二次電圧を取り込み、入力変換器を介して演算部に信号を入力します。
制御入力部	外部からの制御信号を受信して演算部に入力します。
投入指令出力部	演算部から出力された投入指令を外側(遮断器)に出力します。
状態出力部	装置状態や警報などの情報を外部に出力します。
状態表示部	装置状態や警報などの情報を表示します。
タッチパネル部	遮断器操作時のデータや警報監視の情報を表示します。
演算部	各種演算と履歴管理を行います。タッチパネル部へのデータ出力とメンテナンスPCとのインターフェース機能も有します。
メンテナンスPC	パラメータ設定やデータ出力、実測データの保存を行います。

※主制御盤とのインターフェースは図8-1をご参照ください。

※本装置は変電所制御盤で行われる変圧器バンク用遮断器の手動投入指令信号を受けてその投入位相角を制御いたします。いかなる場合においても手動開閉操作を阻害することはありません。

# Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

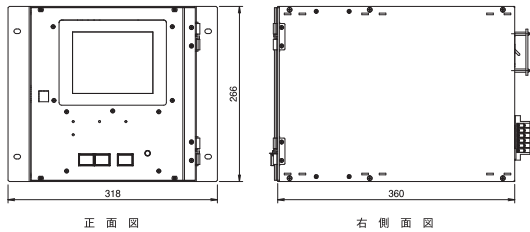
## 仕様

### 本体仕様

本製品は演算ユニットと入出力ユニットで構成されます。

#### 演算ユニット

図 7-1



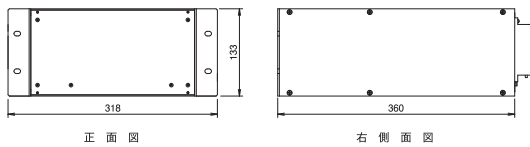
■ 演算ユニットは正面パネルに以下の操作・表示機器を配置しています。

- ・タッチパネル表示器
- ・状態表示 LED
- ・装置状態切替スイッチ
- ・警報リセットスイッチ

背面にはお客様設備との入出力用端子台(アナログ入力用)を設けております。

#### 入出力ユニット

図 7-2



■ 入出力ユニットはお客様設備との取り合いを行うリレー等が収納されております。

背面にはお客様設備との入出力用端子台(電源、接点入出力、制御出力用)を設けております。

### 一般仕様

表 7-1

項目	演算ユニット	入出力ユニット
部品番号	IL-CU2□□	IL-IO-□
取付方式	ラックまたはパネルマウント	ラックまたはパネルマウントまたはキュービクル内取付け
外形寸法 W×H×D [mm]	318×266×360 (端子台などの突起寸法は、含みません)	318×133×360 (端子台などの突起寸法は、含みません)
表面処理	シルバークロムメッキ	
質量 [kg]	9	7
電源電圧	入出力ユニットからの電源供給 (DC24V) DC110V (90-120V), 200W もしくは DC125V (100-135V), 200W (その他の電源電圧に関しては御相談ください。)	
CPU部	CPU: Atom E3845 1.91GHz カレンダーバックアップ用電池寿命: 10年	
サンプリングレート	7,200Hz / 60Hz 回路測定時 6,000Hz / 50Hz 回路測定時	-
タッチパネル	5.7型 (QVGA) 表示色: 65,536色 バックライト寿命: 50,000時間 タッチ寿命: 100万回	-
通信機能	メンテナンスPC接続用 Ethernet 100Base-T 以上	
冷却方式	自然空冷	
使用周囲温度・湿度	-20 ~ 60°C (氷結しないこと)、20 ~ 90% (結露しないこと)	
使用雰囲気	有害な煙やガス、塩分を含むガス、爆発性のガス、水滴または蒸気、過渡な塵埃・微粉、過渡な振動・衝撃、熱の対流を妨げるような遮断物などが無いこと。	
耐電圧 <sup>①</sup>	AC200V 1分間 (入力端子一括 - 対地間) ※DC24V 回路は除外。	

### 接続仕様

Inrush-Limiter とお客様設備との接続の概要を下図に示します。

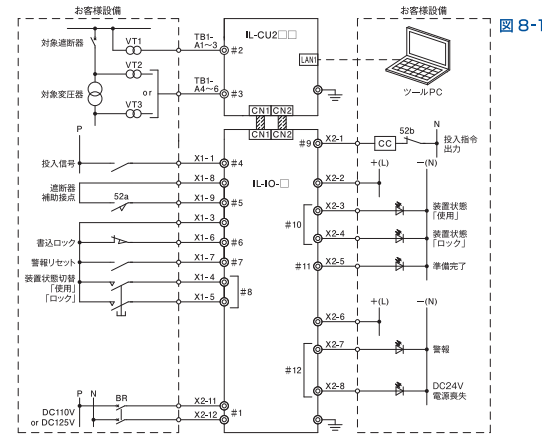


図 8-1

#### お客様設備との接続

お客様設備の変電所主制御盤との入出力信号を配線していただきます。

#### ユニット間の接続

操作ユニットと制御ユニット間の接続は、付属の専用ケーブルをご利用いただけます。

#### メンテナンスPCとの接続

制御ユニット正面の通信ポートに LAN ケーブルを接続していただきます。

なお、装置の初期設定には専用のツールソフトをご利用いただけます。

### 入出力仕様

入出力信号の概要仕様を下表に示します。

表 8-1

#	信号名	区分	内容	電気仕様
1	制御電源	電源	制御対象遮断器の制御電源と同一の電源	DC110V (90-120V), 200W もしくは DC125V (100-135V), 200W
2	系統電圧	アナログ入力	制御対象遮断器一次側の VT 二次電圧 3φ110V 50/60Hz	入力用 VT 負担 1VA 以下
3	変圧器電圧		制御対象遮断器二次側(変圧器高圧側もしくは低圧側)の VT 二次電圧 3φ110V 50/60Hz	
4	投入信号	電圧入力	制御対象遮断器投入回路最終段の信号	入力コイル定格 DC110V/DC125V 25mA 以下
5	遮断器状態	接点入力	制御対象遮断器補助(バレット)接点信号	無電圧接点 1a 必要接点定格 DC110V/DC125V 20mA 以上
6	書込ロック		制御対象遮断器一次側の断路器補助接点信号	無電圧接点 1b 必要接点定格 DC110V/DC125V 20mA 以上
7	警報リセット		リセットを行うモーメンタリスイッチの接点信号	無電圧接点 1a 必要接点定格 DC110V/DC125V 20mA 以上
8	装置状態切替		切替えを行うモーメンタリスイッチの接点信号 ※遠方にて本製品の制御の有効・無効の切替えが必要な場合に使用	無電圧接点 2a もしくは 1c 必要接点定格 DC110V/DC125V 20mA 以上
9	投入指令	制御出力	制御対象遮断器の投入コイルへ投入指令を出力します	トランジスタ出力 最大出力 DC125V 7A
10	装置状態表示	接点出力	お客様設備の表示回路	リレー出力 負荷容量 DC125V 0.3A AC110V 2A
11	準備完了			
12	警報出力			

※信号のタイミングなどの詳細は取扱説明書をご覧ください。

# Inrush-Limiter T1

変圧器励磁突入電流抑制装置

## 取付仕様

取付けは、右図のようにパネルカットを施し、各ユニット M5 ネジ4本で固定します。

ユニットの配置は、縦並びの場合：入出力ユニットが上  
横並びの場合：入出力ユニットが右  
となる並びが標準となります。

複数台セットを取付けする場合、表9-1の自立形筐体の配置を参考にしてください。なお、ユニット間接続ケーブルは、配置寸法に合わせてケーブル長さをご指定ください。

パネルカット寸法

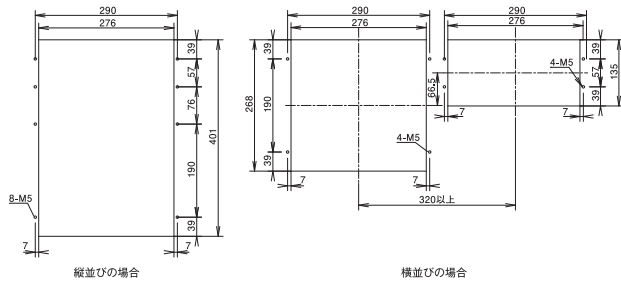


図 9-1

## 自立形筐体

タイプ	4バンク実装盤	2バンク実装盤	正面扉タイプ	カスタムメイドタイプ
部品番号	IL-ECO4-□	IL-ECO2-□	IL-ECO1-1	IL-ECX-□
機種外観				
仕様	●最大4バンク実装用筐体 ●700(W)×2,300(H)×450(D)[mm] (架台、盤名プレートは除く)	●最大2バンク実装用筐体 ●350(W)×2,300(H)×450(D)[mm] (架台、盤名プレートは除く)	●1バンク実装用筐体 ●700(W)×2,300(H)×600(D)[mm] (架台、盤名プレートは除く)	お客様設備の仕様に合わせてオーダーメイドの筐体も製作します。

表 9-1

※□には実装するユニットの台数が入ります。

## タッチパネル表示器・ツールソフト仕様

演算ユニットには、操作や制御結果を簡単に確認するためのタッチパネル表示器が搭載されております。また、詳細なデータ確認や初期設定を行うためのツールソフトが付属されております。

### タッチパネル表示器

タッチパネル表示器にて、変圧器解列時の残留磁束値や次回課電時の最適投入位相角、及び投入実績等の情報を確認できます。

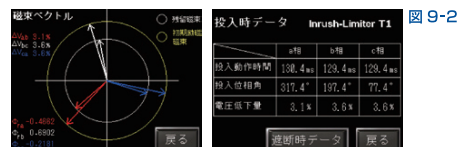


図 9-2

### ツールソフトウエア

付属のパソコンソフトにより以下の操作・設定ができます。

- パラメータ設定
- 抑制効果確認(グラフ表示)
- 運転履歴レポート
- 手動制御操作

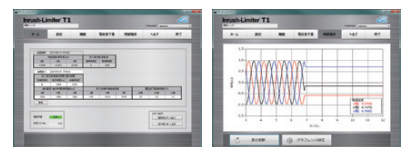


図 9-3

## 製品番号

T1-2 ① ② - ③ - ④ ⑤ ⑥

### ① 言語仕様

- 0：日本語(標準)
- 1：英語

### ② オプション仕様

- 0：標準
- S：系統側単相取込

### ③ 電源電圧仕様

- DC110：DC 90-120V(標準)
- DC125：DC100-135V

### ④ ケーブル仕様

- 005：0.5m(標準)
- 010：1.0m
- 020：2.0m

### ⑤ 筐体仕様1(□にはユニットの台数が入ります)

- 無：ユニット単品での納品
- /ECO1-1：正面扉タイプ
- /ECO2-□：2バンク実装盤
- /ECO4-□：4バンク実装盤
- /EX-□：カスタムメイドタイプ

### ⑥ 筐体仕様2

- 無：特別仕様無し

## 製品番号例

ユニットのみの場合	T1-200(詳細製品番号：T1-200-DC110-005)
2バンク実装盤に1台組込の場合	T1-200-DC110-005/ECO2-1
4バンク実装盤に4台組込の場合	T1-200-DC110-005/ECO4-4

※ユニットのみご購入で、且つ標準の構成で問題ない場合は製品番号：T1-200でも御発注いただけます。  
※オプションの詳細な内容は弊社までお問い合わせください。

## 部品番号(標準部品)

製品番号：T1-200(T1-200-DC110-005)には以下#1~#7の部品が含まれます。

#	部品番号	概要
1	IL-CU200	演算ユニット、日本語表記
2	IL-ID-DC110	入出力ユニット、DC110V仕様
3	IL-C1005	ユニット間ケーブル(25pins)、0.5m
4	IL-C2005	ユニット間ケーブル(15pins)、0.5m
5	IL-BNM5L15	マウント用ビスセット M5-15、8本
6	IL-MNJ	取扱説明書、日本語
7	IL-TS03	ツールソフトインストール用CD

## オプション部品番号

#	部品番号	概要
8	IL-PC01	ツールパソコン、LANケーブル付き

## サービス部品番号

#	部品番号	概要
9	IL-FT	現地試験
10	IL-FM	定期点検
11	IL-EEE	導入コンサルティング

## 筐体(組込盤)部品番号

#	部品番号	概要
12	IL-ECO1-1	正面扉タイプ
13	IL-ECO2-□	2バンク実装盤、□には実装台数を記載
14	IL-ECO4-□	4バンク実装盤、□には実装台数を記載
15	IL-EX-□	カスタムメイドタイプ

## その他部品番号

#	部品番号	概要
16	IL-CU210	演算ユニット、英語表記
17	IL-ID-DC125	入出力ユニット、DC125V仕様
18	IL-C1010	ユニット間ケーブル(25pins)、1.0m
19	IL-C2010	ユニット間ケーブル(15pins)、1.0m
20	IL-C1020	ユニット間ケーブル(25pins)、2.0m
21	IL-C2020	ユニット間ケーブル(15pins)、2.0m

## ご採用にあたって

本製品のご採用にあたっては、次のようにプロセスを進めていただきます。

### 導入評価

お客様設備の励磁突入電流現象を把握し、装置導入の評価をします。

### 仕様確認

設置環境、信号の扱いなど装置の仕様について確認します。

### 製作・納入

弊社はお客様ご要求の仕様に応じた装置の製作・納入をします。

### 設置・試験

装置の据え付け工事、パラメータ設定、調整・試運転を行います。

### 運転・保守

装置運転、定期点検、および必要に応じた保守作業を行います。

ご不明な点は、弊社 営業部までお問い合わせください。☎0982-20-7007