

# Powertron

## 位相制御型減電圧始動器 パワートロンの説明

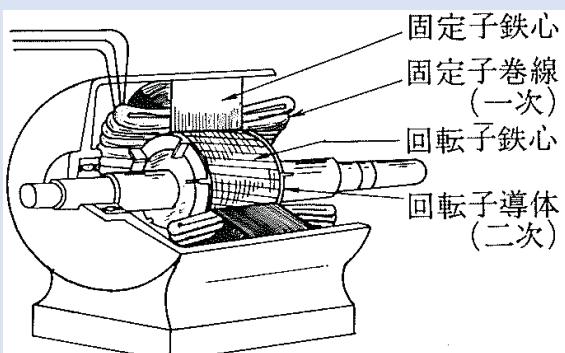
**ECON**  
Energy CONtrol  
エコン株式会社

### 1. パワートロンの説明の前に

#### 誘導電動機(Induction Mortor)の特徴

##### (1) 構造が簡単

回転子には鉄心に短絡された裸の導体があり、固定子と回転子間には電気的な接続が無い。他の電動機に比べて構造が簡単であるから、価格が安く、堅固で消耗する部品が少ない。しかも固定子に電圧を加えれば始動開始でき、励磁装置のような附帯機器が不要。



##### (2) 特性が安定している

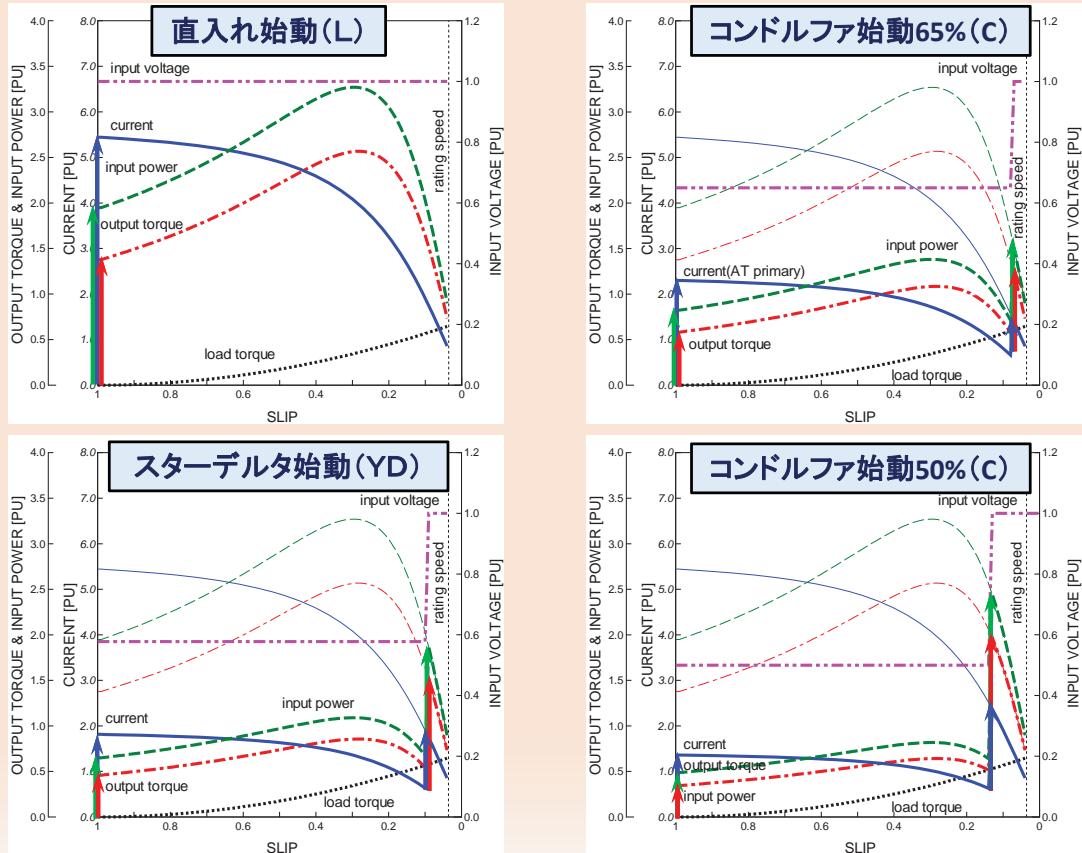
負荷が重くなても軽くなても速度がほとんど変わらない。(N=120 f/p)

##### (3) 定格回転速度以外の特性が悪い

始動電流が定格電流の5~10倍であり、定格速度に至るまでの力率が非常に低いです。また低回転領域のトルク特性が非常に小さいものも珍しくはありません。

(1)と(2)の特性が有益であるため日本国内の電動機の約8割を占めるに至っていますが、(3)の短所を回避するために始動方法を工夫する必要があります。

## 2. 代表的な始動方式の始動特性(1)



共通しているのは始動開始時と切替時に電流、電力、トルクが急変すること。

## 3. 代表的な始動方式の始動特性(2)

### 急変(過渡現象)が引き起こす悪影響

#### 過渡電流

発電機の自動電圧調整器(AVR)が応答できないような瞬間的な過渡電流(突入電流)と発電機内部インピーダンスに起因する電圧低下を引き起こし、同一電源に接続された機器の障害に発展します。

#### 過渡電力

原動機の調速機(ガバナ)が応答できないような瞬間的な電力要求(投入電力)は周波数低下、最悪ストールの要因になります。また周波数の変動は同一電源に接続された回転機の回転速度に直接影響します。

#### 過渡トルク

ギアやタイミングベルトなど駆動部品に衝撃を与え寿命を低下させたり、配管などから騒音を発生させます。



急変させずに定常運転へ移行させる始動方式が理想。それが

**Powertron**

## 4. パワートロンとは

# Powertron

サイリスタの位相制御によって誘導電動機への出力電圧を連続制御する減電圧始動器の一種です。一般的にはソフトスター(またはソフト始動器)と呼ばれています。パワートロンは商品名です。

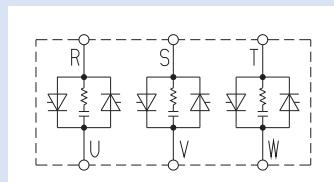
### サイリスタの特徴

- 少ない電流で大電流を制御できます(電流増幅率は半導体素子で最大)。
- 高圧化が容易。(エコンでは6.6kVまで製品化)
- 損失(発熱)が少ない。
- 非制御時(電動機停止時)は高抵抗を示す。

## 5. パワートロンの構成

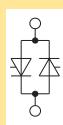
### サイリスタユニット

- サイリスタ(SCR)
- ヒートシンク
- 冷却ファン
- で構成



電気記号

小中容量(~450A)



モジュール型(2in1)  
サイリスタ×3

大容量(450A~)



平型サイリスタ×2×3

### コントローラ



デジタル  
制御装置



アナログ  
制御基板  
(PCB)

平型サイリスタ1相分をサイリスタスタックとも呼びます。

K:カソード

G:ゲート

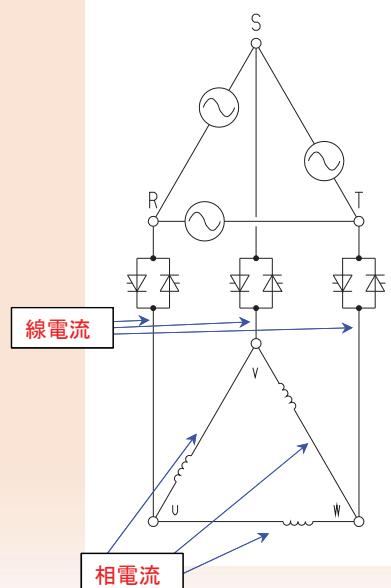
A:アノード

## 6. 位相制御の原理(1)

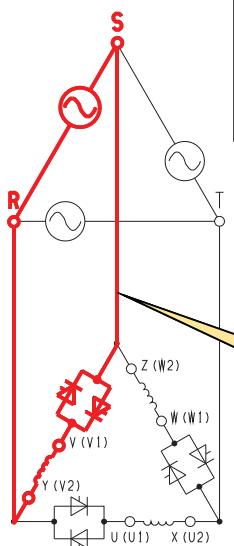
### 電動機の接続方式

電動機の線電流を制御する3線式(3W)接続と  
電動機の相電流を制御する6線式(6W)接続があります。

3線式接続



6線式接続



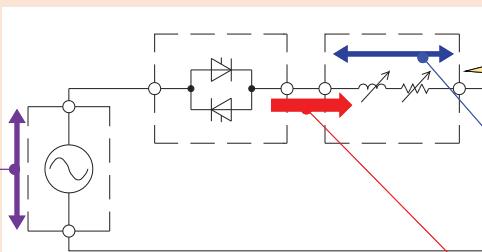
6線式接続はサイリスタを流れる電流が線電流の $1/\sqrt{3}$ になるため制御容量が減ります。ただしスター・デルタ始動用に巻線両端子が外部に引き出されている電動機である必要があります。  
インサイドデルタ結線と呼ばれることがあります。

位相制御の原理は、この部分に着目して単相制御として考えるのが最も簡単です。

## 7. 位相制御の原理(2)

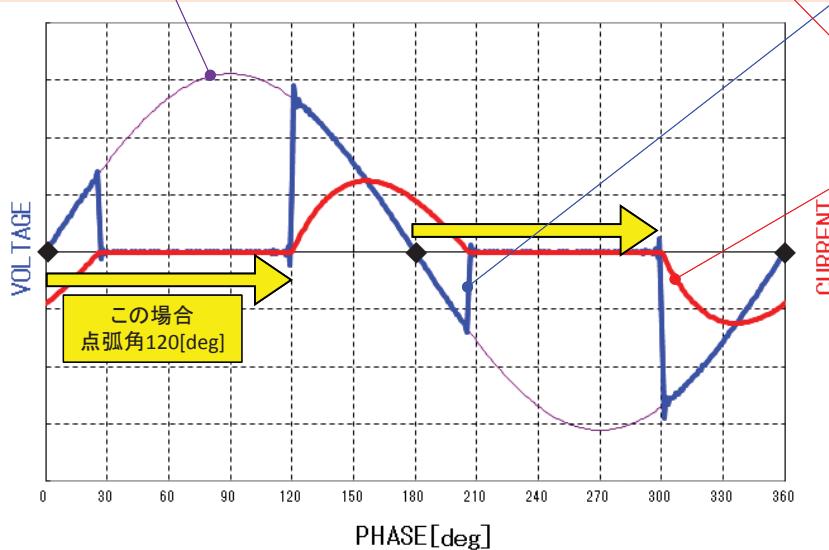
### 単相位相制御

電源電圧(瞬時値)



電動機巻線  
 $Z[\Omega] = R(s) + jX(s)$

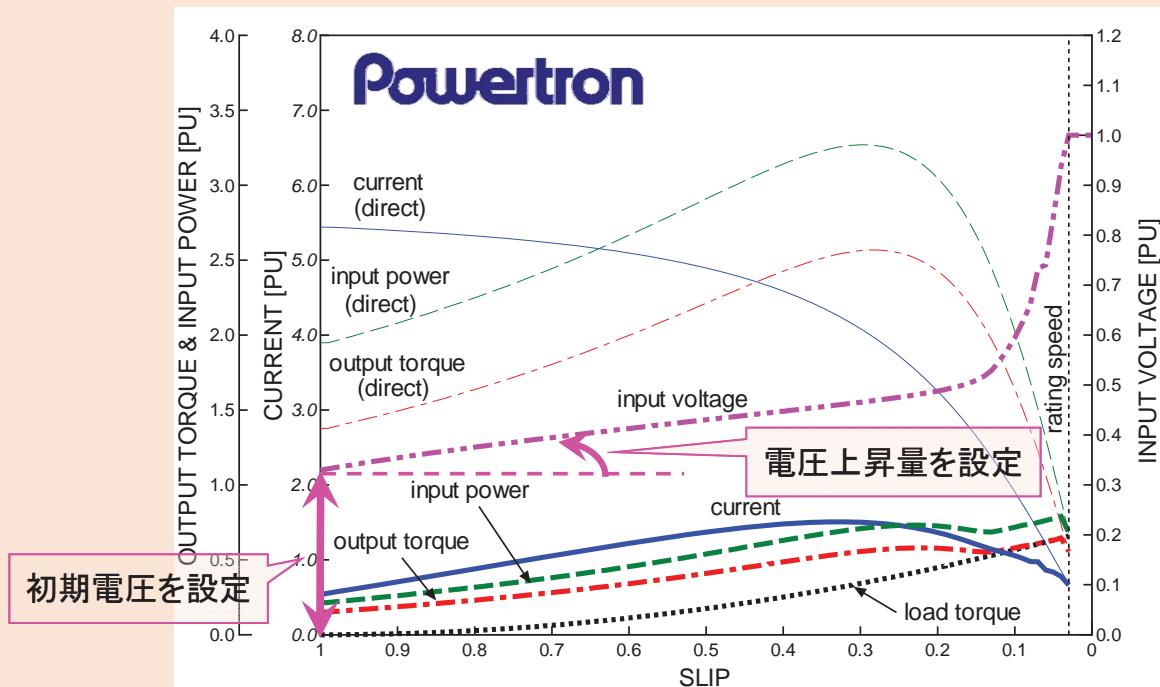
電動機印加電圧(瞬時値)



負荷電流(瞬時値)

電源位相ゼロクロス点(◆)より任意のタイミング(位相角)でサイリスタをオン(導通)することで電動機への印加電圧を制御します。印加電圧は無段階で制御できるのが特徴です。

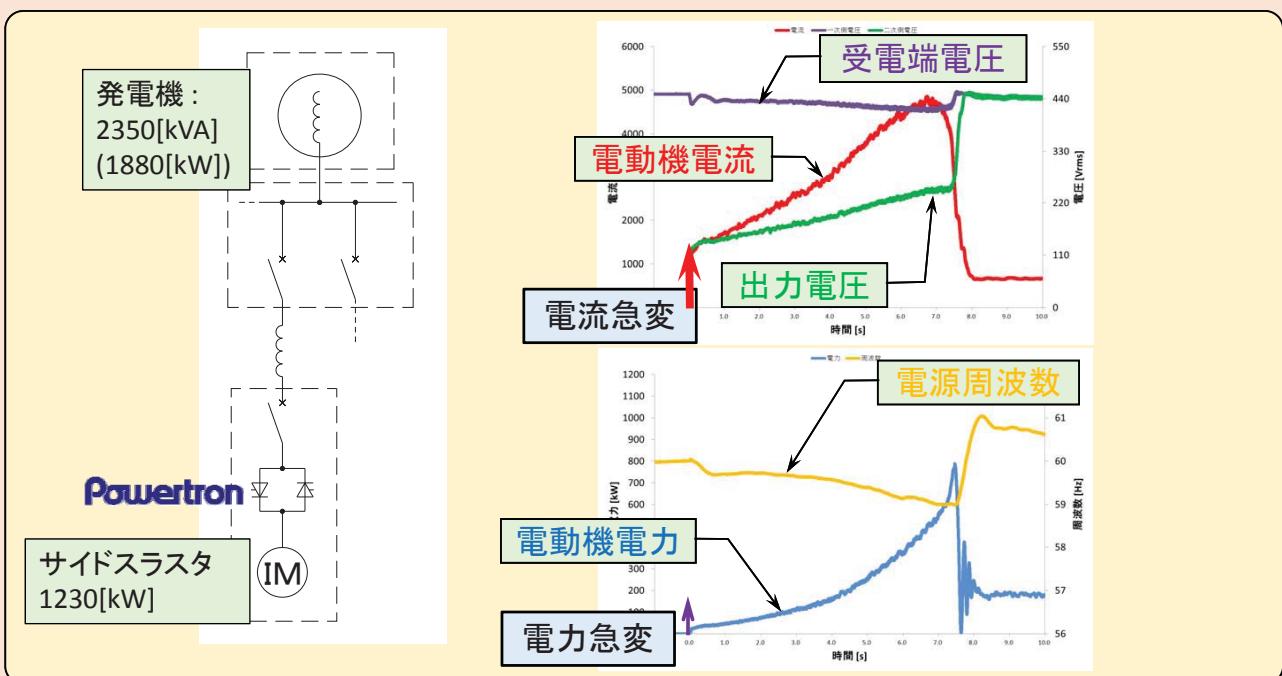
## 8. パワートロンの始動特性



停止状態から必要最小限のトルクを与え、負荷トルクの増加に伴い電動機の出力トルクを増加させるように電圧を上昇させるため、始動完了までの間、切換えるによる急変を起こさず、最小限の電流と電力で始動させることができます。

## 9. パワートロンの始動例

### 誘導電動機始動例

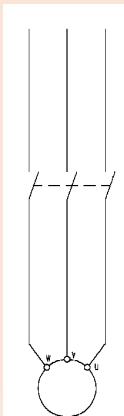


**発電機容量比**=(発電機容量[VA])/(**投入電動機出力[W]**)=2350/1230=1.91  
と小さい値ですが、母線電圧と周波数の変動を最小限に抑え始動できます。  
(他始動方式で同等の影響に抑えるためにはコンドルファ始動では4.0程度、スターデルタ始動で6.0程度、直入れで8.0程度必要です。)

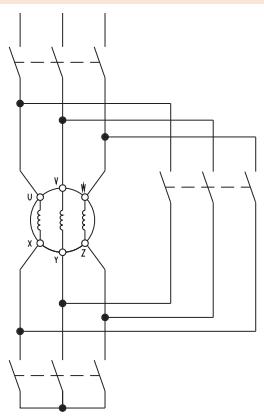
## 10. パワートロンの特徴(他の始動器と比較した場合)

- 過渡的な電流、電力、トルク変動が発生しないため、電源とメカにショック(負担)を与えない。相対的に発電機容量が最も小さくなる。
- 始動特性の調整が容易。
- 設置容積が小さい(対コンドルファ始動、リアクトル始動)
- 無接点開閉器であるため繰り返し使用しても劣化しない。

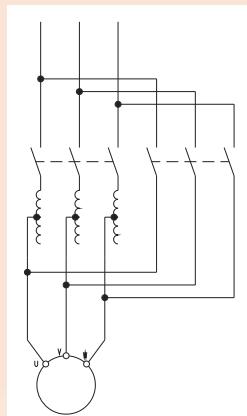
直入れ始動



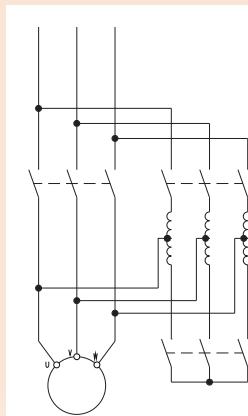
スター・デルタ始動



リアクトル始動



コンドルファ始動



**Powertron**

衝撃大

衝撃小

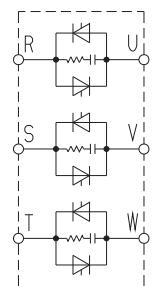
必要発電機容量大

必要発電機容量小

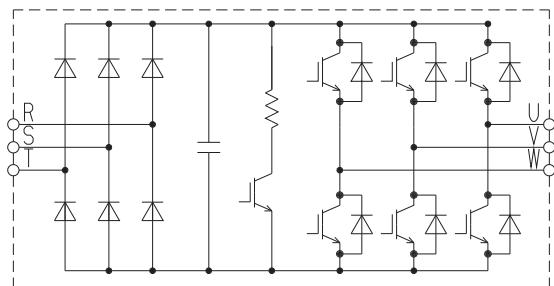
## 11. パワートロンの特徴(インバータと比較した場合)

- 大容量化が容易(サイリスタ自体が高電圧大電流向き)
- 低ノイズ(PWMキャリアに起因する高次成分なし)。
- 低損失(低圧の場合、制御電流  $\times 3[W]$ 程度。効率99.5[%]前後)。数メガワットクラスまでなら空冷で対応可能。
- 定常運転時は容易にバイパス可能(入力と出力の位相が同相)。バイパスによってさらに損失を低減可能。
- 部品点数が少ない。(コンバータ部分と直流平滑回路が無い。回生回路不要。放熱容量小)よって小型で安価。
- 電解コンデンサ(平滑用コンデンサ)のように消耗品がない。
- 全電圧運転中(全点弧中、非位相制御中)は高調波電流が発生しないため、高調波対策不要。発電機容量試算において等価逆相電流の考慮不要。

**Powertron**



インバータ(+コンバータ)



## 12. パワートロンが適しているアプリケーション

### 電源容量が小さい系統

投入電動機に対して発電設備容量や送電容量が十分に大きくない系統では電圧降下、周波数動搖を最小限まで抑制でき、高調波電流を発生させません。言い換えると最も発電機容量を小さくできる始動方式となります。日本内燃力発電設備協会規格「NEGA C201:自家発電設備の出力算定法」では最も発電機(原動機)容量が小さくなるようなパラメータが定義されています。

### 繰り返し始動頻度が高い設備

ハイサクルで発停を繰り返す設備は1年程度で電磁接触器の寿命に到達しますが、パワートロンの場合はその悩みから解消できます。

### 機械的、力学的な衝撃を緩和したい場合

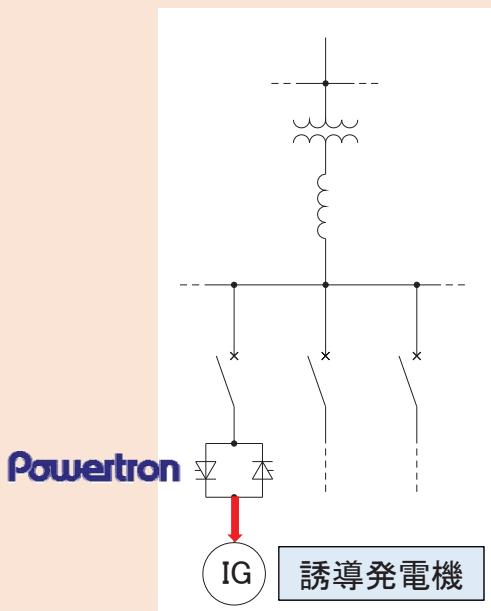
衝撃を取るためだけにインバータを採用するケースは少なくないです。始動完了後に精密な速度制御を必要としない場合はパワートロンの方が合理的です。

### 省エネ効果が疑わしい場合

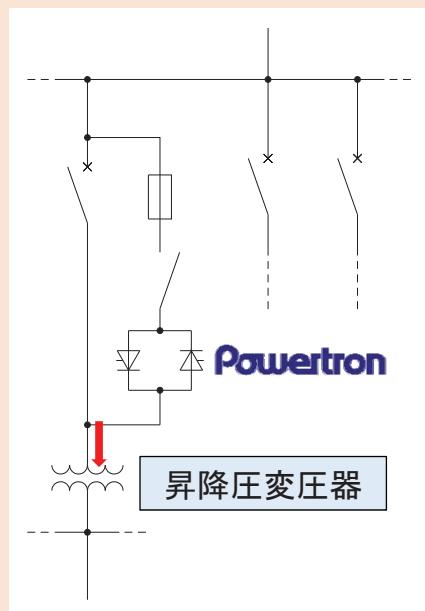
省エネ目的でインバータを採用したが、結局0[%]運転と100[%]運転(またはそれに近いモード)でしか運転しない場合。定格周波数で運転する場合でもAC/DC/AC変換するため意味のない損失と系統へ高調波電流を流出が発生します。

## 13. その他パワートロン応用例

誘導負荷(コイル)の励磁をソフトに行うことによって  
**励磁突入電流**を回避することができます。



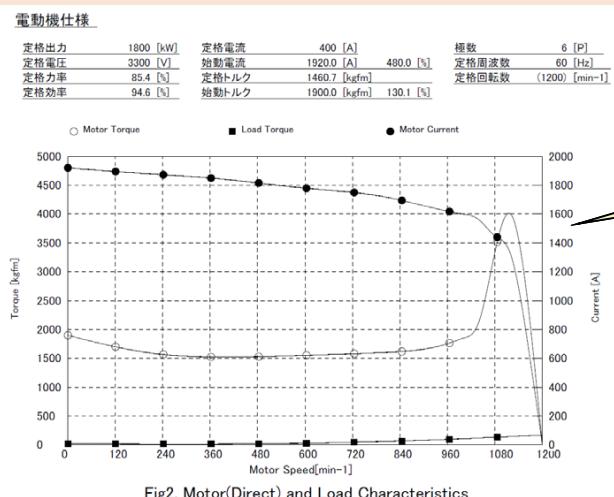
誘導発電機の系統連系装置



昇降圧変圧器のソフト励磁

## 14. 始動シミュレーション(1)

パワートロンを使用した始動シミュレーションが可能です。



電動機と負荷の基本特性があれば  
パワートロンの始動シミュレーション可

シミュレーション設定

Ref.No U9999P1  
2/5

ベースロード条件など考慮して発電機容量を試算することも可

配電線などのインピーダンスを考慮して精度を上げることも可

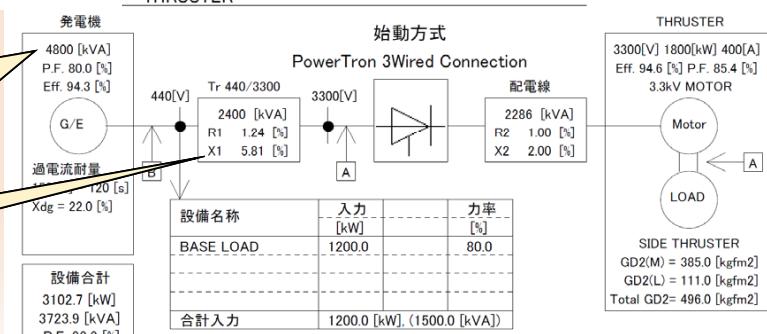
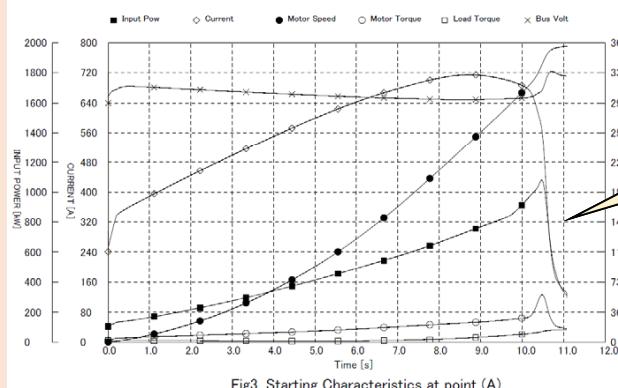


Fig1. Model System for Simulating

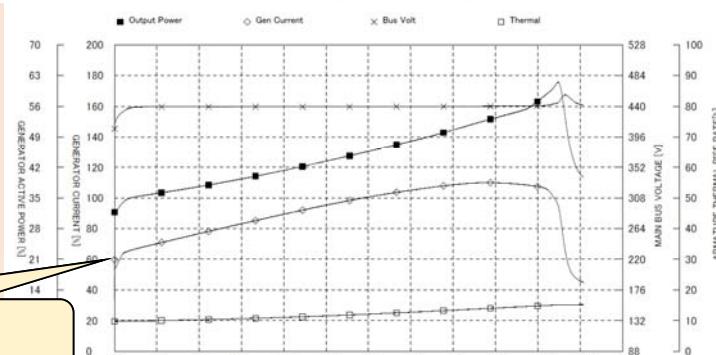
## 15. 始動シミュレーション(2)

お客様:	SAMPLE	始動方式:	PowerTron 3Wired Connection
件名:	部分高圧	始動時間:	11.08 [s]
装置:	THRUSTER	始動時最大電流:	714.9 [A] 178.7 [%]
電動機:	AC3300[V] 1800[kW] 400[A] 60[Hz] 6[P]	投入電力:	141.3 [kW] 7.8 [%]
型式:	3.3kV MOTOR (SAMPLE)	始動初期電流:	360.1 [A] 90.0 [%]
		最低電圧:	2930.9 [V] -11.2 [%]
		始動区間実効値:	558 [A] 139.4 [%]
		平均加速トルク:	1388.8 [Nm] 9.7 [%]



電動機を基準とした始動特性結果  
(始動時間、最大電流、最大電力など)

始動方式:	PowerTron 3Wired Connection
始動時間:	11.08 [s]
最大出力電力:	2360.2 [kW] 61.5 [%]
始動時最大電流:	6928.4 [A] 110.0 [%]
最低電圧:	407.9 [V] -7.3 [%]
始動区間実効値:	5738.2 [A] 91.1 [%]
最大温度上昇度:	15.2 [%]
過負荷時間:	4.51 [s]



発電機を基準とした始動特性結果