

ANSYS®



ANSYS中国技术大会
中国·上海

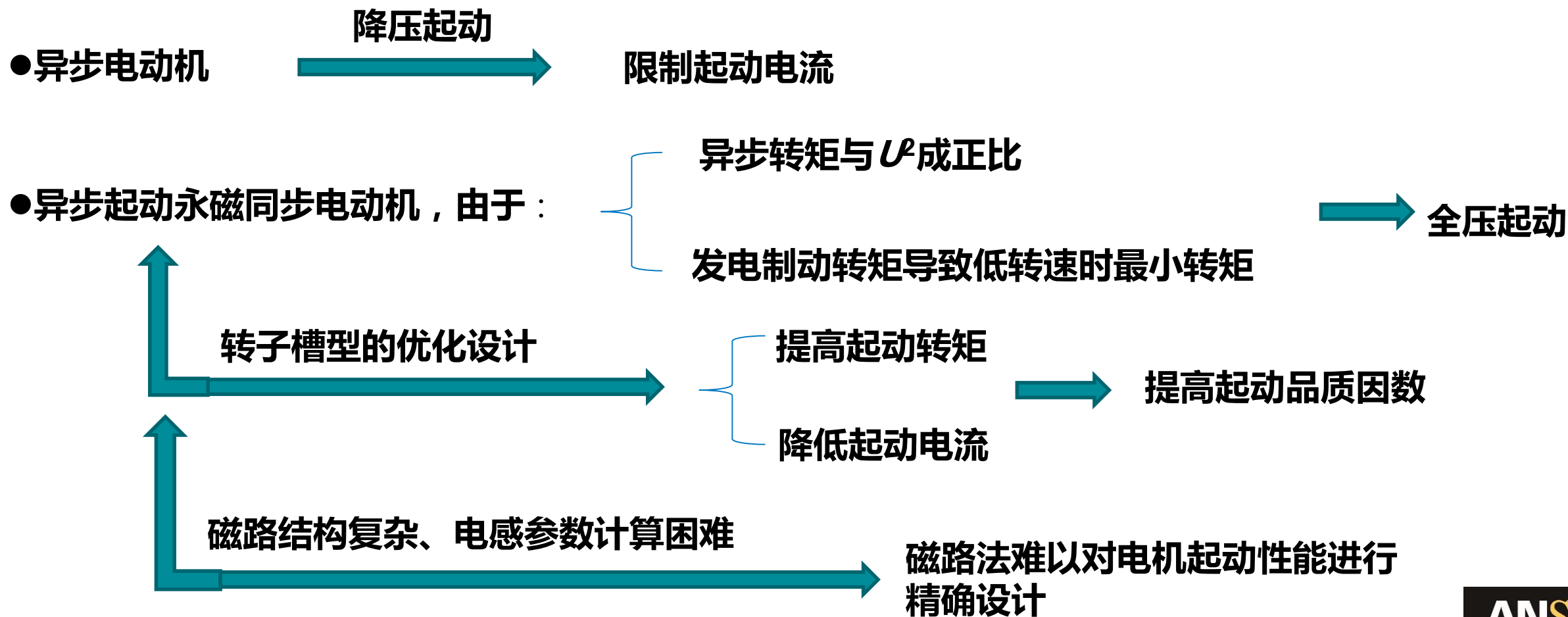
基于ANSYS的异步起动永磁同步电动机 起动性能仿真计算

王杨 / 电机电磁工程师

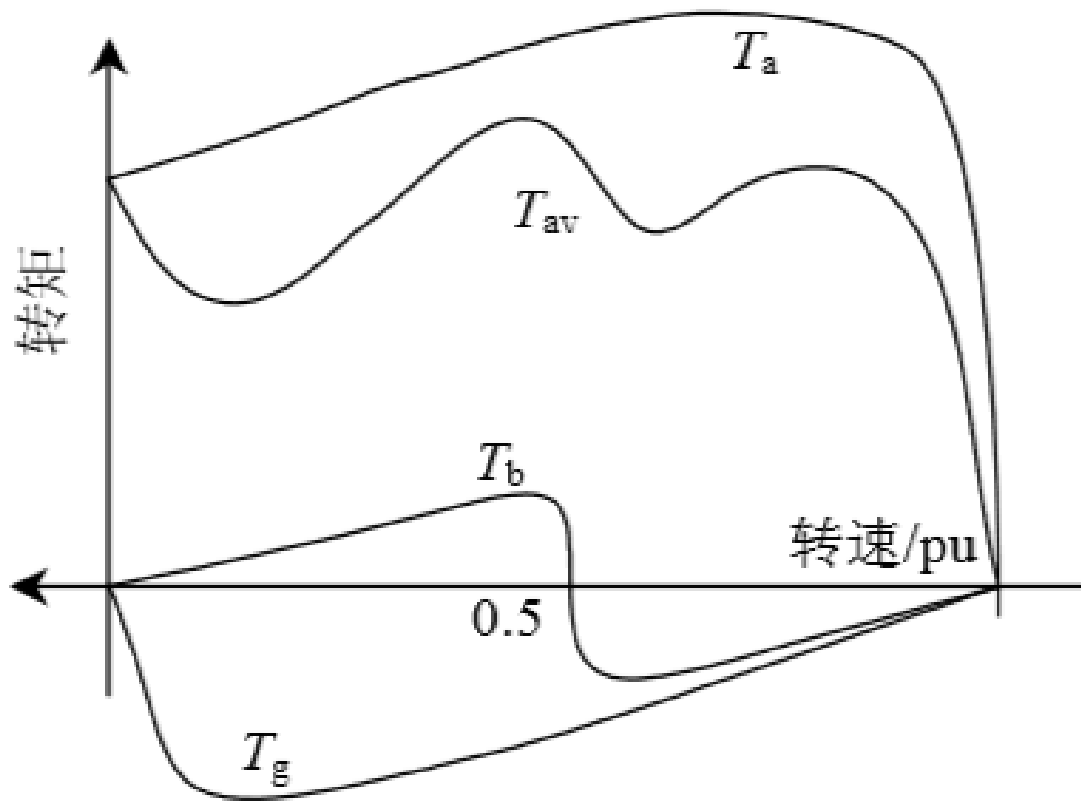
宁波海天驱动

异步起动永磁同步电动机(LSPMSM)的特点

LSPMSM起动性能设计难点

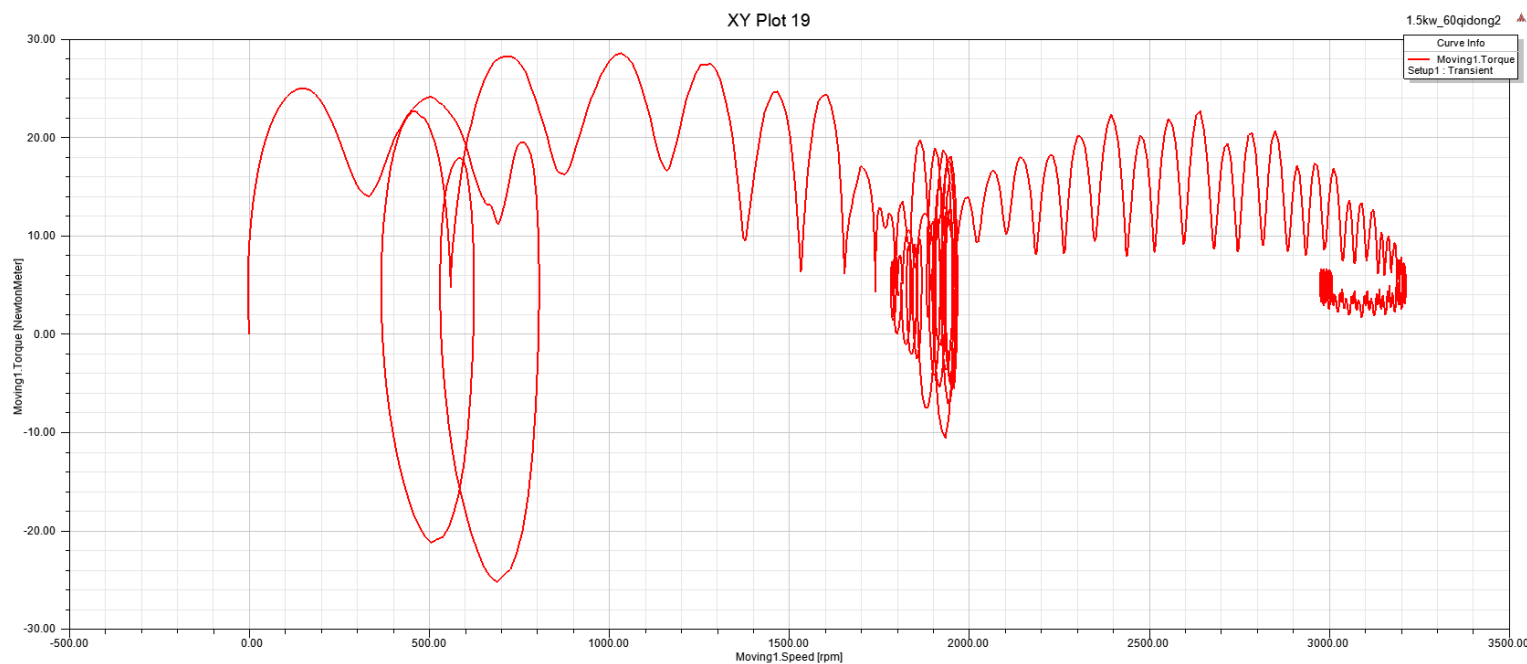
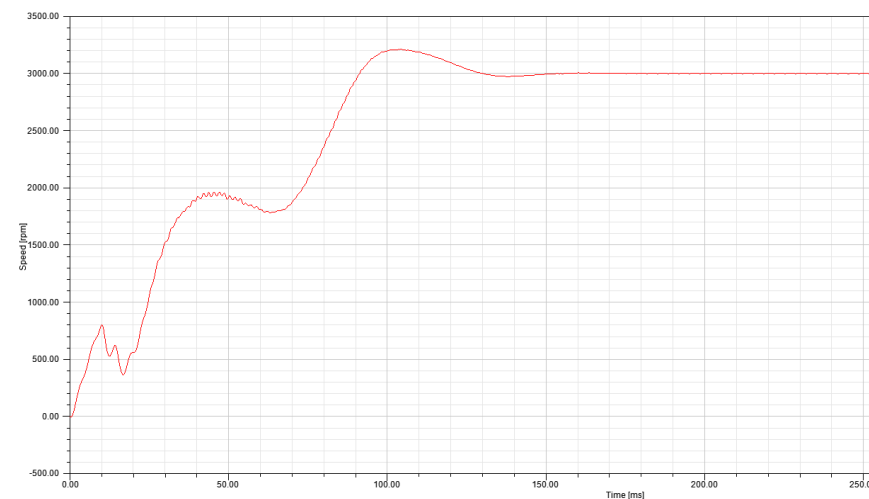
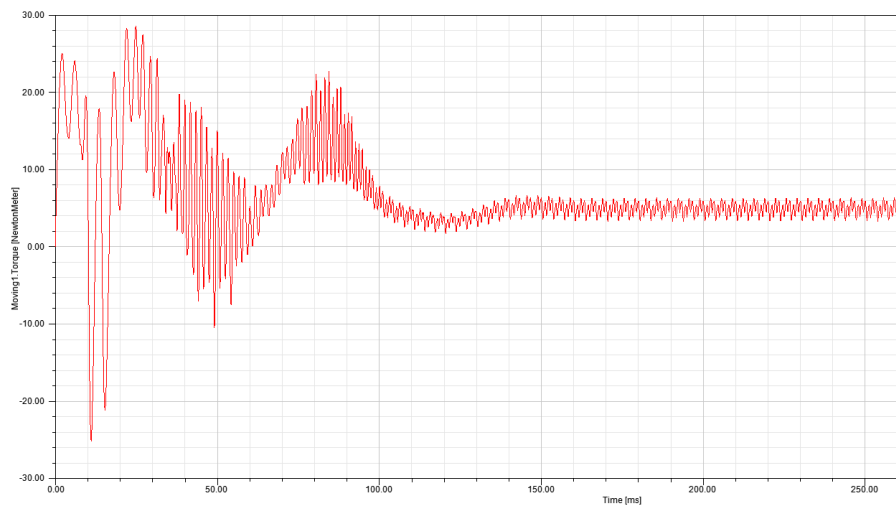


解析法所得典型LSPMSM平均转矩-转差率曲线



- T_a : 异步转矩
 - T_b : 磁阻负序分量转矩
 - T_g : 发电制动转矩
 - T_{av} : 总平均转矩
-
- 理想条件下转矩-转差率曲线忽略磁路饱和、磁场谐波和集肤效应的影响，为一光滑曲线。

一般LSPMSM起动过程瞬态转矩-转速曲线T-n



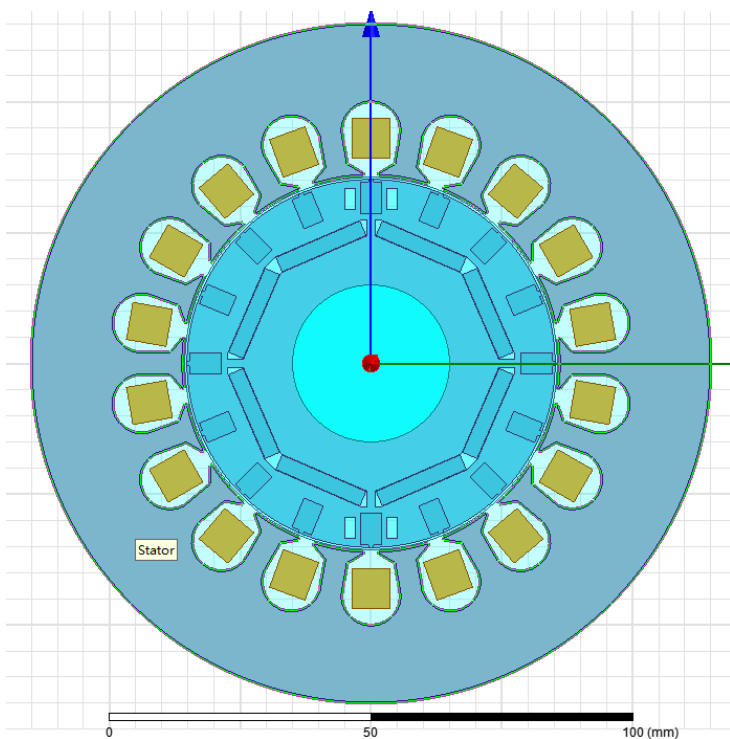
- 有限元仿真综合考虑了磁路饱和、磁场谐波、集肤效应等影响，转矩曲线波动剧烈。

本文利用ANSYS/Maxwell2D有限元仿真软件，以一台1.5kW-2极LSPMSM为例，分别计算该电机以下起动性能参数：

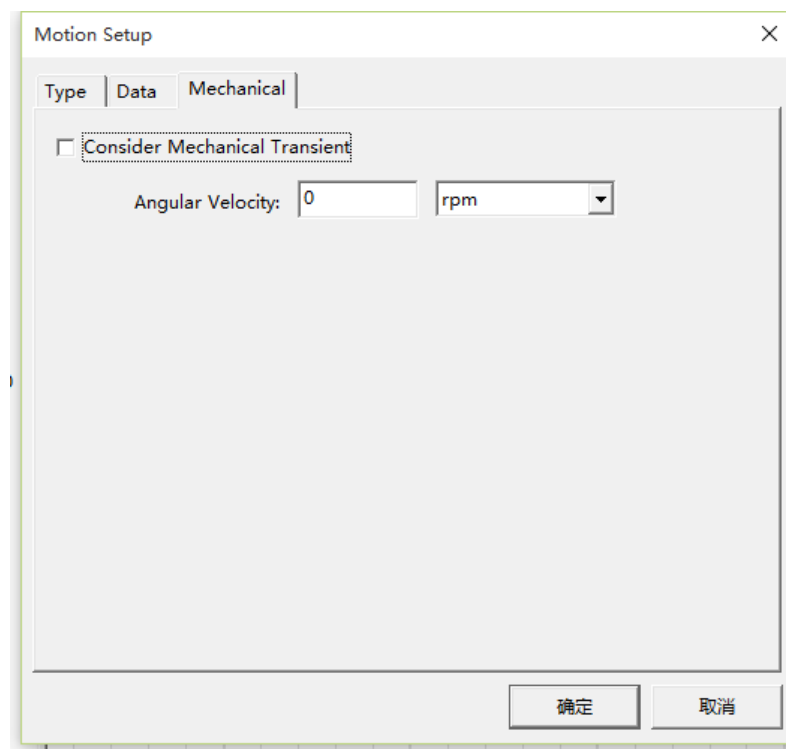
- **一、起动转矩 T_{st} 和起动电流 I_{st}**
- **二、起动过程中的最小转矩 T_{min}**
- **三、牵入同步能力，即临界牵入同步 $J-T_L$ 曲线**

一、基于Maxwell的起动转矩 T_{st} 和起动电流 I_{st} 的计算

- 起动转矩即T-s曲线上 $s=1$ 时刻对应的转矩，可通过堵转仿真求取。

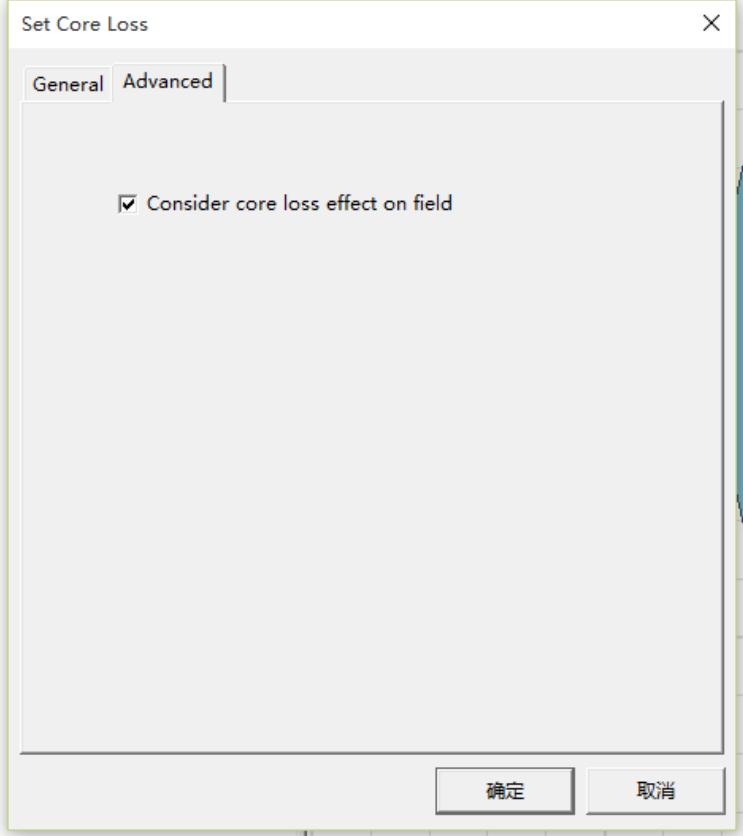
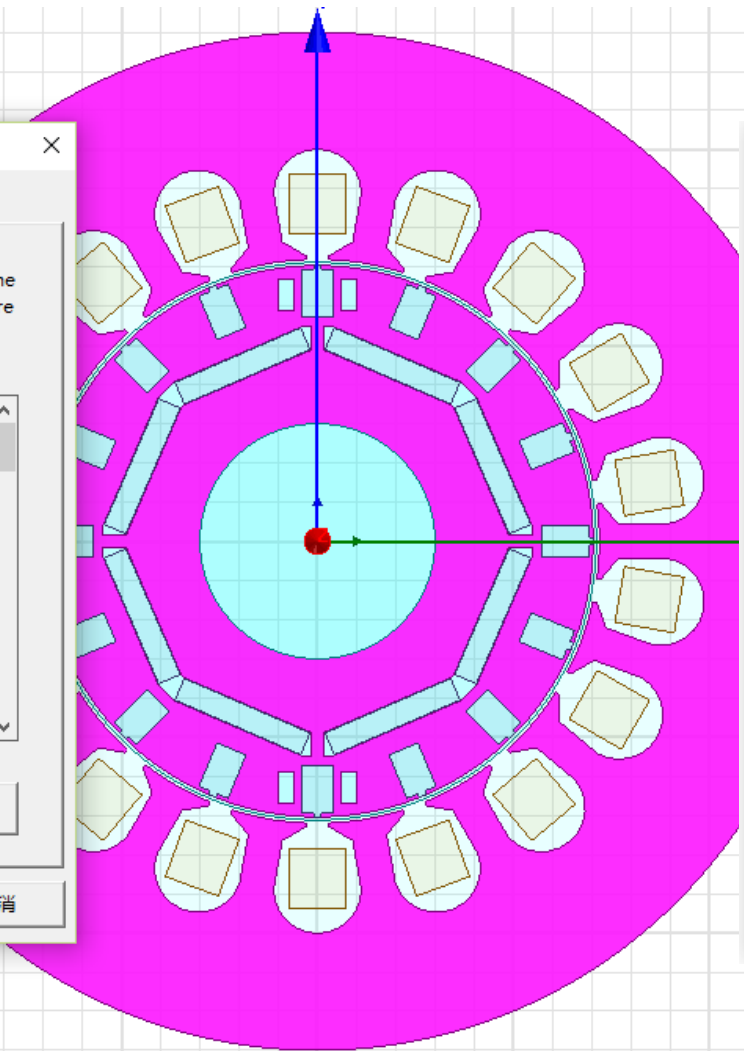
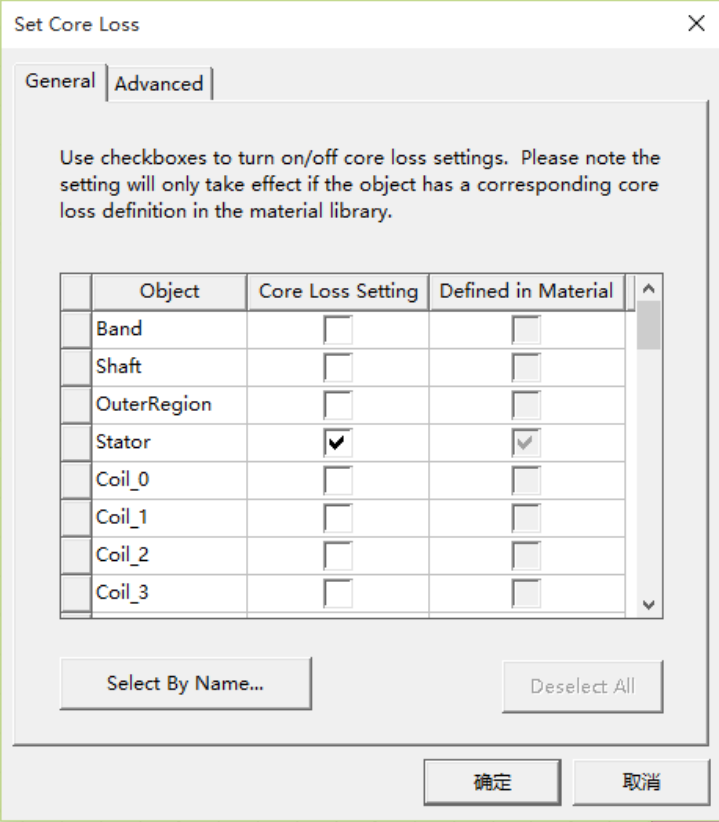


1.5kW-2极电机有限元模型

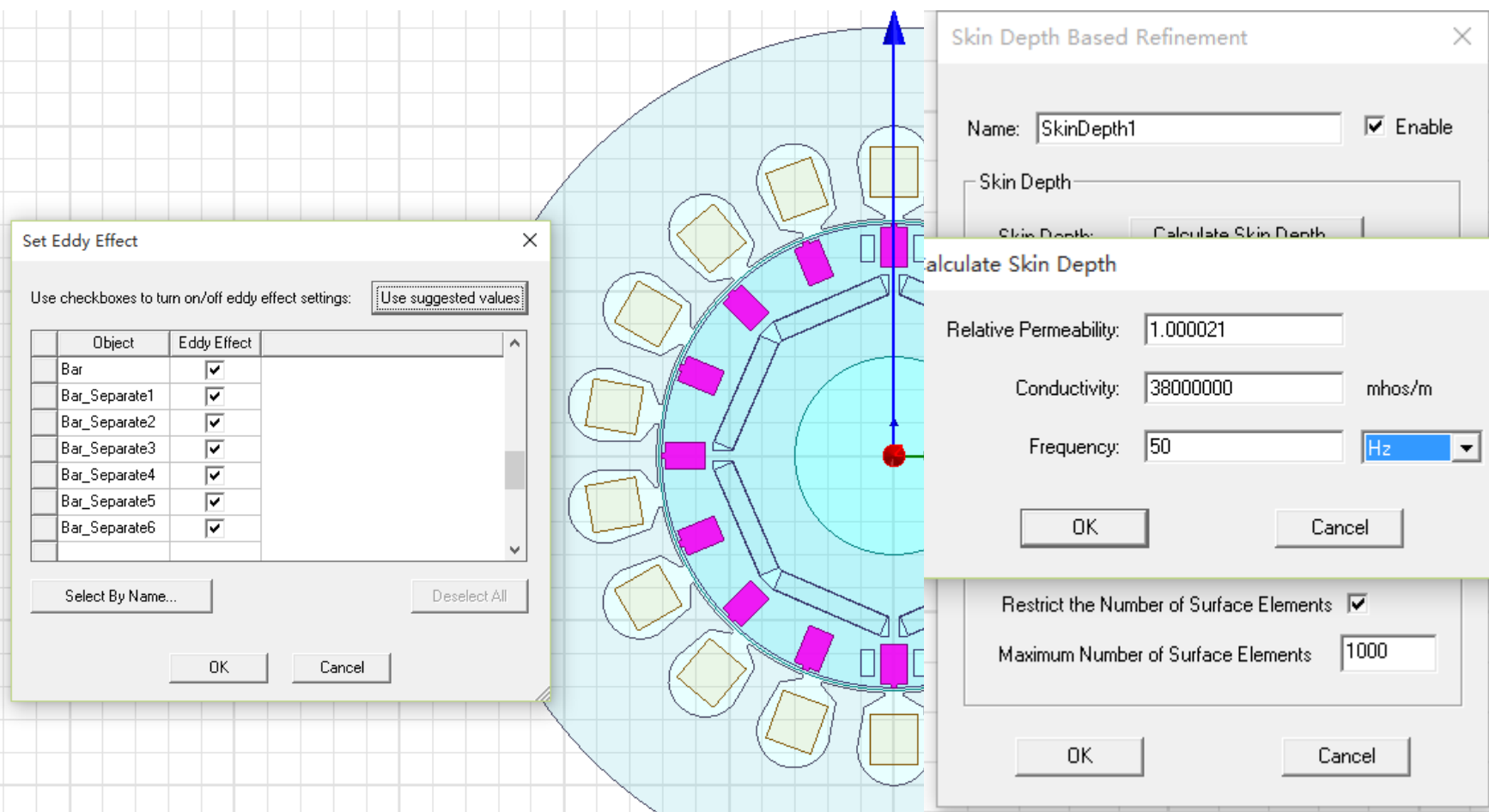


设置转速为0rpm

设置求解定、转子铁心损耗



对转子导条进行涡流效应设置、集肤效应透入深度设置



设置定子绕组与激励源参数

Winding

General Defaults

Name: PhaseA

Parameters

Type: Voltage ☐ Solid ☒ Stranded

Initial Current: 0 A

Resistance: 4.31231 ohm

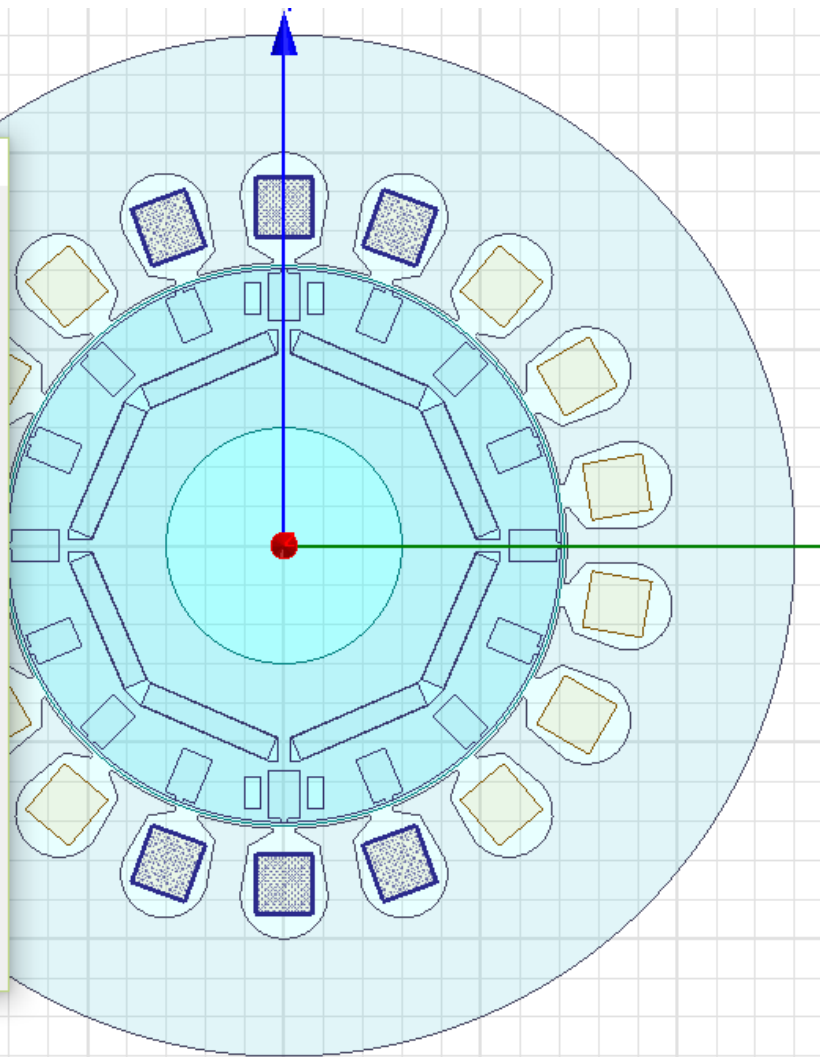
Inductance: 0.00669978 H

Voltage: $326.599 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot \text{time})$

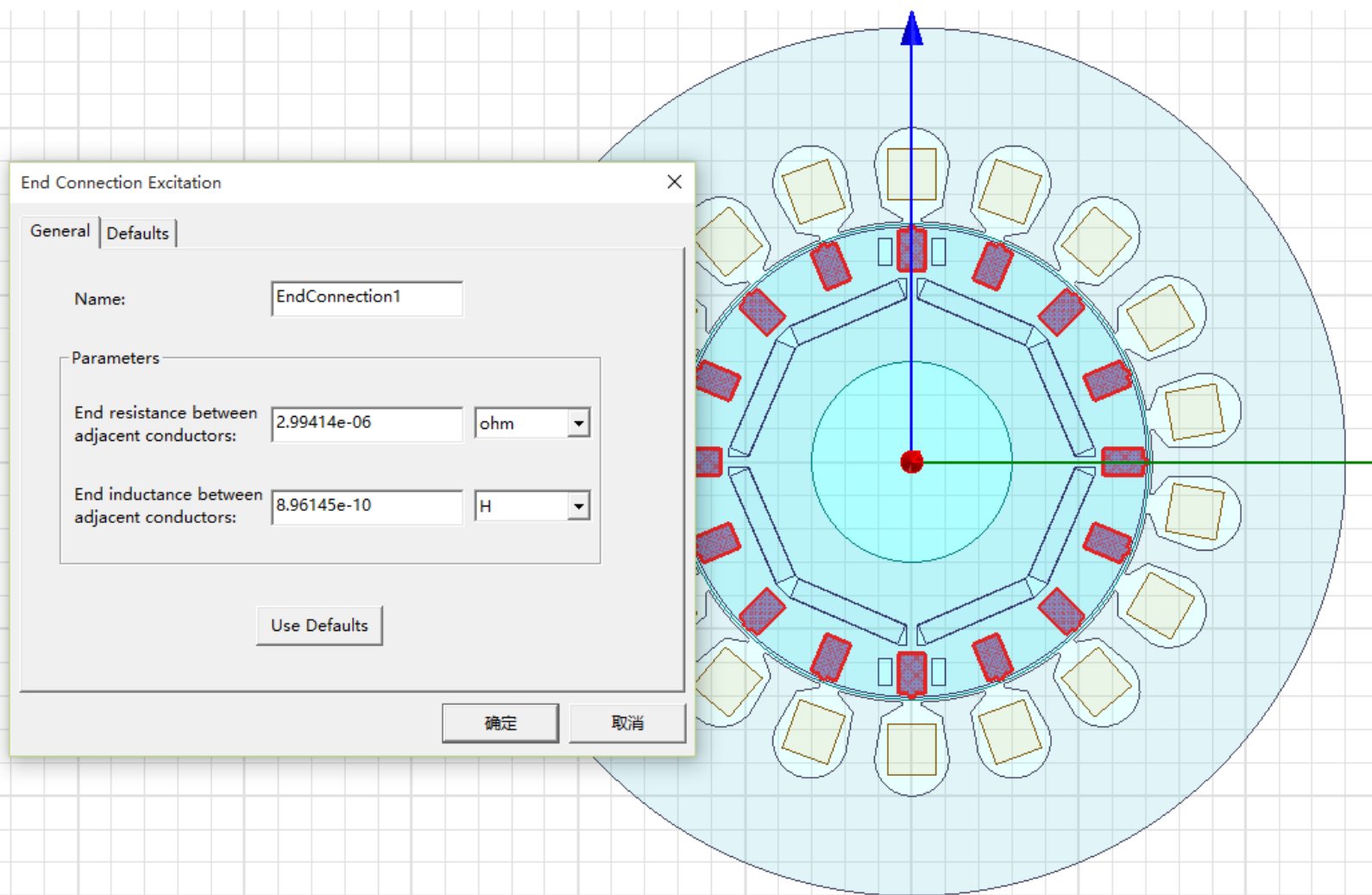
Number of parallel branches: 1

Use Defaults

确定 取消



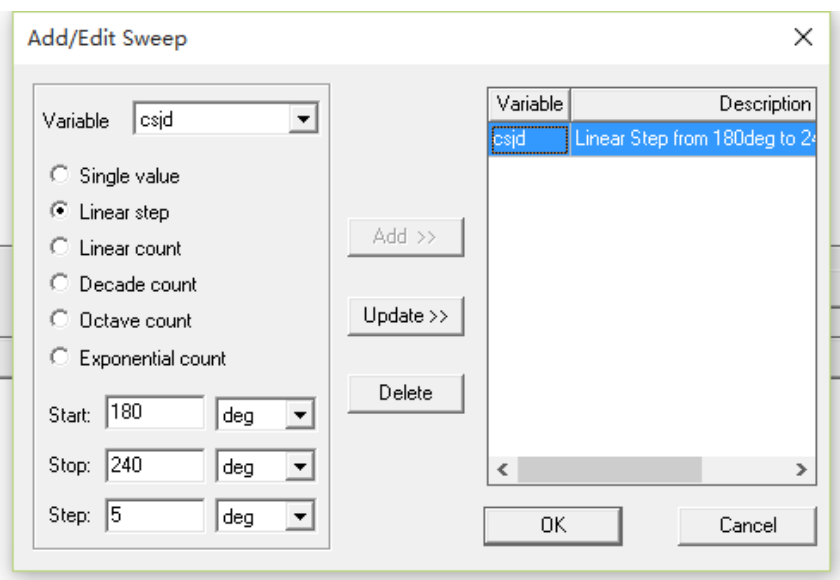
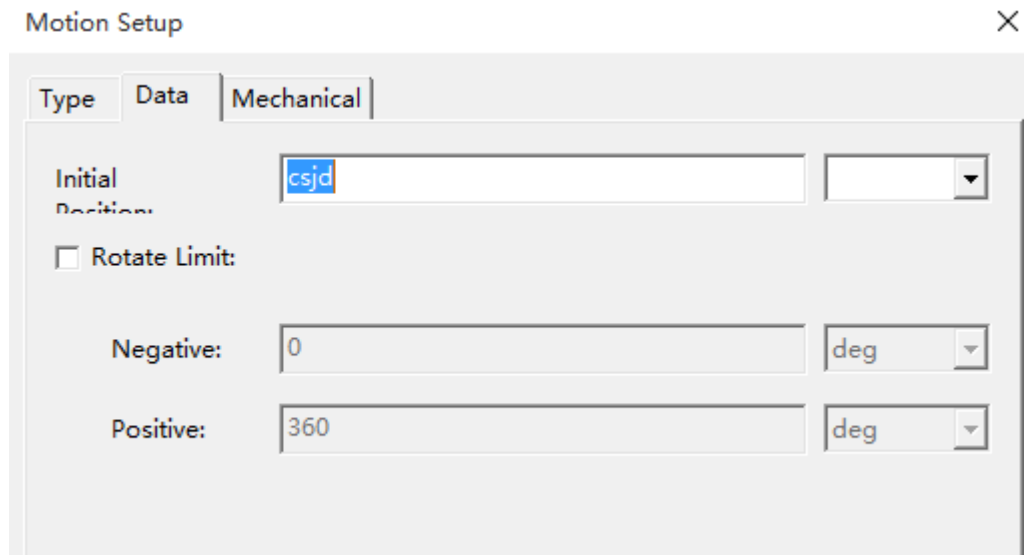
设置转子端环电阻、电感参数，利用Rmxprt等路算程序计算



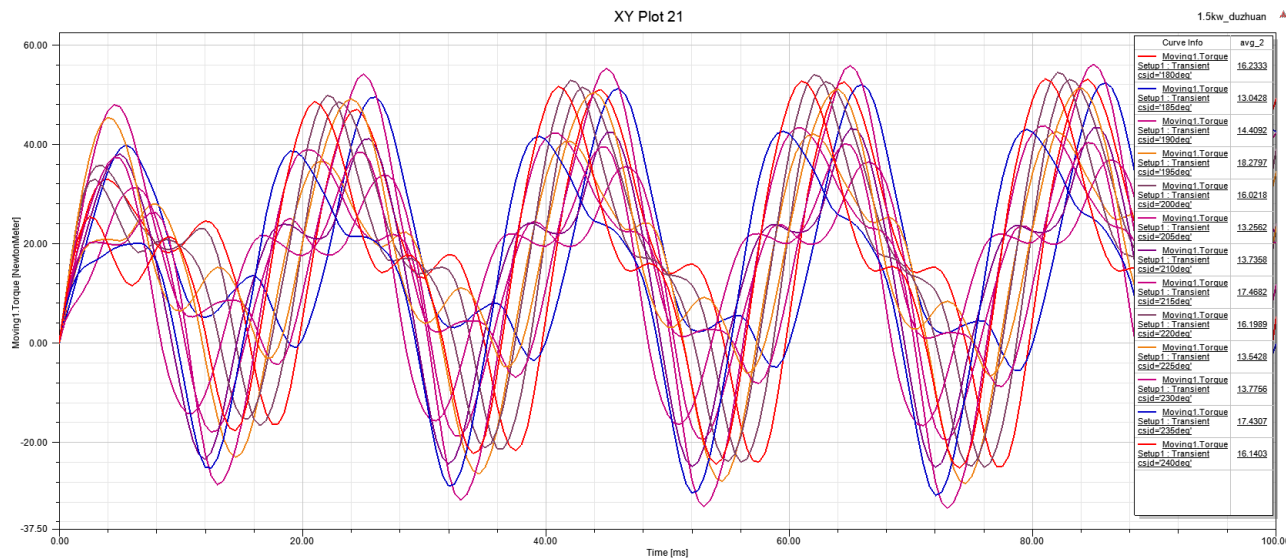
参考堵转试验标准，选取转子d轴与定子A相绕组轴线对齐时为第一个起动点，对于2极电机，在60°范围内选取多个起动点对电机的堵转转矩 T_{st} 和堵转电流 I_{st} 进行参数化仿真计算。

电机极数	机械角度范围	每点间隔度数	总计算点数
三相6极	20°内	4°	6点
三相4极	30°内	6°	
三相2极	60°内	12°	

不同极数电机堵转仿真取点方法



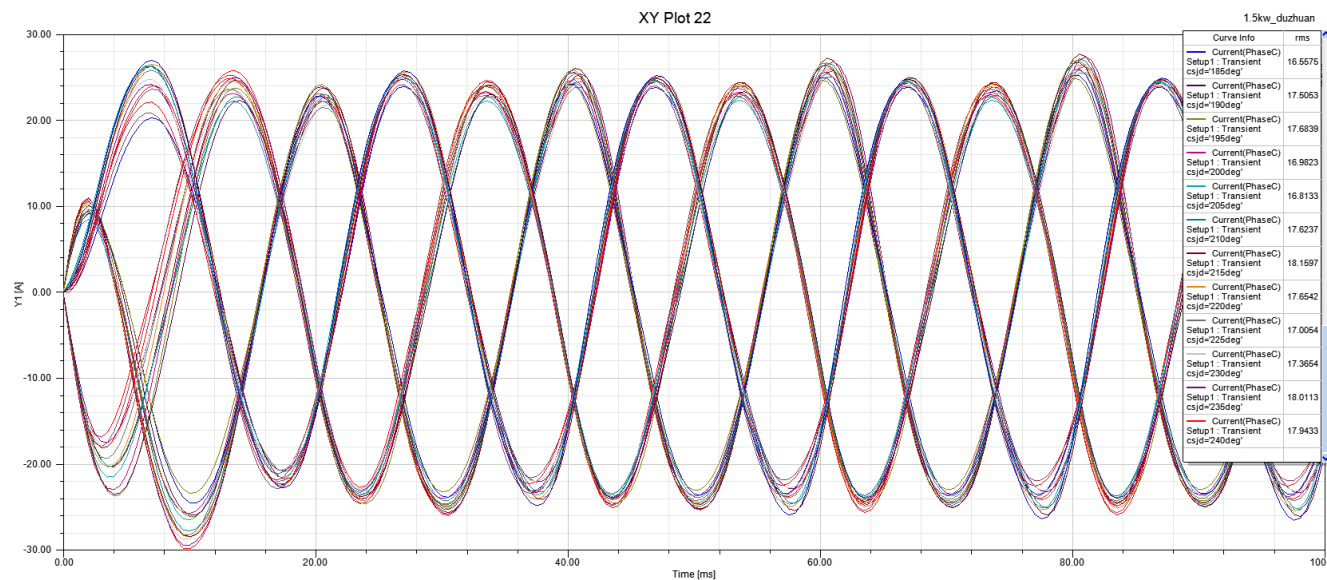
转子初始位置角参数化扫描设置



1.5kW-2极样机堵转转矩 T_{st} 参数化仿真结果

堵转转矩 T_{st} :

待转矩波形稳定后，求一个周期的平均值AVG，并取其中的最小值为13Nm。



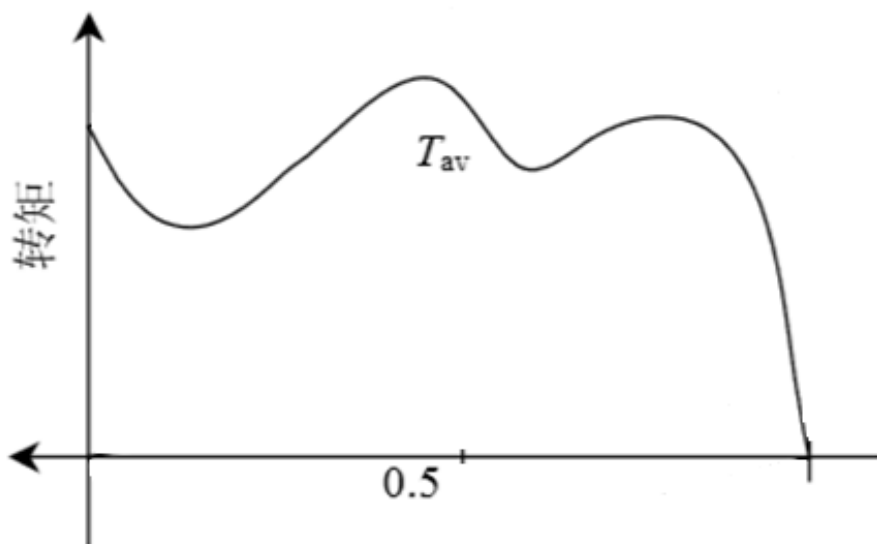
1.5kW-2极样机堵转电流 I_{st} 参数化仿真结果

堵转电流 I_{st} :

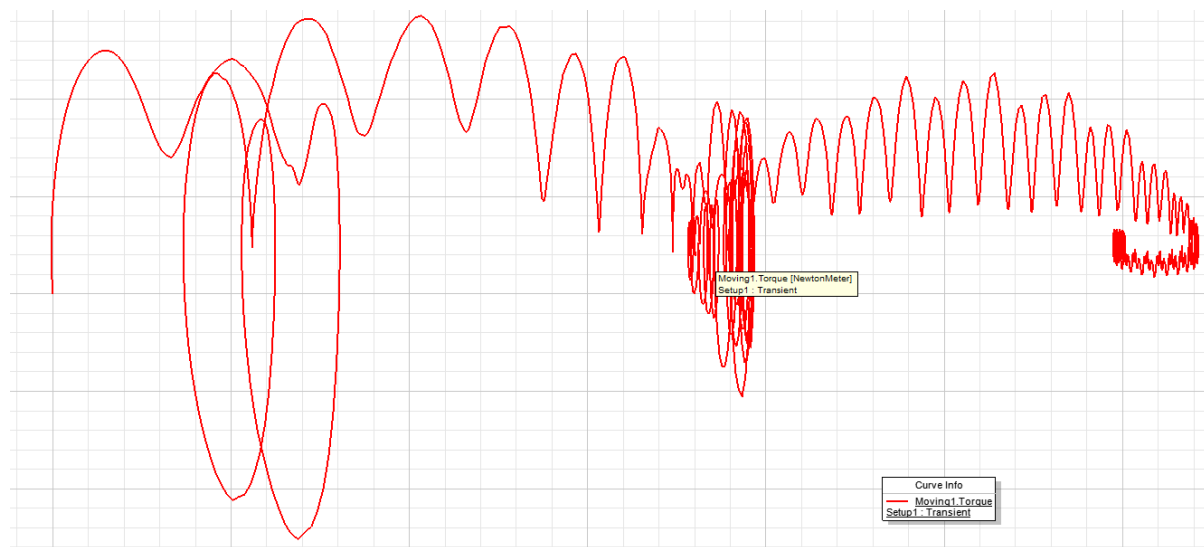
待电流波形稳定后，求一个周期的三相电流有效值RMS的平均值，并取其中的最大值为17.9A。

二、基于Maxwell的起动过程中的最小转矩 T_{min} 计算

- 仿真起动过程转矩波动剧烈，难以直接从T-n曲线上读取最小转矩 T_{min}
- 转子初始位置角、电压相位角对仿真结果影响也较大

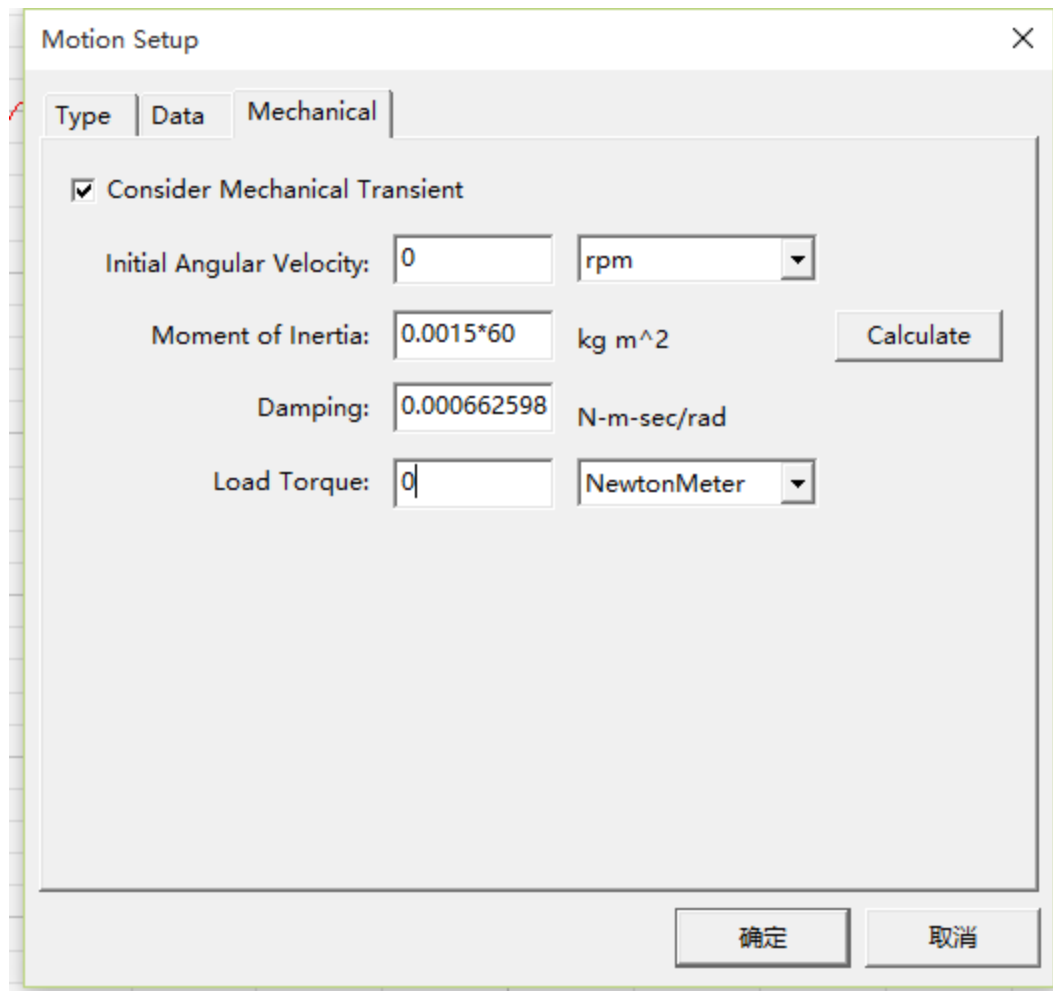


理想条件下T-s曲线



实际仿真所得T-n曲线

为了克服以上困难，现假设电机带远大于自身转动惯量的负载设备空载启动，由于整个启动过程非常缓慢，可认为电机在各异步转速下稳定运行，启动结束后得到启动过程的瞬态转矩与时间 T - t 曲线，对该曲线进行一定的数据处理，可得到平滑曲线，从平滑曲线上读出电机启动过程中的最小转矩 T_{\min}



Initial Angular Velocity: : 初始转速

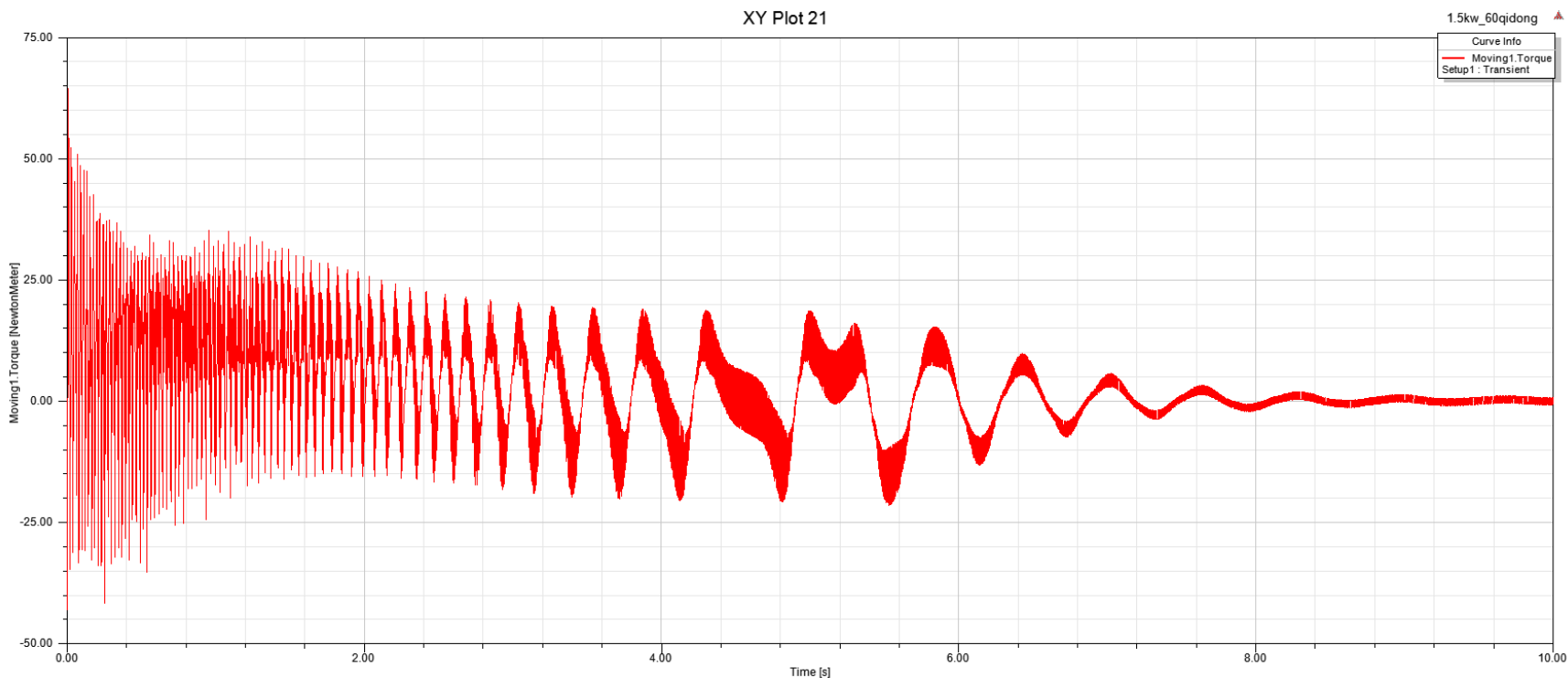
Moment of Inertia : 转子和负载转动惯量之和

Damping : 阻尼系数, 机械损耗/(角速度)^2

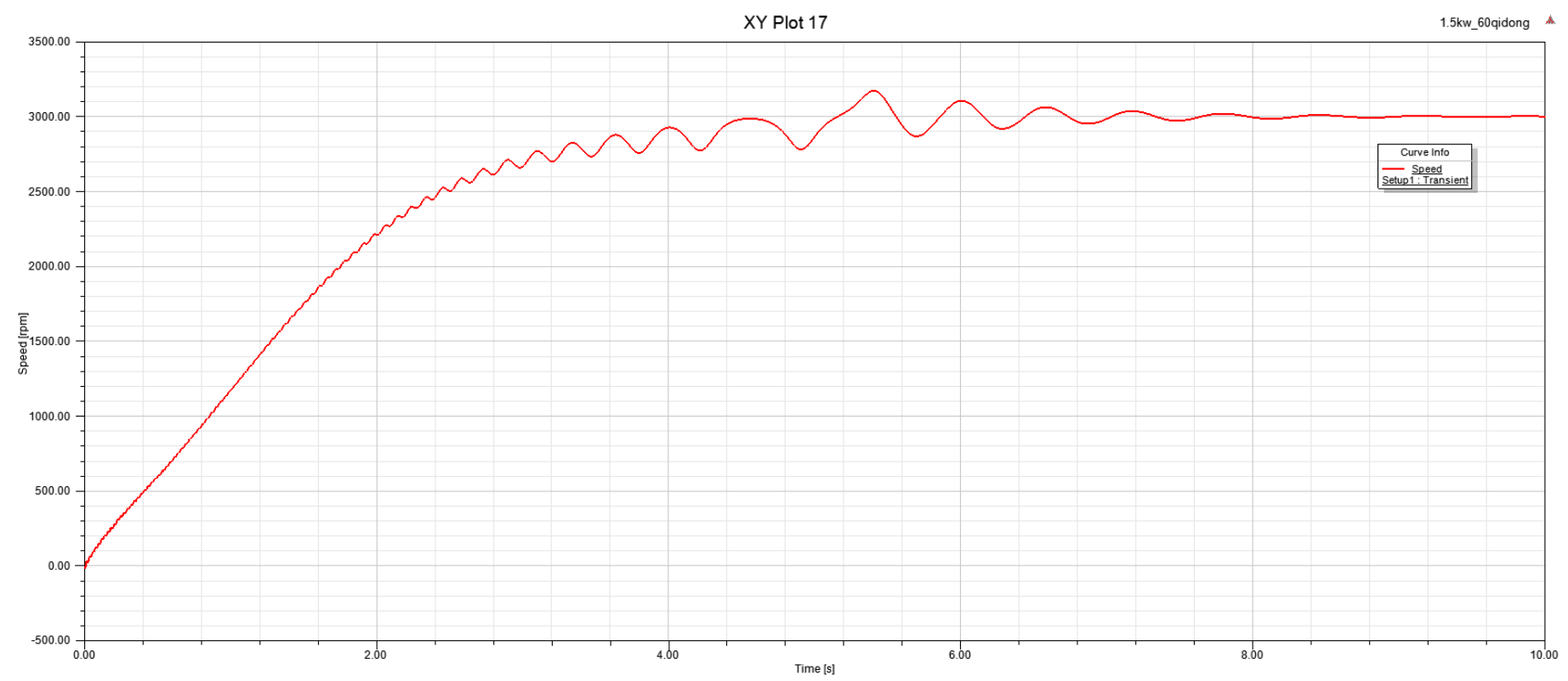
Load Torque : 负载转矩, 为负值

电机起动仿真运动设置

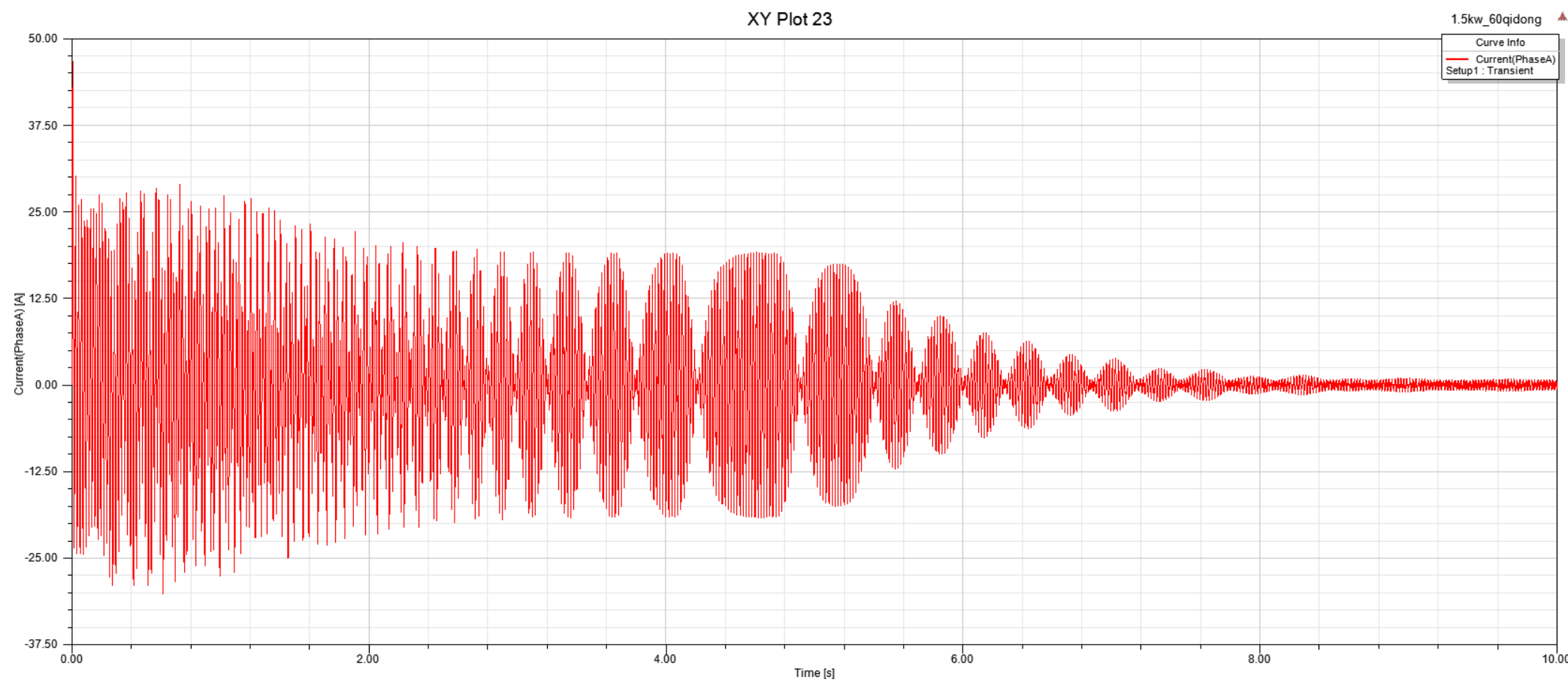
- 设置负载惯量为60倍电机自身转动惯量，空载起动，仿真得到瞬态转矩与时间 $T-t$ 曲线



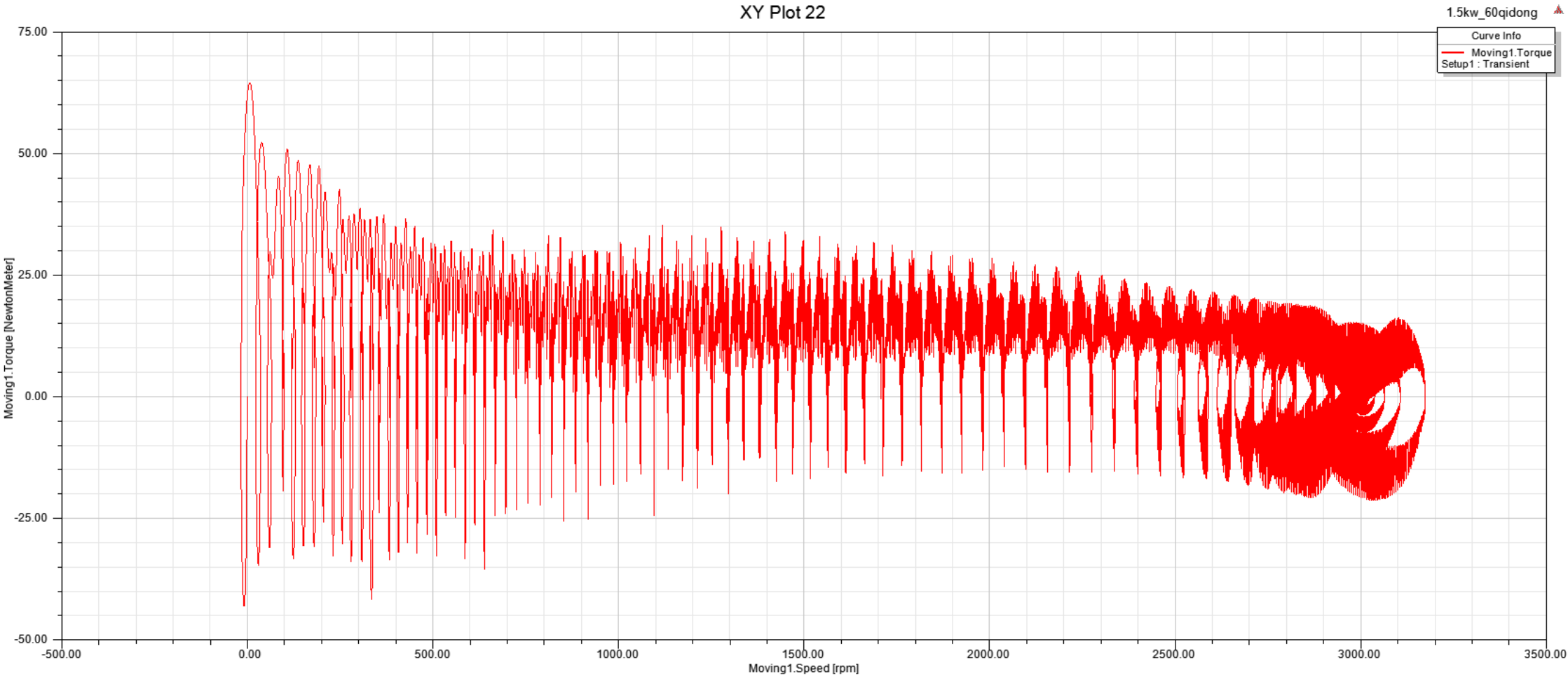
起动过程转速与时间曲线n-t



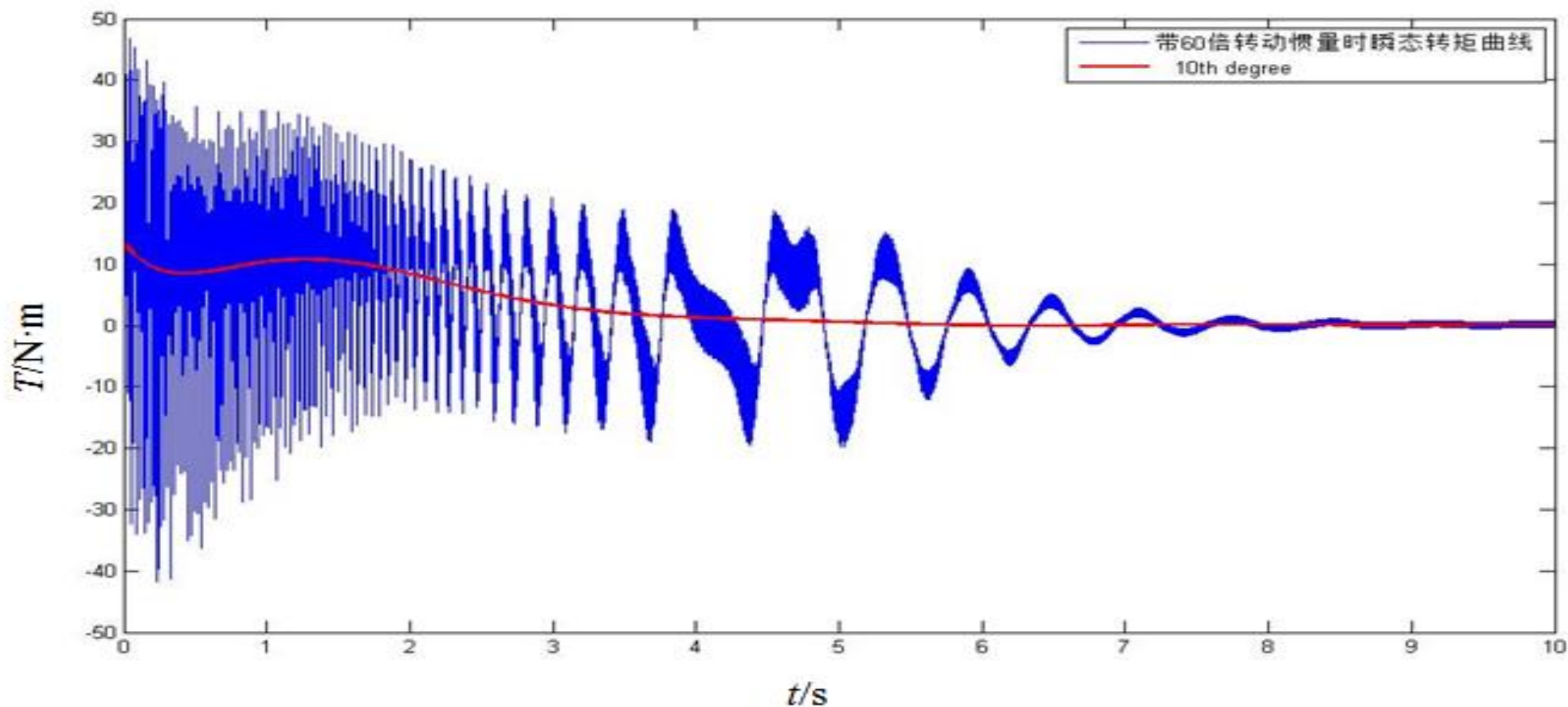
A相电流与时间曲线



瞬态转矩与转速曲线T-n



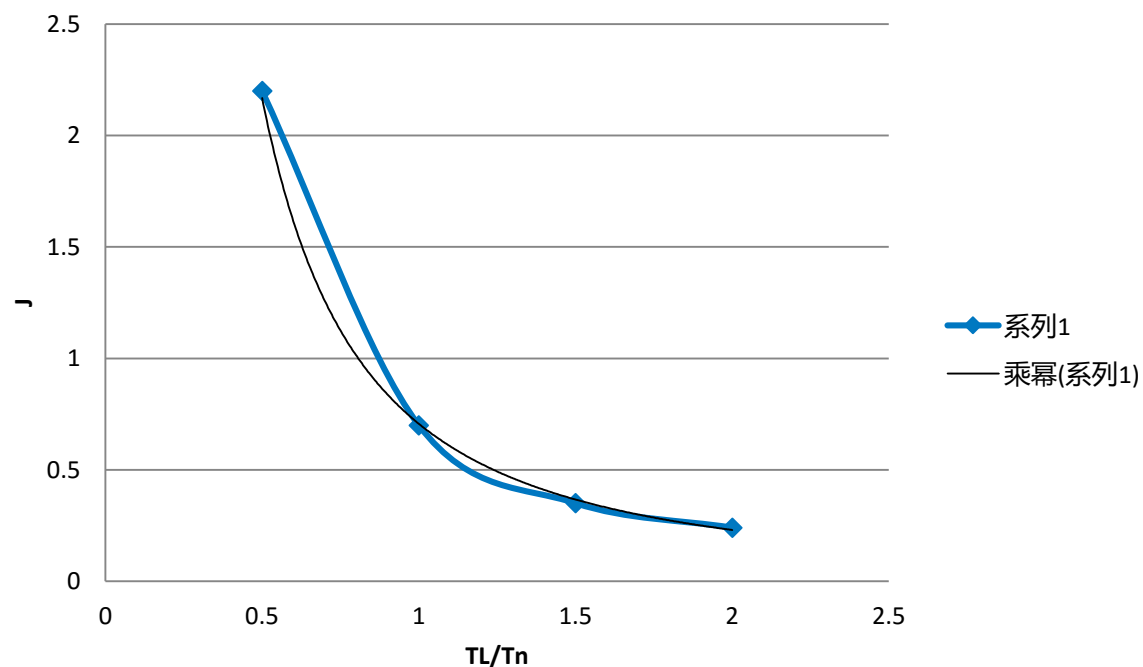
利用Matlab对瞬态转矩与时间曲线T-t进行10次多项式拟合，拟合曲线在0.5s左右处出现下凹，此时转差率s为0.75左右，读取此处最小值即为电机最小转矩 T_{\min} ，为8.6Nm



用Matlab对瞬态转矩与时间 $T-t$ 曲线进行拟合

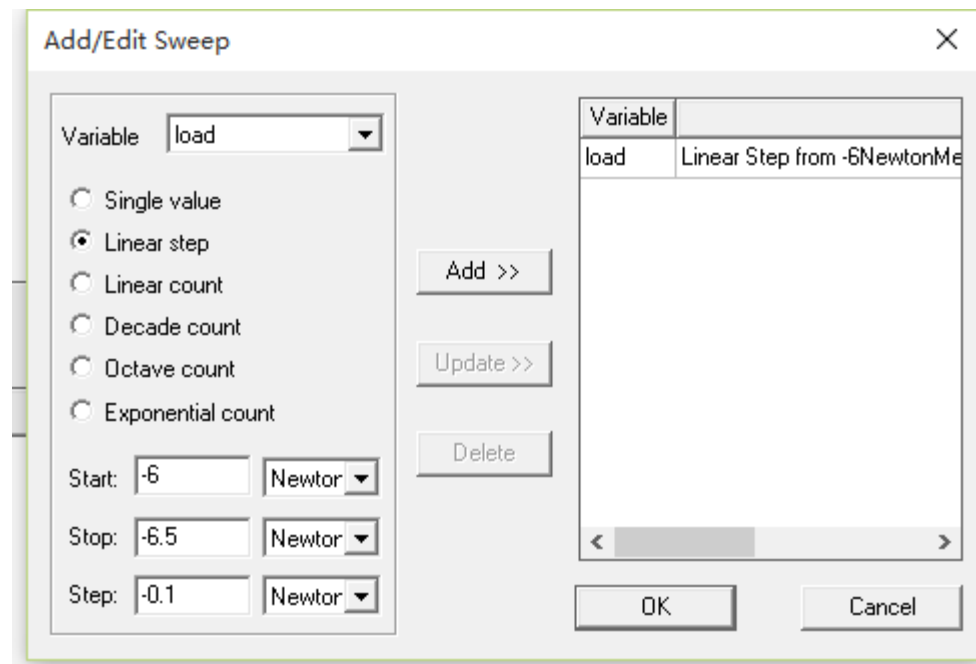
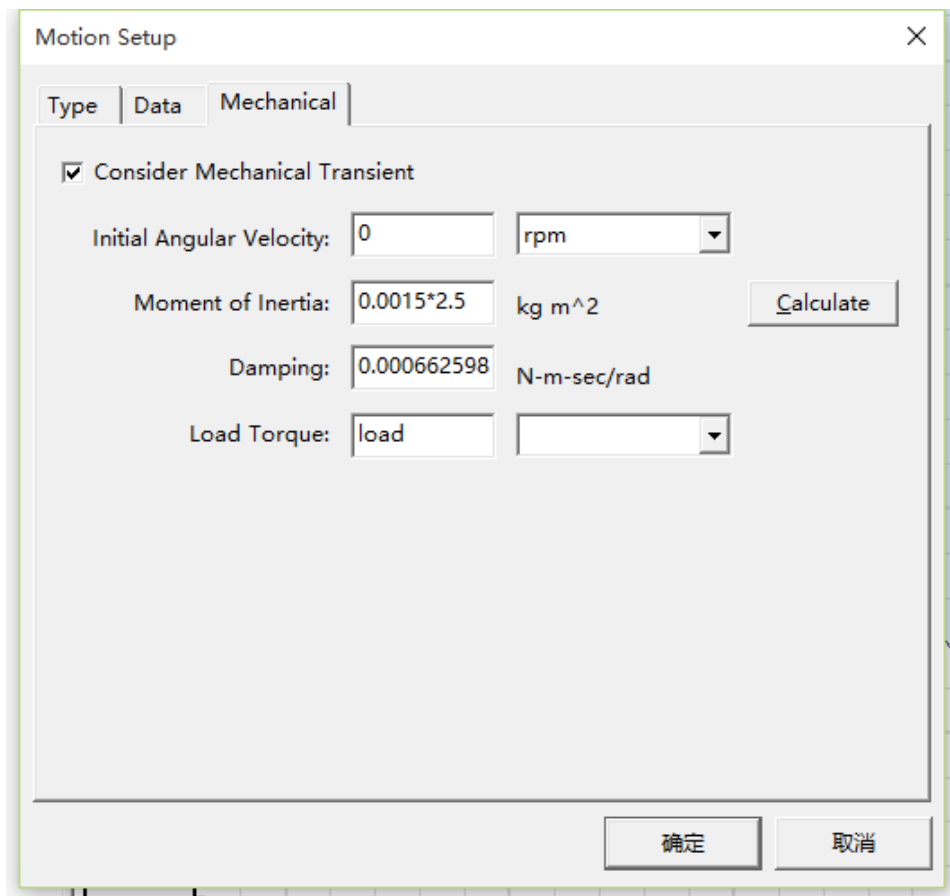
三、基于Maxwell的牵入同步能力计算

临界牵入同步J-TL曲线

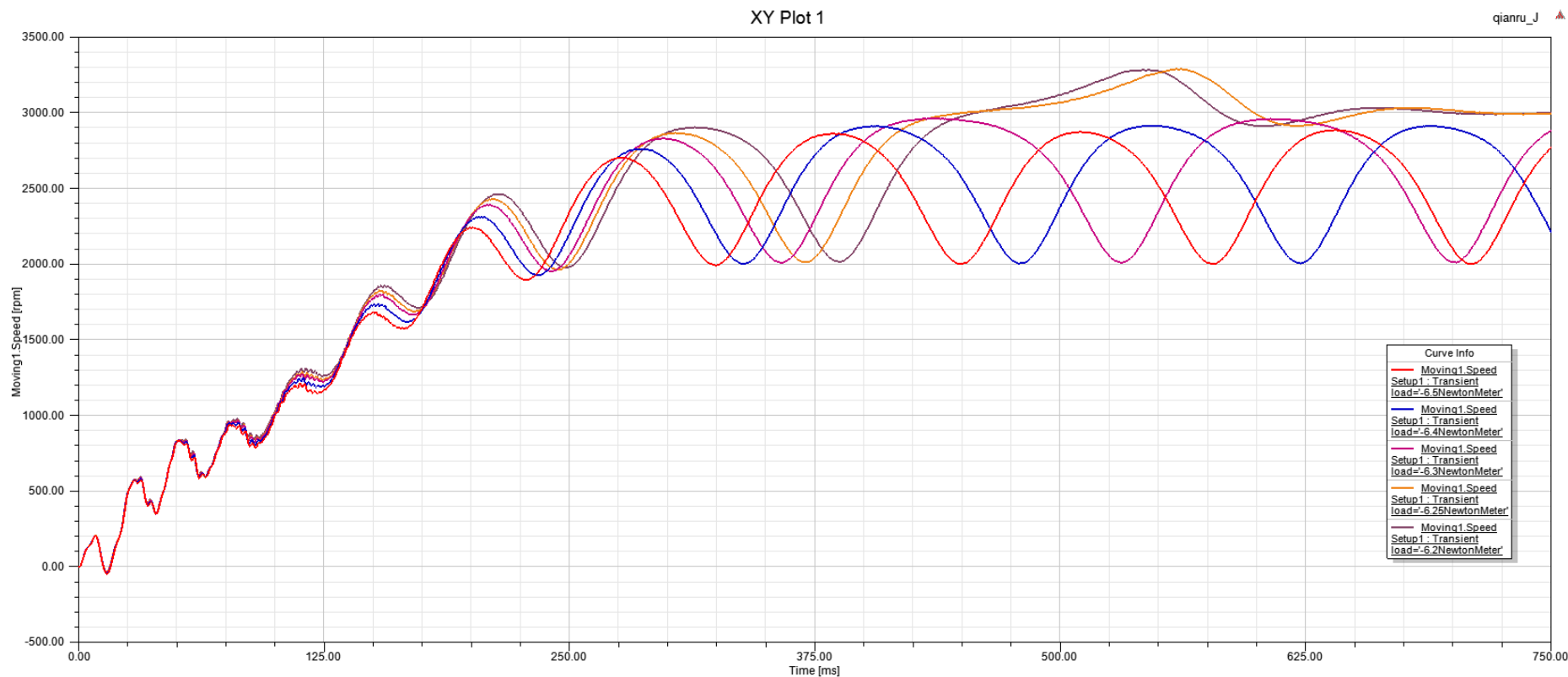


- 电机牵入同步能力由临界牵入同步曲线J-TL表征：该曲线为不同负载转矩下，电机可以牵入同步的不同的最大转动惯量。

设置一定负载转动惯量，并对负载转矩进行参数化扫描



设置负载转动惯量为1.5倍电机自身惯量，对负载转矩进行参数化扫描，当负载转矩为-6.25Nm时，电机刚好可牵入同步



- 带1.5倍自身转动惯量、不同负载起动过程转速-时间曲线n-t

总结

- 1.通过对电机的堵转状态进行瞬态场仿真，得到LSPMSM的起动转矩 T_{st} 和起动电流 I_{st}
- 2.通过进行大转动惯量，空载起动仿真，得到LSPMSM瞬态转矩-时间曲线 $T-t$ ，对该曲线进行多形式拟合得到平滑曲线，从平滑曲线上读取最小转矩 T_{min}
- 3.通过固定负载转动惯量，在一定范围内参数化负载转矩，得到临界牵入同步J-TL曲线上的一点，进而可求得整条曲线

ANSYS®



ANSYS
CONVERGENCE
CONFERENCES

2016

ANSYS中国技术大会

中国·上海

感谢聆听

