



刘正之，自1974年至今，在中国科学院等离子体物理研究所工作凡四十余年。长期从事受控核聚变工程及高功率脉冲电源技术的研究与应用，历任研究员、研究室主任、中科院研究生院教授、博士生导师。

曾分别在德国“马-普”等离子体物理研究所，英国牛津“欧洲联合环”JET，韩国原子能研究所聚变实验室工作（访问学者）。

曾参与科学院重大项目“HT-7U超导托克马克装置”，国家九五重大科学工程“HT-7U超导托克马克聚变试验装置”研制。任电源系统负责人，获国家科技进步奖、中国科学院科技进步奖一等奖、二等奖等四项；获国家发明专利及实用新型专利七件。

2006年底退休，2007-2010年国家科技部“中国国际核聚变能源计划执行中心”，参与ITER电源采购包工作，受聘“国际热核试验堆（ITER）工程”咨询专家。



# 先进聚变电源技术漫谈

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日



# 自我介绍

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日



# 先进聚变电源技术漫谈

- 漫谈
- 聚变，聚变装置，聚变电源；
- 电源技术，聚变电源技术；
- 先进聚变电源技术

刘正之 2018年7月20日



# 聚变，聚变试验装置，托卡马克

## 电物理装置——由电工原理和电工技术角度对托卡马克装置的理解

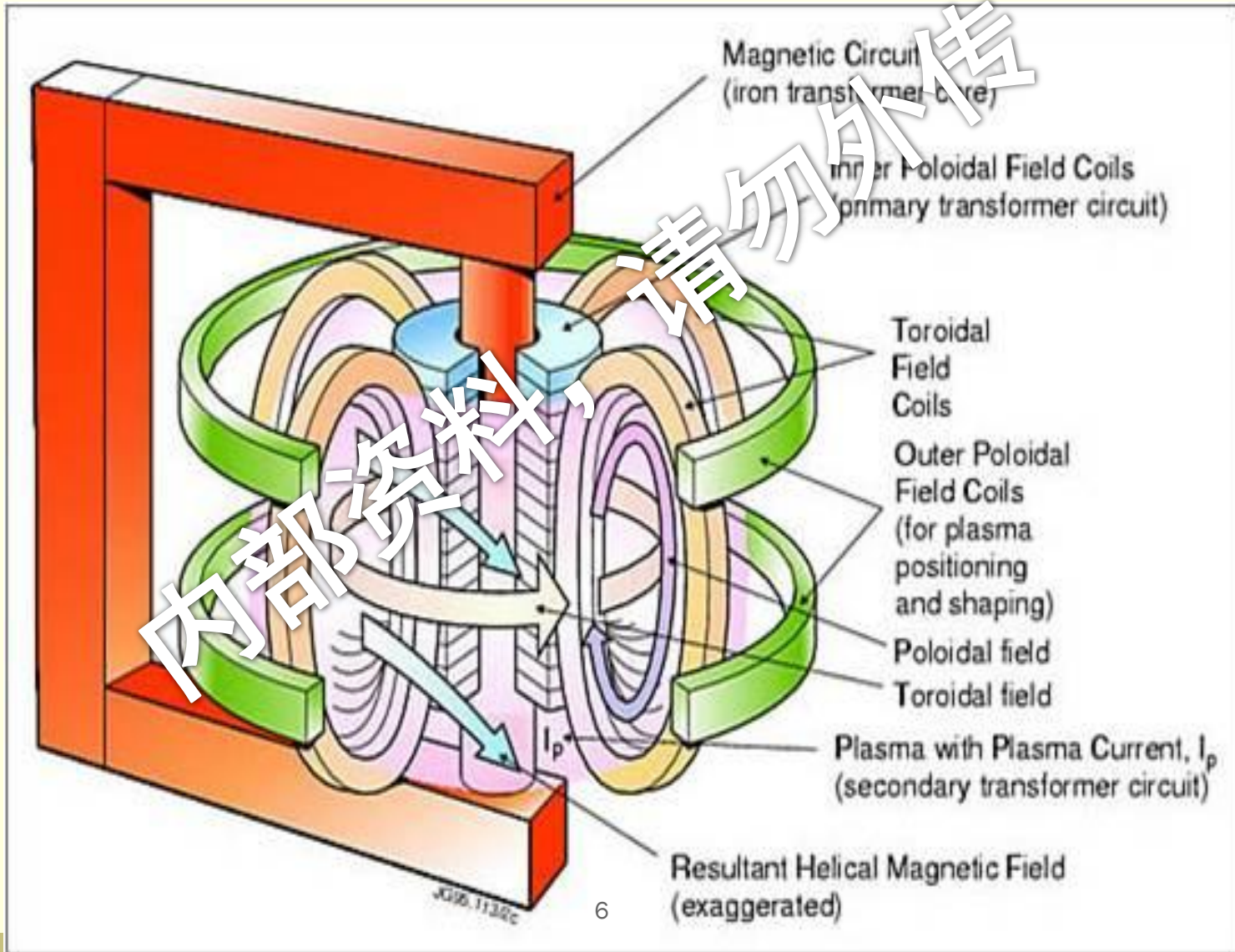
- 电磁场-电磁耦合-多线圈耦合-多绕组变压器  
(多主动输入，单一等离子体环负载，结构件被动耦合)
- 物理-工程，电磁场-等值电路-电路分析
- 数理模型-电磁参数-状态方程-多变量控制
- 硬件解耦-软件解耦-现代控制理论-多变量解耦控制-等离子体控制-电源控制-电源技术

刘正之 2018年7月20日





### 托卡马克结构原理示意图





# 电源技术—聚变电源技术

- 发电厂-电力网-配电网-电源装置-负载用户
- 电源技术-输配电-电能变换-调理控制-常规、特种
- 聚变电源-聚变电源技术
  - -为物理、为装置、为试验服务，为物理目标提供工程技术支撑
  - -高压-强流-高功率-高能量-脉冲-长脉冲-准稳态
  - -储能技术-开关技术-变流技术-控制技术



# 现代电力电子技术

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日





## 电力电子技术发展历史

- **电力电子技术 (power electronics)** 是指用功率半导体开关器件来实现电能的变换与控制，它是电力、电子、控制三大电气工程技术领域之间的交叉学科。能够实现大功率电能的电压、电流、频率、功率变换。
- **1957年世界上第一只晶闸管 (Thyristor)** 问世以后，就为电能的变换与控制提供了新的手段——电力电子技术。
- **从七十年代末期**开始，各种类型的全控半导体开关器件如GTO、GTR、MOSFET、IGBT等陆续出现，为电力电子技术的进一步发展提供了条件。此间，对电力电子电路拓扑结构、电力电子电路的控制技术等方面在世界范围内进行了广泛研究，使得**电力电子进入了以高频化、智能化、模块化、大功率为特征的现代电力电子技术阶段。**
- **第三代宽禁带半导体器件**，相对于Si材料，使用宽禁带半导体材料制造新一代的电力电子器件，可以变得更小、更快、更可靠和更高效。
- 我国在功率半导体的制备技术和产业化方面**亟待突破**，而最大的瓶颈是原材料和成本问题。

刘正之 2018年7月20日



电力电子器件是电力电子技术的基础，电力电子器件的不断发展引导着各种电力电子拓扑电路的不断完善





- ◆ 功率半导体与微电子（芯片）具有同等重要的地位
- ◆ 电力电子技术的应用及其引起的革命性变革
  - 电能的调制、变换、传输、应用；
  - 电工技术、电力系统、能源发展；
  - 供电、传动、交通、通讯、节能环保、绿色能源、工业自动化、智能电网、国防、航天、航空、舰船。。。
  - 几乎无所不在，无所不包。
  - **聚变电源技术**
    - -高压-强流-高功率-高能量-脉冲-长脉冲-准稳态
    - -储能技术-开关技术-变流技术-控制技术



# HT-7电源系统

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日



## 设计目标：

高功率电源系统是HT-7超导托克马克主要的子系统之一，它担负着向试验装置提供各种不同规格的高功率电源，实现能量传输、功率转换、运行控制等重要任务。

为等离子体的产生、约束、维持、加热，以及等离子体电流、位置、形状、分布和破裂的控制，提供必要的工程基础和控制手段。对于装置运行的性能与安全，物理实验的成败与效率，有着至关重要的作用。



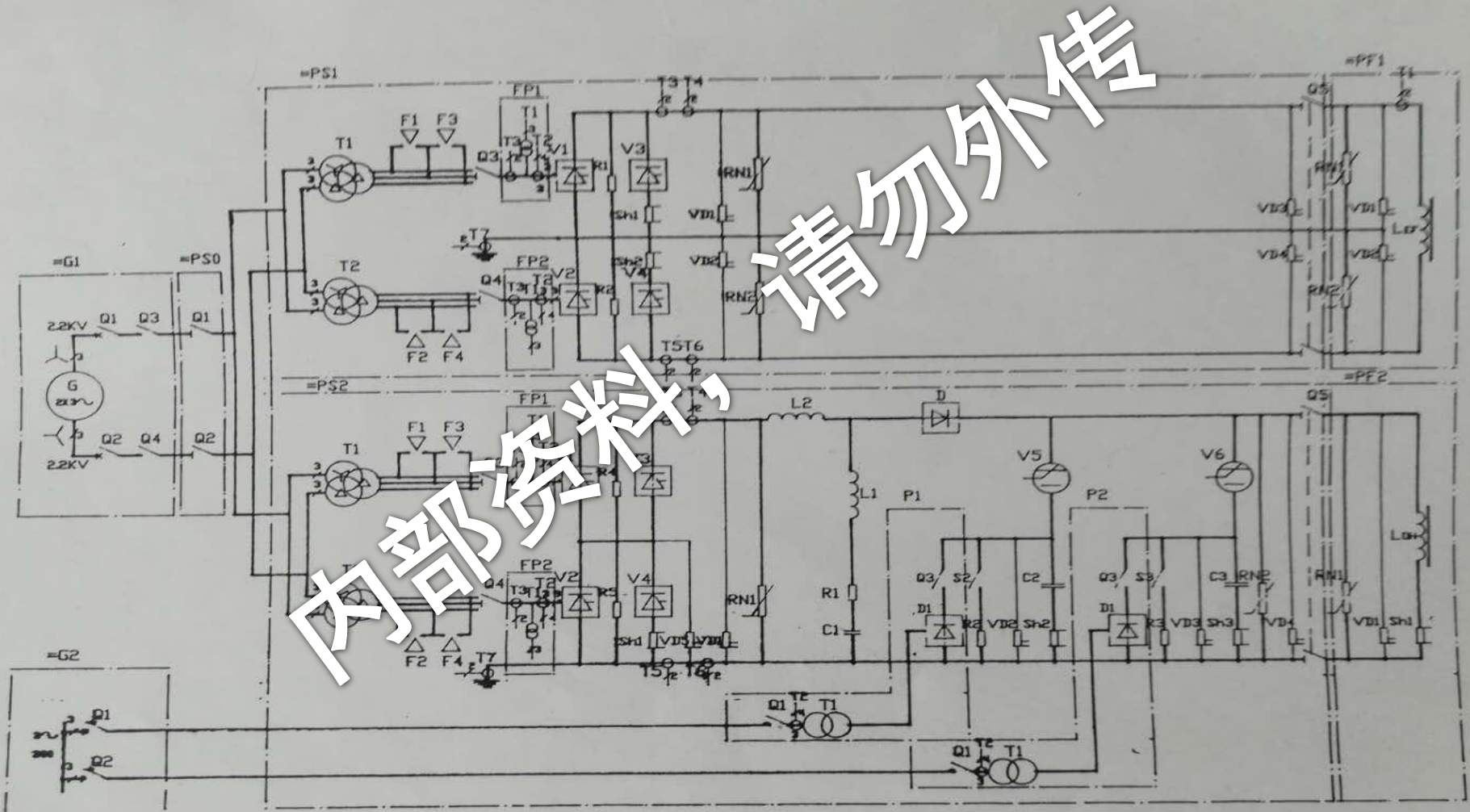
### HT-7极向场电源系统

- AC MFG 100MW, 6p, 30° 相移, Y-Y 绕组;
  - 2\*12 p 双桥晶闸管变流器, 串联顺序控制, 旁通桥过流保护, 交流侧快速短路开关;
  - 4\*三绕组变压器 (6p-3p 连接)
  - 本地保护, 后备保护, 软件保护, 系统连锁;
  - 多变量解耦控制
- 
- 1990-1994, 设计建造
  - 1995 移交运行
  - 1997 220kA/2.97sec plasma



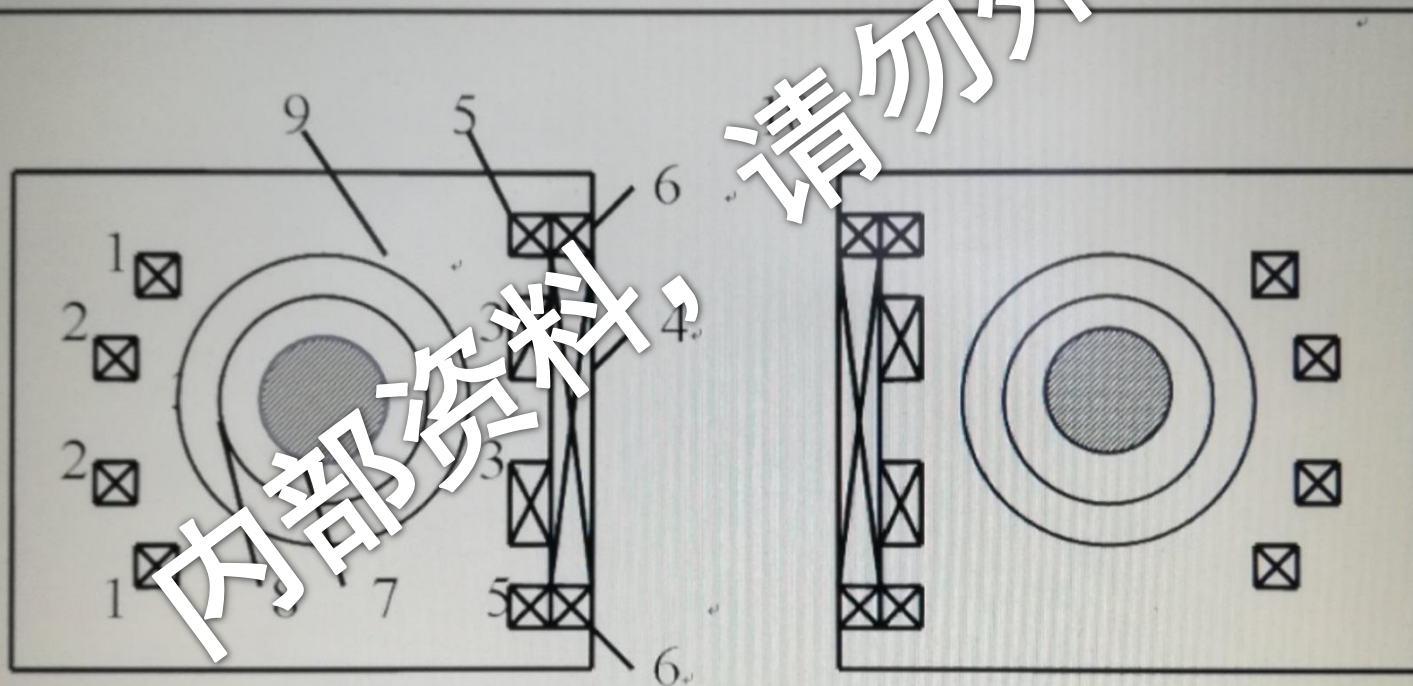


### HT-7 加热场与垂直场电源系统图





### HT-7结构示意图





## 多变量解耦控制

**多变量解耦控制：**

- 将一个考虑了所有相互耦合的非线性复杂电磁系统（主动控制线圈—各绕组；被动耦合导电构件—真空室，内外铜壳；铁芯；等离子体环）转换为—组等值电路。
- 建立铁芯托卡马克的等离子体电流和位移控制的数学模型和状态方程；
- 通过理论分析和实验测量，求出各相关特性曲线和电磁参数；
- 建立多变量解耦控制方程，以及相应控制程序和控制软件。
- 实现了等离子体电流和位移的实时控制。

刘正之 2018年7月20日



- 设计-工程-试验，理论-深度-广度。
- 依靠课题组、研究室、所工厂，自力更生，亲力亲为，艰苦奋斗。
- 多项成果，多篇高水准论文。
- 一支团队，一批人才，一个学科方向。
- 代表人物？

刘正之 2018年7月20日



# HT-7U/EAST高功率电源系统

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日





## 设计原则：

- 以新建的110KV高压专用输电线及110KV/63MVA高压变电站，提供装置运行的准稳态脉冲负荷，辅以开关换流技术尽量减少脉冲负荷对高压电网的冲击。
- 利用成熟的晶闸管静止变流技术，实现纵场电源及极向场电源，保证其四象限/二象限运行的快速调节能力，尽量减少其无功负荷及谐波电流对高压电网的影响。
- 利用先进的电力电子技术及开关电源技术，实现大容量高频逆变电源，保证等离子体位置控制的快速响应与控制能力。
- 研制大容量直流高压晶闸管开关及爆炸开关，满足装置运行及大型超导磁体失超保护的技术要求，确保装置运行的性能及安全。
- 研制大容量高压无功静止补偿及滤波装置，实现本电源系统与高压电网的电磁兼容。





## 本电源系统包括：

- 纵场电源 (TFPS)
- 极向场电源 (PFPS)
- 等离子体位移快速控制电源 (FCPS)
- 波加热与波驱动高压调制电源  
(AH/CA HVPS 见高功率微波系统)
- 滤波及无功静止补偿装置 (SVC)
- 电源分控制系统

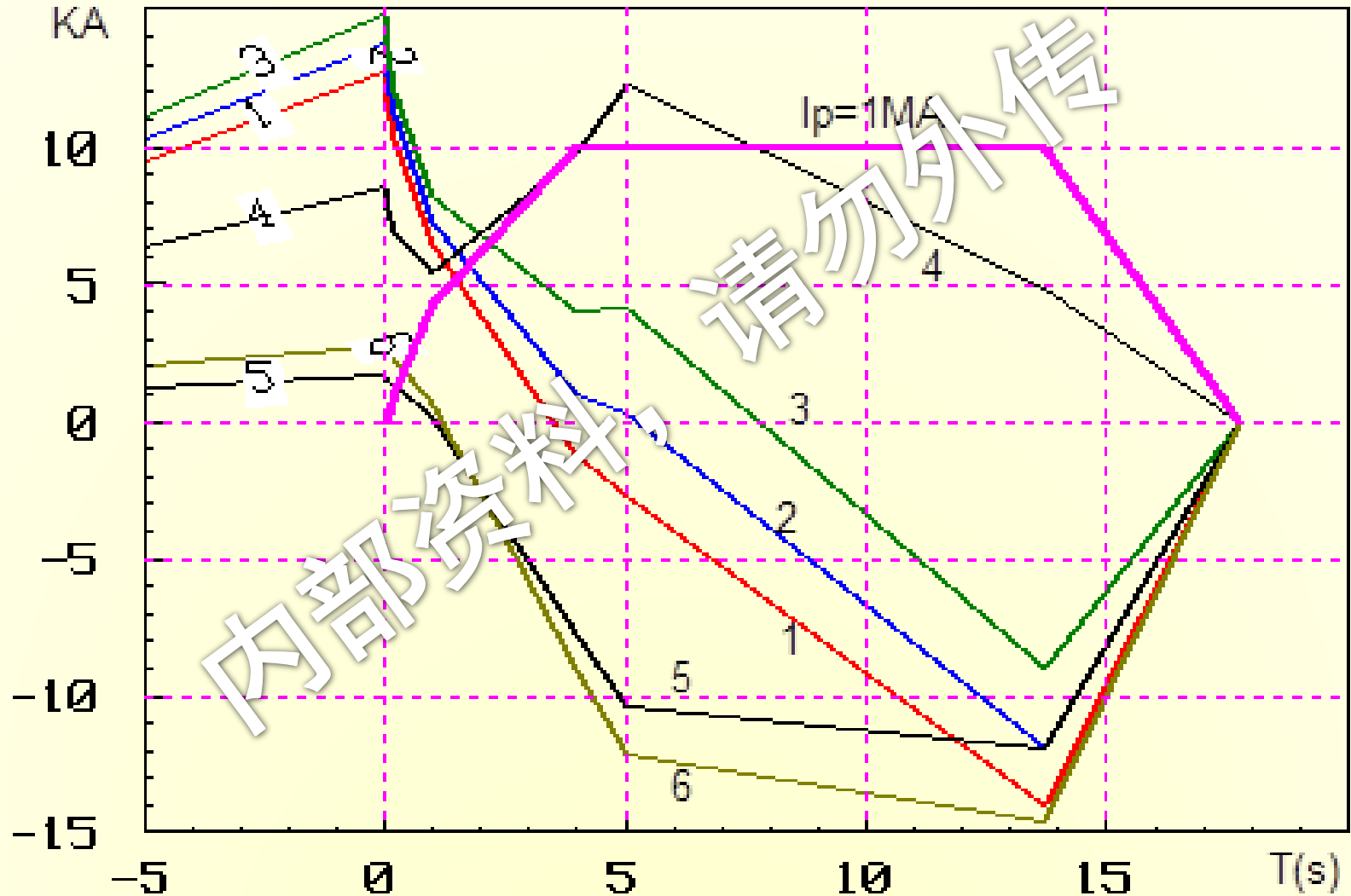


# 极向场电源

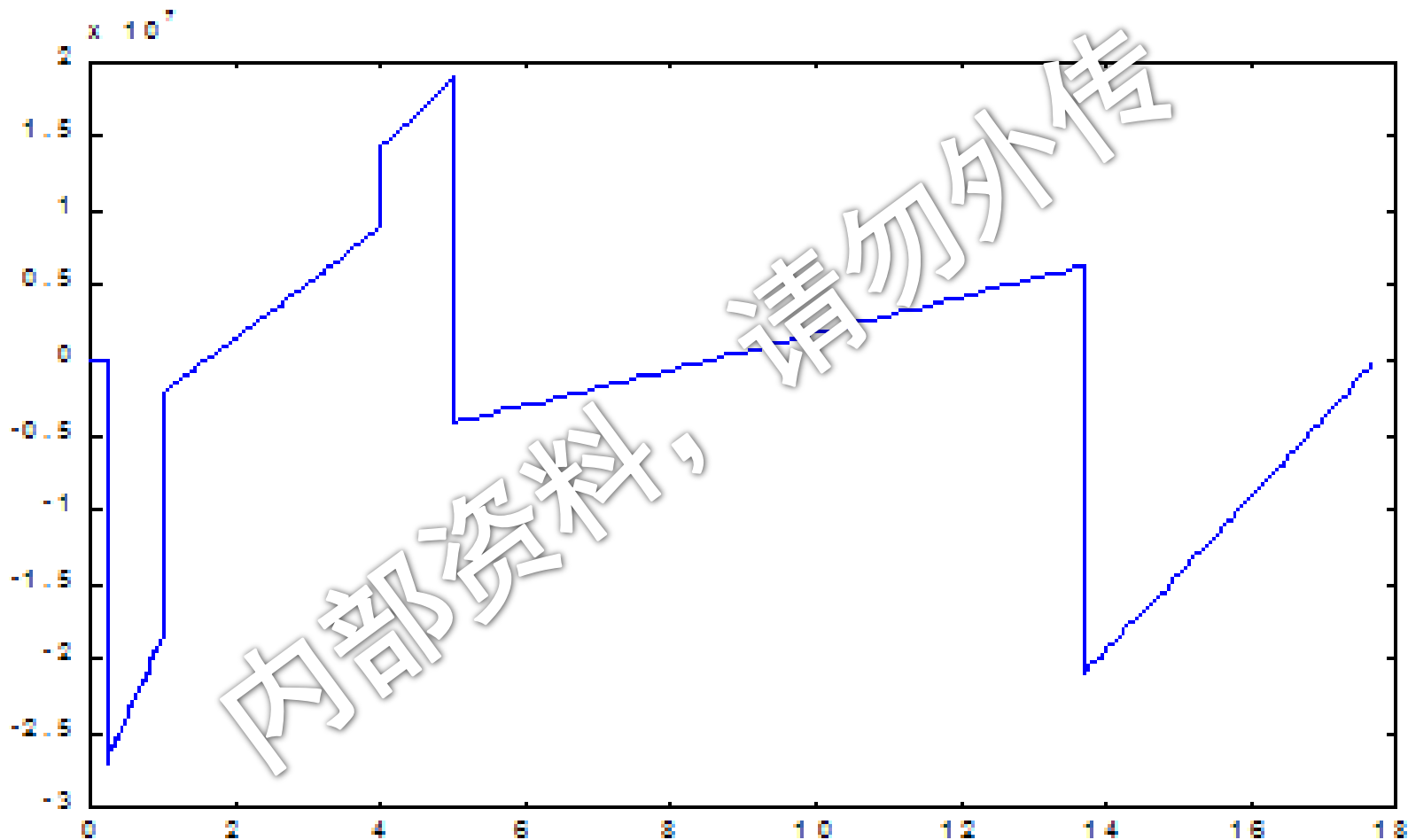
内部资料，  
请勿外传



### 极向场电源运行典型波形图

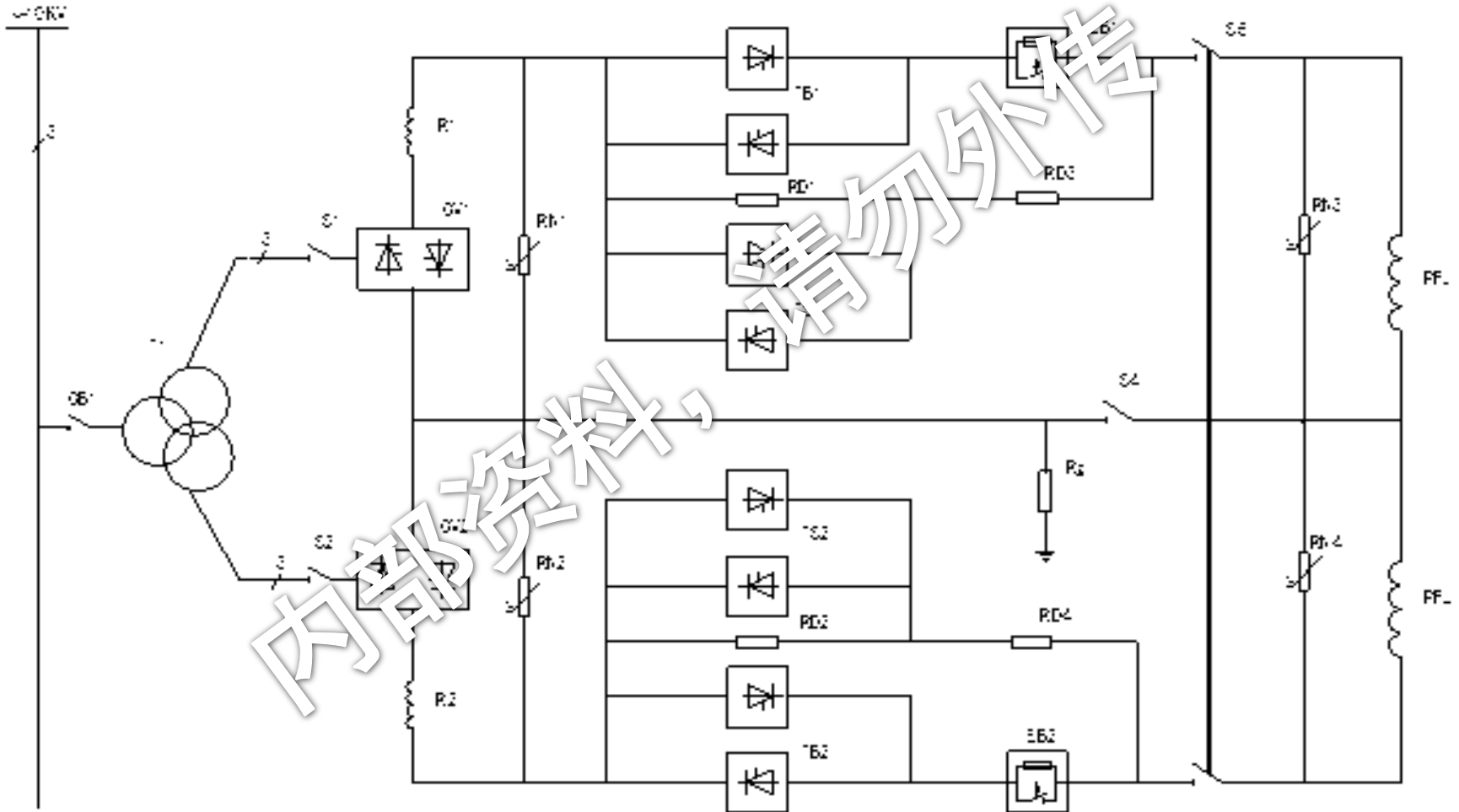


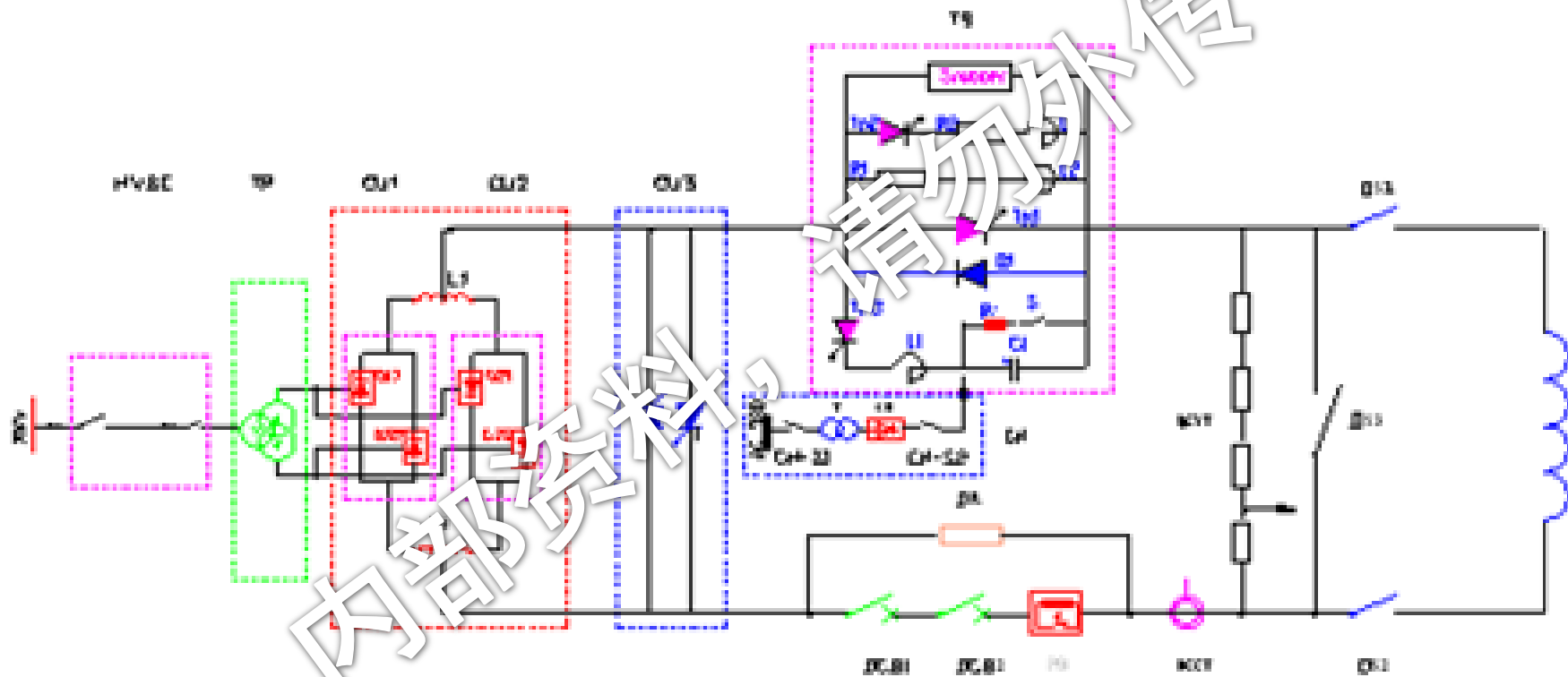
内部资料，请勿外传





### 极向场电源系统图1999年初步设计





变流器单元 + 晶闸管开关单元 + 失超保护单元





### 2001年后调整

**主要子课题：**

**TFPS：刘小宁**

**PFPS：傅鹏**

**次要子课题：本人**

**FCFS：**

**GD&EMC：**

**SVC&HF：陶骏**

刘正之 2018年7月20日



# EAST快堆电源

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日

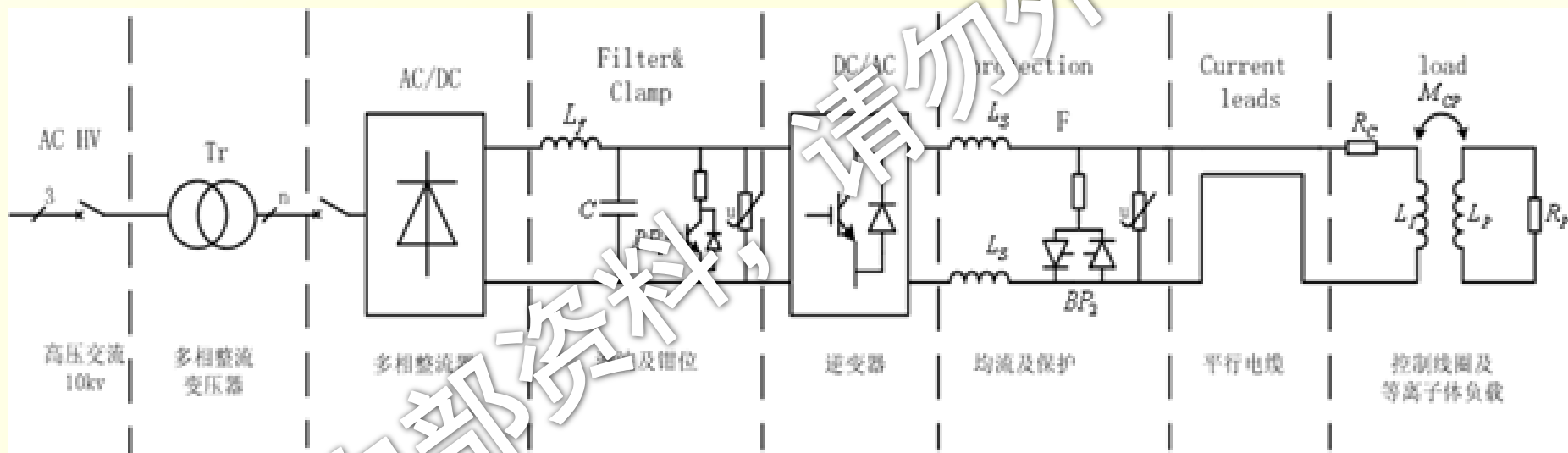


### Main parameters & characteristics:

- **Maximum Voltage:  $U_m = \pm 800V$**
- **Maximum Current:  $I_m = \pm 5000A$ , 1sec**
- **Rated Current:  $I_n = \pm 2500A$ , (100-150) sec.**
- **Voltage response time:  $T_s \leq (5-10) \mu s$ .**
- **Current tracking frequency:  $f = 100-200Hz$**
- **Current response time:  $t_r = 5ms$  ( $I = +5000A \sim -5000A$ )**
- **Dynamic current accuracy:  $\delta \leq 5\%$**
- **Duty cycle:  $D/T = (100-150) / 2800$  sec**
- **Multi-parallel and phase-shifting PWM to realize high frequency modulation (some  $10KHz$ ) with low switching frequency of devices (some  $1KHz$ ).**
- **High feasibility, high reliability and high flexibility**



### EAST快控电源系统图

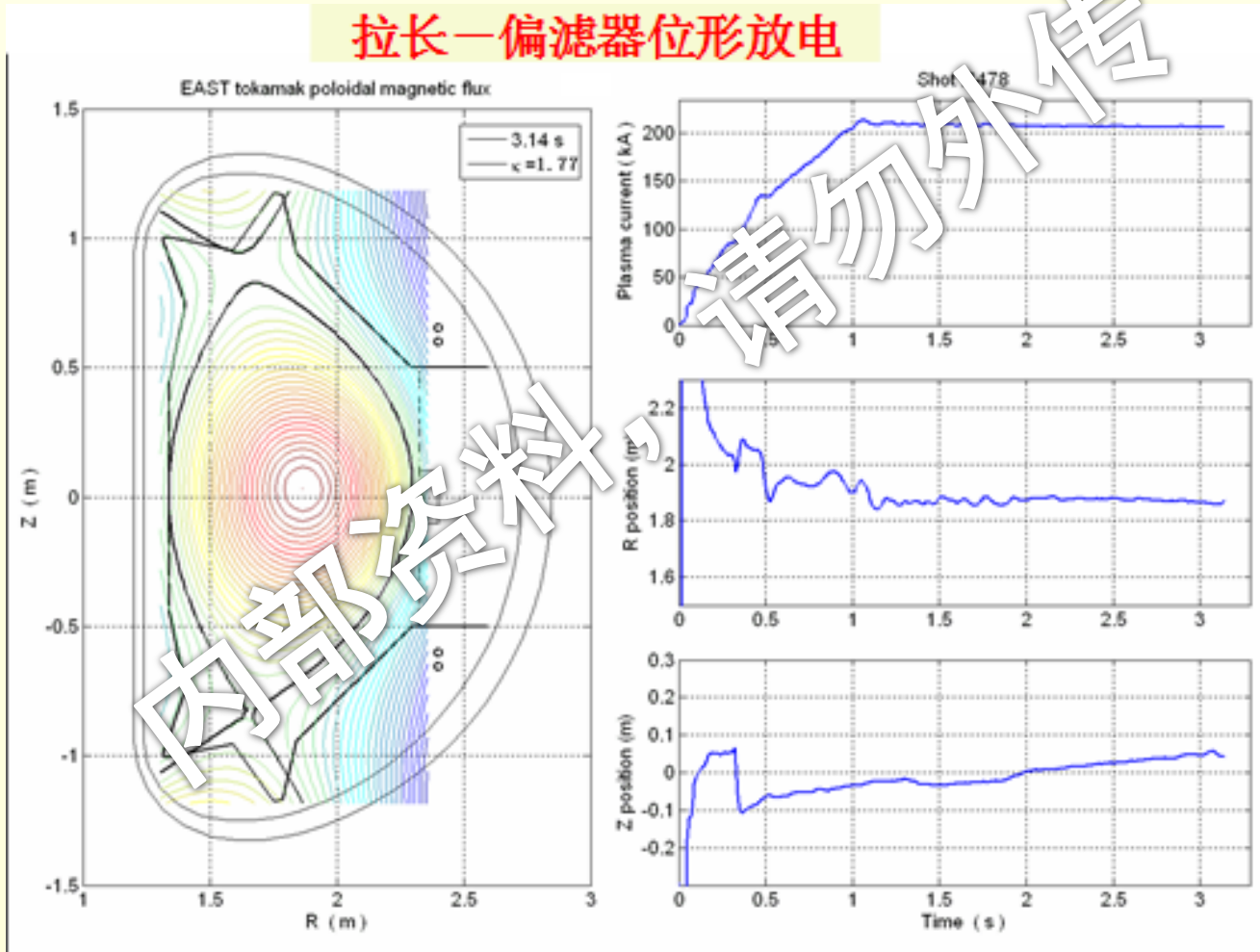


注：现被“新快控电源”取代

刘正之 2018年7月20日



EAST plasma diverter configuration at January 22<sup>nd</sup> 2007





# GD&E/IC

内部资料，  
请勿外传

刘正之 2018年7月20日



## 设计原则

- 共用地网（统一接地平台）
- 分类接地母线（G1, G2, G3, G4-B）
- 树状结构与一点接地（G1, G2, G3）
- 网状结构与多点接地（G4-B）
- EMC与ESDP
- 电磁脉冲防护

刘正之 2018年7月20日





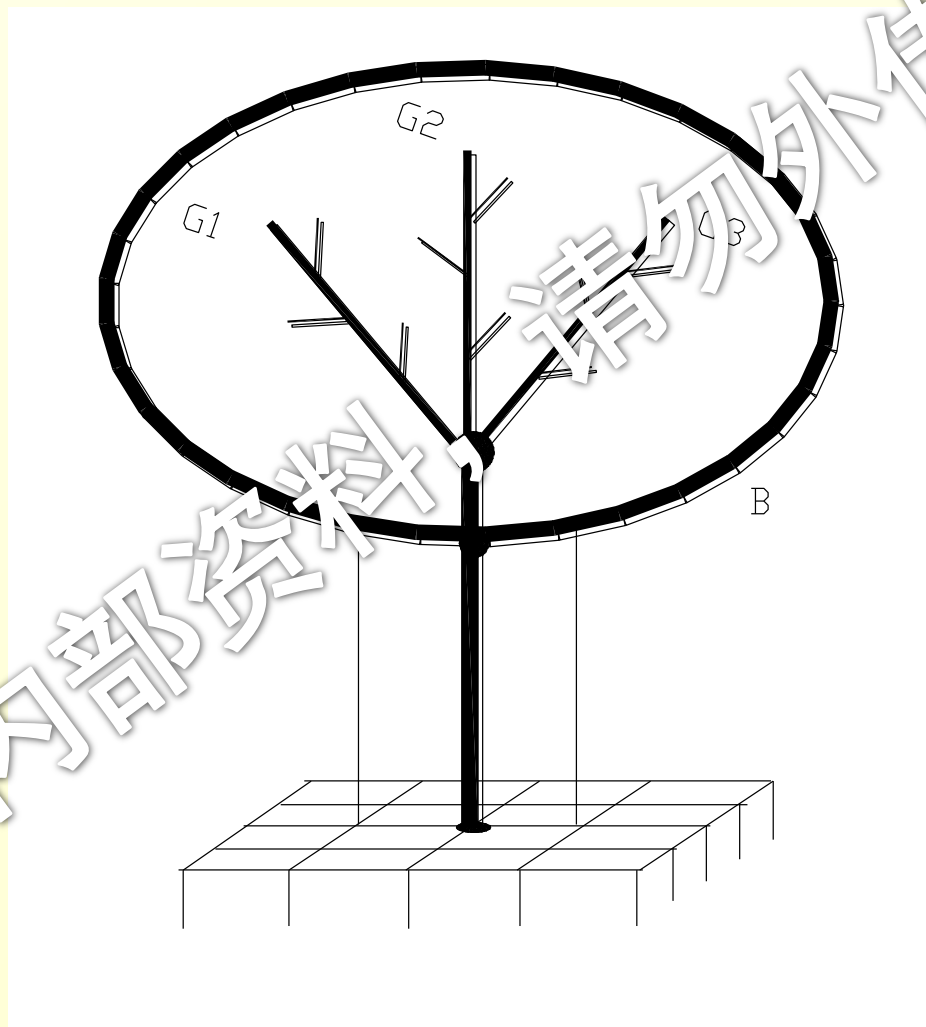
### Grounding System consists of different parts and aspects

- Under-Ground
- Above-Ground
- Inside Building
- Outer-side Building
- Tokamak Components
- Peripheral Components
- Conventional Components
- High-voltage and high-power system
- Low-voltage and Low-power system
- Normal operation and Fault condition
- EMI, EMC and LEMP
- ...

刘正之 2018年7月20日

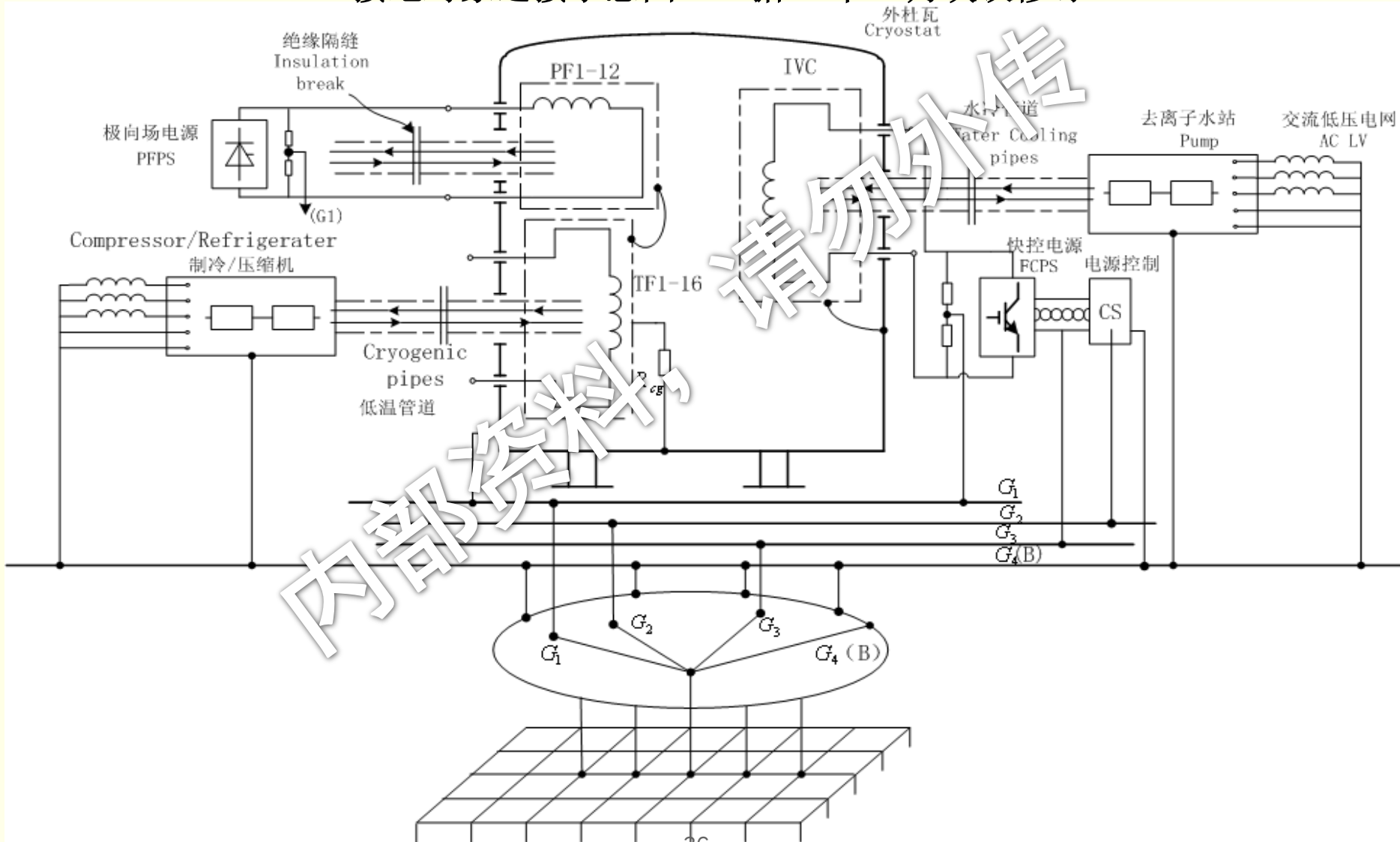


接地母线布局示意图





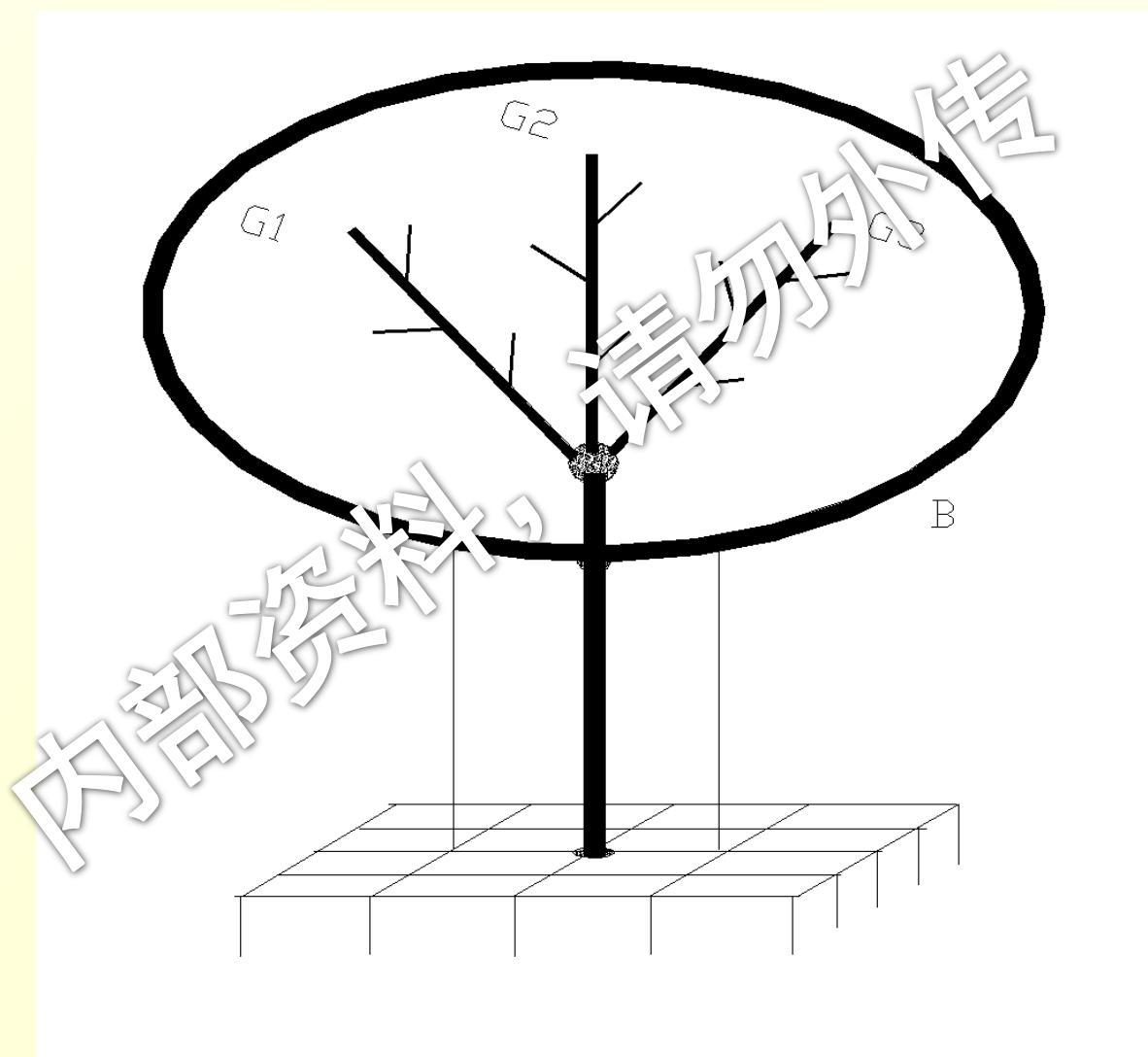
接地对象连接示意图——据05年10月决议修订





## 改进与完善

- 所有数据与信号采用光电传输
- 接地设计构建共用均压网络CBN  
(Common Bonding Network)
- 可取消G2, G3, 仅余G1, G4。
- 接地设计、施工与维护得以简化,  
EMC得以改善。
- 既有装置如何构建?



刘正之 2018年7月20日



## ITER History 历史

- **1988-1991 - (CDA) Conceptual Design Phase 概念设计**
  - Start of common activities among EF, EU, USA and JA
  - Selection of machine parameters and objectives
- **1992-1998 - (EDA) Engineering Design Phase 工程设计**
  - Developed design capable of ignition - large and expensive
  - The Parties (EU, JA, EF, US) endorsed design
- **1999 – 2001 – (EDA continues) 工程设计继续**
  - US withdraws from project
  - Remaining Parties searched for less ambitious goal
  - New design moderate plasma power amplification at half the cost.
- **2001 – 2006 - (CTA and ITA) 技术协调与临时过渡**
  - End of EDA and start of negotiations on construction and operation
  - 4 site offers. In 2003 US re-joins, China & South Korea full partners.
  - Cadarache selected as ITER site in June 2005
  - India Joins in Dec 2005
- **2006 21 Nov – signature of ITER agreement in Paris 协议签订**
- **2007 24 Oct – ITER Organization entry into force 正式生效**



DA

(中国国际核聚变能源计划执行中心)

2007年4月—2010年10月

负责电源采购包

10-DA-ASIPP

刘正之 2018年7月20日





- Documents
- Tasks
- Review
- Brain storm
- Package Sharing with KO
- Budget
- Schedule
- IQ/QA Meeting
- Expert Group
- PCR's
- Prototype
- Shift to fresh hands



### Expert Group

## CN DA Viewpoints on Design Review for Coil Power Supply & Distribution by Expert Group (Aug. 28 2008)

- your work will be very **important and valuable**
- your opinion and conclusion will be more **objective, fair, and just.**
- Your suggestion and recommendation will be good references not only for the designers but also **for the decision maker and top administration.**

There are so many **uncertainty and confusion (10 Q)**

- What are the **finalized requirement and its definition?**
- What are the **design variation and design criteria?**
- What are the **design priorities and the optimized design?**---Feasibility, Reliability, Maintainability, Size, Cost
- What are the **right DCRs** to be submitted?
- What are the **different type of specification** and its definition, and its related standards, cost impact, and responsibility?—Technical Spec., Functional Spec., Functional technical Spec.,
- What is the right size estimation of converters and the layout design, and the proper procedure for **building construction**



## CN DA Viewpoints (Continue)

- What is the **final Procurement Arrangement and responsibility**?
- What is IO' s viewpoint? What is IO' s further work plan? **Since FDR 2001 design review has been carried out for long time and many suggestions have been presented from 2005 on.**
- Can all these problems be discussed and solved within the section of Coil Power Supply & Distribution of IO and DAs or **should be reported to the top administration in time ?**
- **CN DA head** will do it because some of the problems are beyond of the technical aspect.
- **IO should play the leading role** and take more responsibility to promote the Design Review and the preparation of PA as soon as possible.
- **EG could express clearly conclusion and suggestion** on the Review of FDR 2001 design.

- 花絮



## Expert Group 1

- ✓ Date: 2008-12-17
- ✓ **Member:** Charles Neumeyer--PPPL, Heinrich Boenig--LANA, Elena Giau--RFX, Frédéric Bordry--CEA, Hans-Joerg Eckoldt--DESY,
- ✓ ITER IO: Ivone Benfatto, Jun Tao, Lihong Song
- ✓ Topics
- ✓ Minuts
- ✓ Final Report



## Expert Group 1, Final Report,

### Final Summary and Conclusions:

- Concerning Topic 1, **the external bypass (EBRT) seems preferable** to the internal one (INCB) for a variety of reasons as cited in the preceding sections.
- Concerning Topic 2, the large Q demand and the delicate balancing act to be performed by the RPC suggests potential technical risk. The alternative converter technology involving **multi-series units which can be sequentially controlled for Q reduction** seems attractive.
- From this perspective the **EBRT, and the use of multi-series units with sequential control for Q reduction, seems technically superior.** It is true that ICB can be used for Q reduction with the same effectiveness as EBRT. However, the extra complexity of control associated with ICB suggest that **EBRT is simpler and more reliable.**]



### Expert Group

#### Expert Group 2

- ✓ **Date:** 2009-03-26
- ✓ **Member:** Charles Neumeyer--PPPL, Heinrich Boemig--LANA, Ujjwal Baruah--ITER India, Institute of Plasma Research, Ulf-Andre Geck--Siemens Germany, Tatsuya Matsuhawa--Tokyo Institute of Technology, Ryuichi Shimada--Tokyo, Institute of Technology
- ✓ **Task:** Assess the feasibility and reliability of the AC/DC power converter described in the ITER 2001 baseline design:
  - **Q1:** Is the 2001 Baseline design adopted by the IO technically feasible and reliable, considering the 2001 ITER requirements?
  - **Q2:** Is the R&D performed by EU with industrial support from Ansaldo sufficient to demonstrate that the power converter described in the ITER baseline is industrially feasible?
  - **Q3:** Can the 2001 Baseline design be extrapolated to the 2009 ITER requirements?



## Expert Group 2, Final Report,

### Final Summary and Conclusions:

- **Summary of Q1 evaluation**

**The baseline design (n=8 with n-1 capability) does not satisfy the requirements**

- **Options to resolve Q1 issues**

- **Technical assessment – Question 2**

**There were several shortcomings in the Ansaldo prototype testing such that results are not sufficiently conclusive and convincing to justify proceeding with the baseline converter.**

- **More exhaustive testing using a full three phase source with a prototype firing pulse controller and fault detector.**

- **Technical assessment – Question 3**

**it appears that the envelope of the technology (2001 baseline) will be challenged.**





### Expert Group 2, Final Report

#### Final summary and recommendations

- AC breaker clearing should be defined
- All of the fault cases
- Worst case fault conditions be identified
- Increasing the thyristor size and the number of parallel
- Separating the forward and reverse bridges adding appropriate inter-bridge inductance
- Converter transformer impedance could be increased
- Alternate topologies
- Subdivision of the converter into two series units



## PCR 0187-- Design Change on the ac/dc converter and reactive power compensation--08-04-2009

- Recently **independent Expert Groups** have been organized by IO to assess different aspects of the 2001 design, considering also the required site adaptation and the changes recommended by **STAC**. The Expert Groups recommended the following changes to the 2001 baseline of the ac/dc converters:
  - To adopt **back to back bridges**, instead of back to back thyristors;
  - To adopt a basic unit with **0.75kV no-load output voltage** (0.75kV, on-load voltage) for the main CB and PF converters, instead of 2kV main converter unit;
  - To adopt the **external thyristor bypass** for main ac/dc converter. However, to limit the cost increase, the external thyristor bypass will be designed for pulse duty and with closing function only;
  - The adaptation to the specific Cadarache site requirements and STAC issues;
- To access the current design of TF, Booster, Vertical Stabilization and Correction Coil Power Converters and perform the trade off study on the alternative options.



### 体会与心得：ITER

- 聚变事业的重要里程碑
- 聚变同仁的重要机遇
- 国际合作与交流的重要场所
- 也是同台竞技的重要阵地
  
- 效率低下
- 进度缓慢
- 经费膨胀
- 合作松散
- 内耗明显
- 人才不济
- 技术（电源）落后
  
- Gentleman Fare Play
- 君子风度
- 不妄自菲薄
- 不妄自尊大

# Advanced Technology for Fusion Power Supply --- Suggestion and Prospect

## 先进聚变电源技术 ——建议与展望

Z. Z. LIU, ASIPP

2012年12月21日

# ◆ What? 何为先进聚变电源技术

## ● What is Fusion Power Supply? 何为聚变电源

✓ Fusion Principle 聚变原理

✓ Fusion Experimental Facility 聚变实验装置

✓ Fusion Power Supply 聚变电源（高压、强流、高能、储能，变流、开关、传输、、）

-----History and Evolution 历史与演变（脉冲功率技术、

## ● What is Existent Technology for Fusion Power Supply? 何为现有聚变电源技术? ---Conventional /Mature Technology 常规/成熟技术（特种开关除外）

✓ Progress and Statue 进展与现状

✓ Achievements and inherent Disadvantages 成就与缺陷



## ● What is Advanced Technology for Fusion Power Supply? 何为先进聚变电源技术?

基于先进电工、电能、能源技术

- Power Electronics (Devices and Technology) 电力电子器件和技术
- Power Conversion Technology 变流技术
- Electrical Engineering and Smart Electrical Grid 电气工程与智能电网
- Green Energy Source and Energy Saving/Storage Technique 绿色能源与节能/储能技术

----- Exchange, Application, Devolvement, and Optimization  
交流、借鉴、应用、发展、优化



# Why?

Why it is necessary to study Advanced Technology for Fusion Power Supply? Now?

为何现在要研究先进聚变电源技术?

The **inherent Disadvantages** of Conventional Technology ---

Thyristor Phase-Control Converters (**Thy.-PC-Converter**):

晶闸管相控变流器的固有缺陷

- Harmonic 谐波
- Reactive Power 无功
- Slow Response 响应
- Mutual, Reliable and Feasible but no longer advanced  
技术成熟、可靠、可行，但不再先进，早晚将被取代



● **The Advantages of Advanced Power Electronics: (IGBTs) with Pulsed Width Modulation (PWM) Converters (IGBT-PWM Converter): 先进电力电子技术**  
(全控器件、脉宽调制、模块化、多重化、、、、) 的优势

- **Excellent Performance and Controllability** 性能优异
- **Technical Feasibility and Reliability** 技术可行性与可靠性  
(已无不可逾越障碍)
- **Engineering Progress and Experiences** 工程进展与经验
- **Compact, High Efficiency** 紧凑、高效
- **Expense Compatibility (Cost Availability)** 造价可比

- **Great Progress and Ambitious Project** for Fusion Research: 聚变研究的进展与计划
  - World Crises in Energy Resources 能源需求与危机
  - Strong Support and Investment for Fusion Research 聚变研究的进展、预期、支持与投资
  - Demo and Fusion Power Plant have been in Plan 聚变示范堆与聚变电站计划
  - Complexity and High Requirements 复杂性与高要求
  - Opportunity and Challenge (Advanced technology, Energy Loss/Cooling and Efficiency, Size, Site, EMC, Grid/System Stability and Reliability) 历史性机遇与挑战
- **Responsibility and Determination**, Catch the Opportunity and Face the Challenge that are fallen to you historically 职责与决断——机不可失

# How? 如何进行?

Design Philosophy, Technical Roadmap, **WBS & IPS**

设计思想、技术路线、系统分解、合成、计划

- Analysis and Application on advanced technology of Power Electronics, **Feasibility and Availability** 先进电力电子技术的分析与应用, **可行性与有效性**——为我所用
- Analysis and Understanding all the **Physics and Engineering Requirements** of Fusion facility 分析和理解聚变装置对电源系统的所有物理与工程要求——目标明确
- Analysis and Synthesis on complicated co-relation of **Electro-Magnetic Coupling** between Power Supply and Magnets, Plasma, and Passive Structure parts 与电源相关的复杂**电磁耦合**的分析和综合——系统特性



● Focus on the **key Technology**: 关键技术

- ✓ Power Conversion 功率变换 (变流)
- ✓ Switches 开关 (常规、特殊)
- ✓ Earthing and EMC 接地与电磁兼容
- ✓ Modularized Technique and System Integration 模块化与系统集成
- ✓ Modern Control Theory and Technique Application 现代控制理论与技术

● **Integrated System Design and Optimization**

一体化系统设计与优化 Power and Energy Conversion/Modulation/Cycling 功率与能量的变换、调制和循环

## ● WBS & IPS 工作计划

**Phase 1: R&D (Scale and Parameter Comparable with ITER-like as an Example)**  
研发（以规模和参数与类ITER装置可比为例）

**Phase 2: Conceptual Design (CN Demo-like)**  
概念设计

**Phase 3: Preliminary Design** 初步设计

**Phase 4: Engineering Design** 工程设计

**Phase 5: Manufacture, Integration, ,,, and Commissioning** 制造、集成、调试、 、 、



● **Phase 1: R&D** (Scale and Parameter Comparable with ITER-like as an Example) 研发  
(以规模和参数与类ITER装置可比为例)

◆ **Initiation and Preparation** 发起与准备

- ✓ Organization 组织
- ✓ Arrangement 安排
- ✓ Leadership 领导
- ✓ Talents and Team 人才与团队
- ✓ Resources 资源
- ✓ Program 计划
- ✓ Exchange and Cooperation 交流与合作



## ◆ Market Survey and Literature Investigation

市场与资料调研

## ◆ Key Technology Applicable

关键可用技术

## ◆ Load Characteristics and Analysis

负载特性及其分析

✓ Super-conductive Magnets 超导磁体

✓ Complex Electro-Magnetic Coupling 复杂电磁耦合

✓ Typical Scenario and Profile for Current, Voltage, Power,

Reactive Power, Energy 典型运行模式: I, V, P, Q, E



## ◆ Pre-Conceptual Design (ITER-like PFPS) 预研设计（以类ITER极向场电源为例）

- ✓ Design Requirement 设计要求
- ✓ Design Input 设计输入
  - *Magnets L/M Matrix* 磁体电感矩阵
  - *I/V/P/Q Demand* 电力需求
  - *Dynamics* 动态性能
  - .....
- ✓ Design Criterion 设计准则
- ✓ Modelling and Simulation 建模与仿真

### ✓ Key Issues: 主要课题

- *Device: Parameters, Drive, Cooling, Structure, Cost, Reliability* 功率器件
- *Topology: Voltage Source Type, Current Source Type, Full-Bridge, Half-Bridge, Multi-Level...* 拓扑
- *Modular: 模块*
- *Multiplying 多重化*
- *Control: Voltage Output Control, Current Output Control, Multi-Close Loop* 控制
- *Fault analysis and Protection* 故障态分析与保护
- *Converter Units* 变流器单元
- *Load Circuits* 负载回路
- *Switches and Quench Protection* 开关及失超保护
- *Power Conversion and Modulation* 功率变换与调制
- *Energy Saving and Cycling* 能量利用与循环
- *Intermediate Energy Storage Units* 中间储能单元

- ◆ **System Integration and Optimization**  
系统集成与优化
- ◆ **Principle Prototype/System Design, Manufacturing and Integration**  
原理样机及系统设计、制造与集成
- ◆ **Earthing and EMC**  
接地与电磁兼容
- ◆ **Principle Prototype/System Test and Modification**  
原理样机及系统试验与完善
- ◆ **Pre-Conceptual Design Rationality and Verification**  
预研设计的合理性及验证
- ◆ **Cost Estimation and Availability**  
造价估算与有效性



## Who?谁?

- Professional (Scientist, Engineer)  
专业人员
- Historical Opportunity and Challenge  
历史机遇与挑战
- Time is fly  
时不我待
- Future belongings to you, young scientist!  
未来属于年轻人

## 进展

- 《ITER PPS Design Alternatives--A Suggestion for ITER PPS AC/DC Converter Technology Design Alternatives 》  
CN HT May-9-2007
- 《关于尽快开展先进聚变电源技术与开发的报告》  
给李建刚所长的建议书，刘正光，2013年3月
- 《先进聚变电源技术——建议与展望》  
内部交流刘正光，2012年12月21日
- 近期进展。 。 。 。 。



## 寄语

“未来”已来，她就在你们的眼前；  
“远方”不远，她就在你们脚下。

## 希望

- 登高望远，开阔眼界，不固步自封，不随波逐流。
- 不从流俗、不慕浮华，坚守原则和底线，不被浮华所惑、不为功利裹挟。
- 敢于质疑，勇于创新，不惧权威，不惧艰难
- 急起直追、刻苦钻研，锲而不舍，久久为功

## 建议

- 学科建设
- 人才培养
- 学术交流（IEEE 内部学术交流会）



# AT-FPS



**Thanks!**

**谢谢!**

内部资料，请勿外传