



WWW.KEK.JP

文部科学省 高エネルギー加速器研究機構 KEK
HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORGANIZATION

**Solid-State Linear Induction Modulator
(LIM)
for JLC project
RPIA2002 Tsukuba, Japan**

KEK

Vladimir Vogel ,Koji Takata, Yong Ho Chin,
Shuichi Takomota
Viktor Revkov

**V. Vogel.
October 2002**



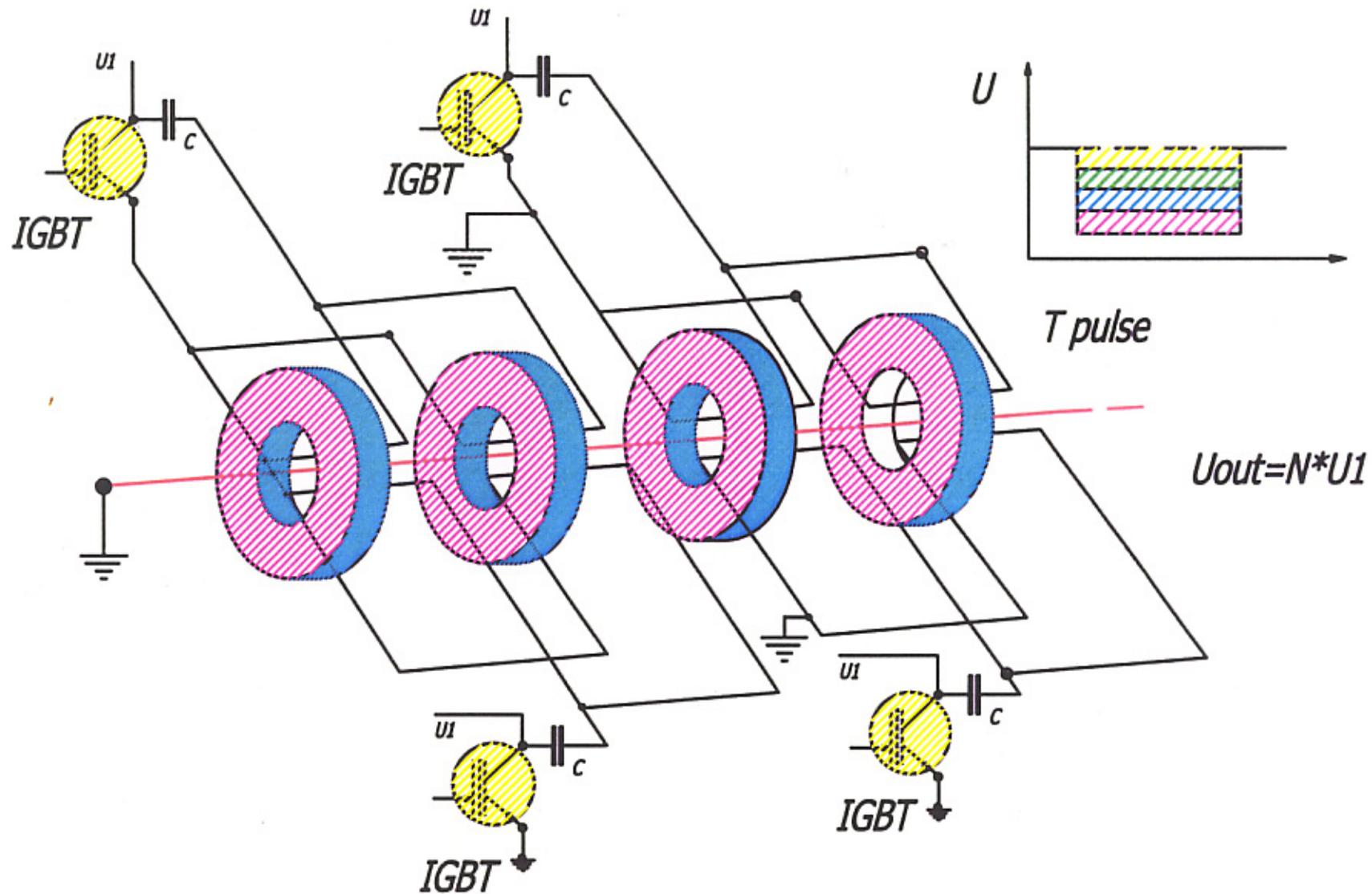
Linear Induction Modulator Technical Specification

- Number of PPM Klystrons
 - Klystrons Voltage
 - Total Current
 - Pulse Width
 - Pulse Top Flatness
 - Efficiency
 - Repetition Rate
- 4 klystrons, 8 klystrons in future
 - 500 kV
 - 1060 A, 2120A in future
 - 1.6 μ s
 - 2%
 - 75%
 - 150 Hz

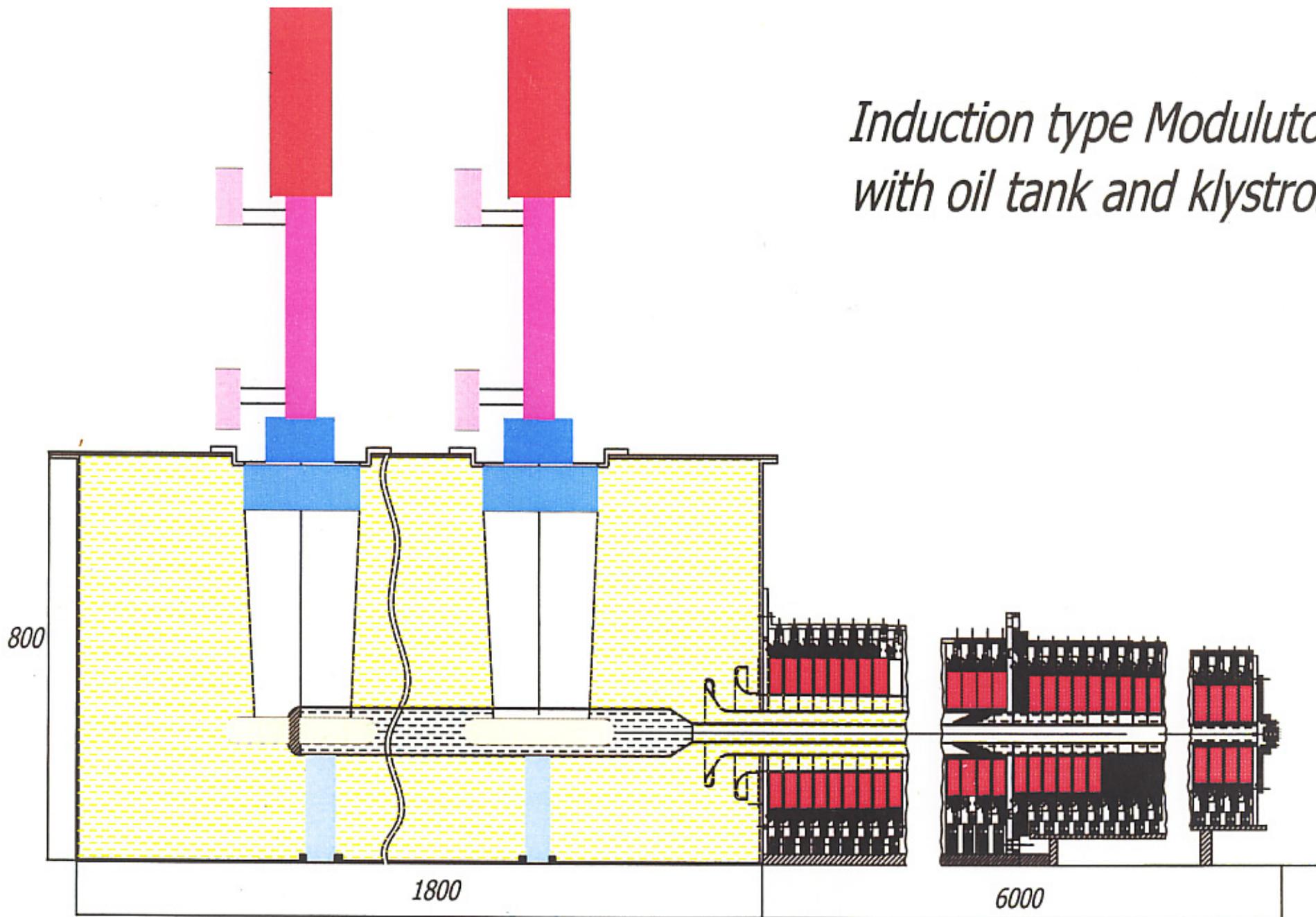
LIM main Problems:

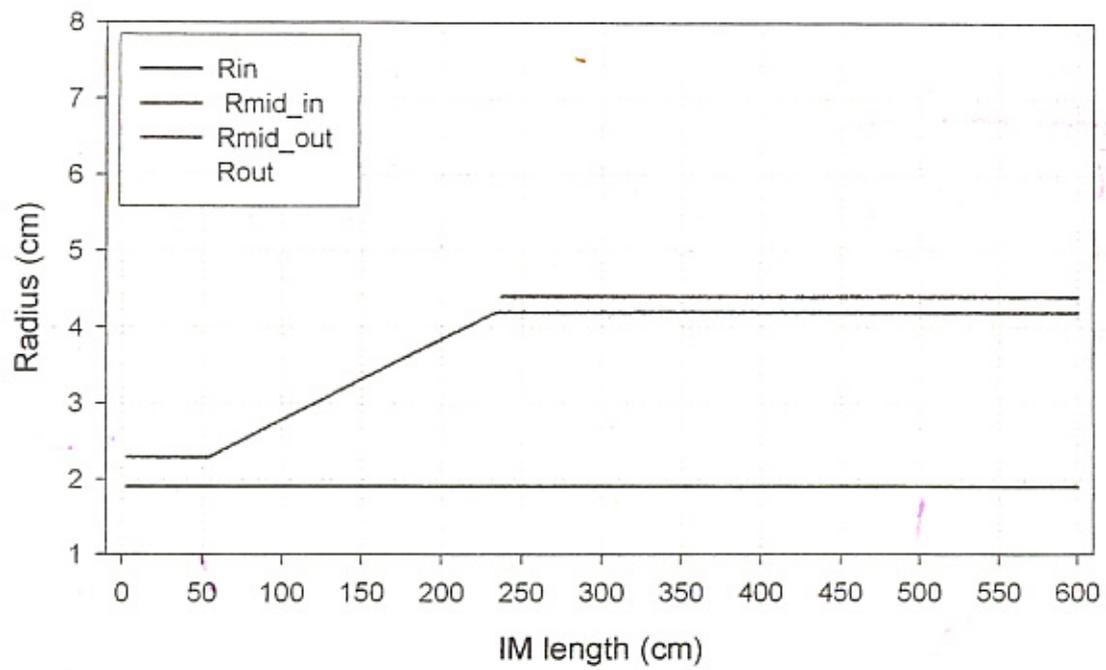
- Protection
- Core material, weight
- Electrical field strength in oil
- Switcher (IGBT or Thyristor)
- Capacitors

Linear Induction type Modulator Concept

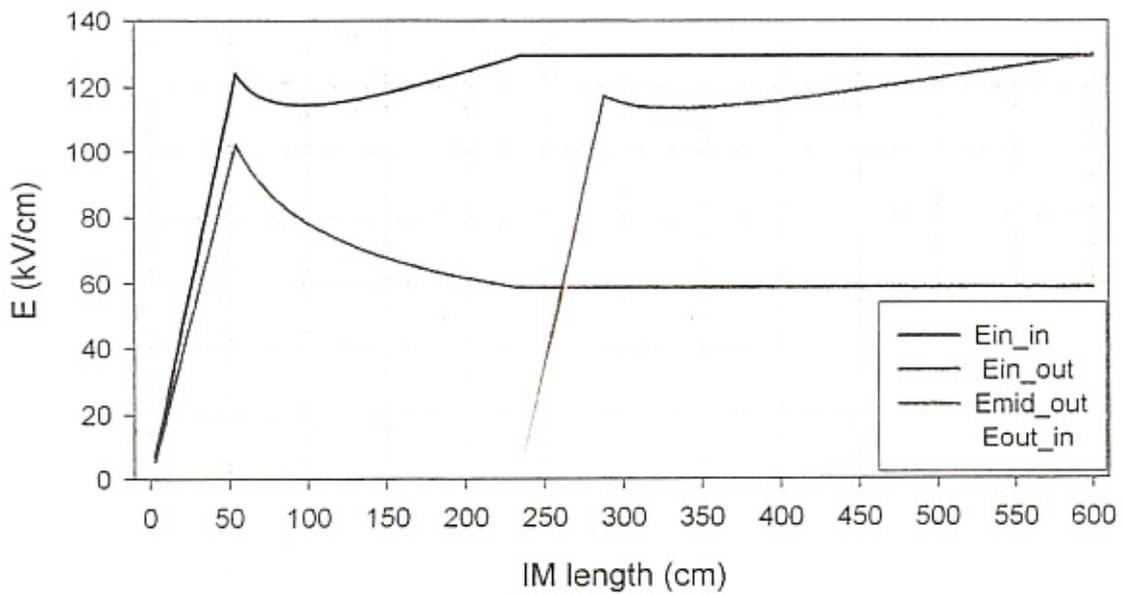


*Induction type Modulutor
with oil tank and klystrons*





$h_{\text{core}}=25\text{mm}$, $H'_{\text{sec}}=30\text{mm}$, $N=200$, $U_{\text{core}}=2.5\text{kV}$



$R_{\text{in}}=19\text{mm}$, $R_{\text{mid.in}}=42\text{mm}$, $R_{\text{mid.out}}=44\text{mm}$, $R_{\text{out}}=75\text{mm}$.

本州—四国連系瀬戸大橋添架 長距離500 kV OFケーブル線路

Installation of Honshu-Shikoku Interconnecting Long-Distance Transmission Line
500kV Oil-Filled Cable on Seto Ohashi Bridge

渡部知津夫* Chitsumo Watanabe 富岡邦彦* Kunihiko Tomioka
中川敏裕** Toshihiro Nakagawa 坂本 明** Akira Sakamoto 鯉淵澄男** Sumio Koibuchi

このたび、世界初の500 kV長距離ケーブル線路となる本四連系線が完成した。

瀬戸内海を横断する区間は、自動車、鉄道併用橋である瀬戸大橋に添架されている。

本線路には、クラフト紙絶縁OFケーブルに比べ、絶縁厚さ・外径・質量が低減でき、さらに誘電体損の低減により強制冷却なしで送電容量が確保できるなど、橋梁添架に有利な半合成紙絶縁OFケーブルを採用した。

また、橋梁に添架したケーブルには、従来にない大きな伸縮・角折れ・振動などが加わるため、これに対応するための新規開発技術を採用している。

(1) 緒 言

本州と四国間は、中四幹線(220 kV, 300 MW)で電力連系がなされていたが、近年の電力需要の増大に伴い、送電容量の不足が生ずると予測された。

そこで、本州と四国を500 kVで連系する本四連系線の建設に着手、ケーブル工事は、昭和62年4月～昭和63年3月に瀬戸大橋の開通に合わせて橋梁添架区間10.6 kmを、その後、平成5年2月～平成6年6月に残りの陸上区間11.5 kmの建設を行い、平成6年7月より営業運転を開始した。

ケーブルには、橋梁内の限られたスペースに収納すること、および軽量化が求められたため、クラフト紙絶縁OFケーブルに比べケーブルの外径・質量が低減でき、さらに、誘電体損の低減により送電容量が大きくとれる半合成紙絶縁OFケーブルを開発し、初めて実線路に採用した。

また、橋梁には温度変化や風、および列車・自動車の走行などにより伸縮・角折れ・振動などが発生するため、伸縮吸収装置や角折れ吸収装置、ならびに振動防止対策などの特殊な布設技術を開発して採用した。

(2) 線路概要

本四連系線は、四国電力株式会社殿の讃岐変電所と中国電力株式会社殿の東岡山変電所を結ぶ、こう長127.4 kmの500 kV電力連系送電線である。

本四連系線の概要を表1および図1に示す。

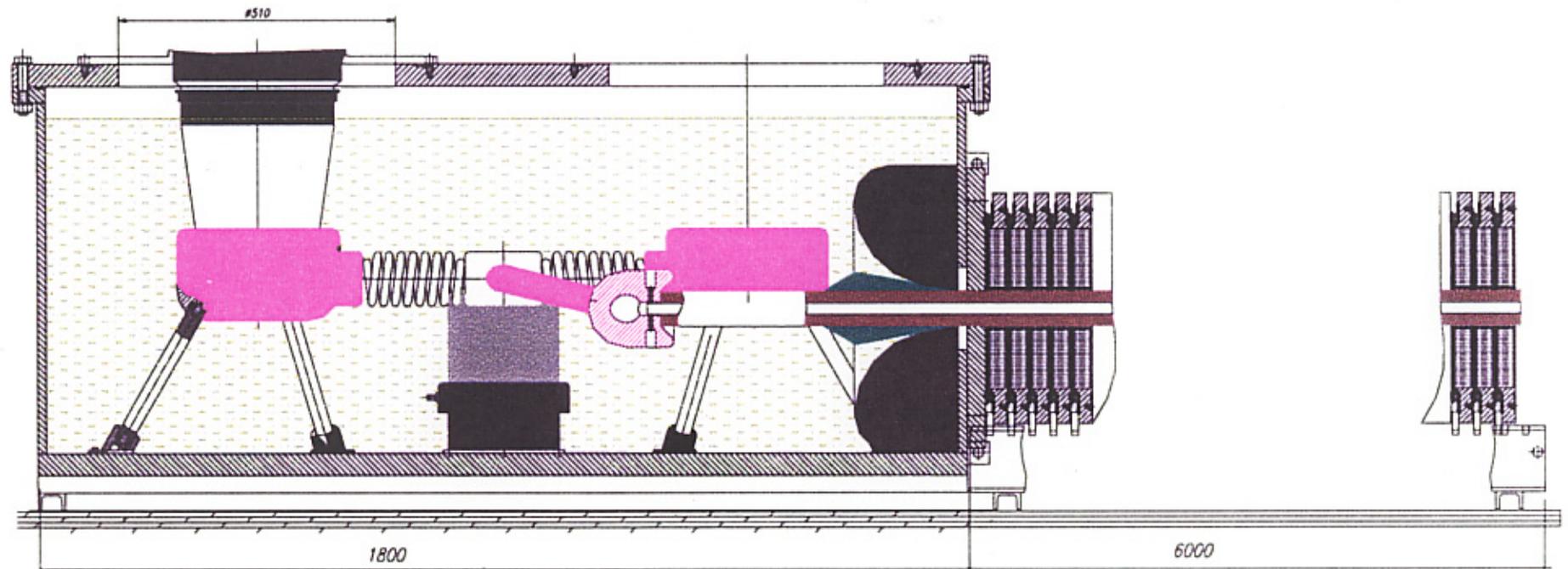
500 kV OFケーブルのルートは、図2に示す児島ケーブルヘッド(岡山県)と坂出ケーブルヘッド(香川県)を結ぶ、こう長22.1 kmのルートであり、瀬戸内海横断部は瀬戸大橋に

表1 本四連系線の概要 ケーブル区間22.1 kmのうち、日立電線株式会社では区間4.6 kmを担当した。

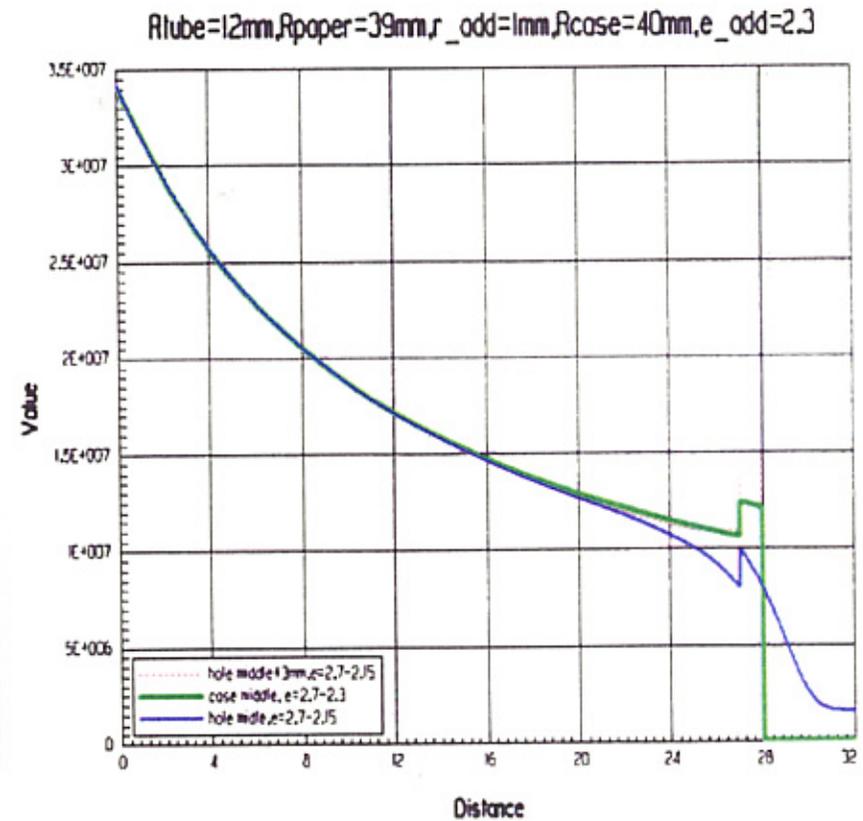
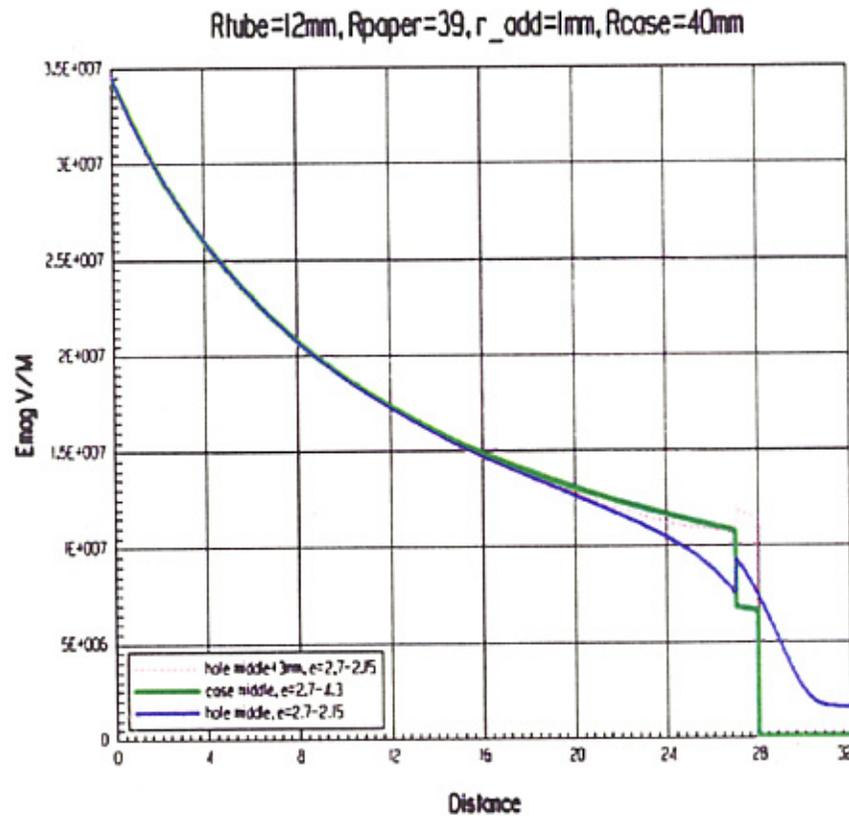
電 圧		500 kV	
回 線 数		1回線(将来1回線増架)	
送電容量		1,200 MW/1回線	
区 間	架空線 105.3 km	本州側	85.9 km
		四国側	19.4 km
	ケーブル 22.1 km	橋梁添架	8.1 km
		島内部	2.3 km
		本州側	4.0 km
	四国側	7.7 km	

* 電源開発株式会社 ** 日立電線株式会社 日高工場

Lim new concept

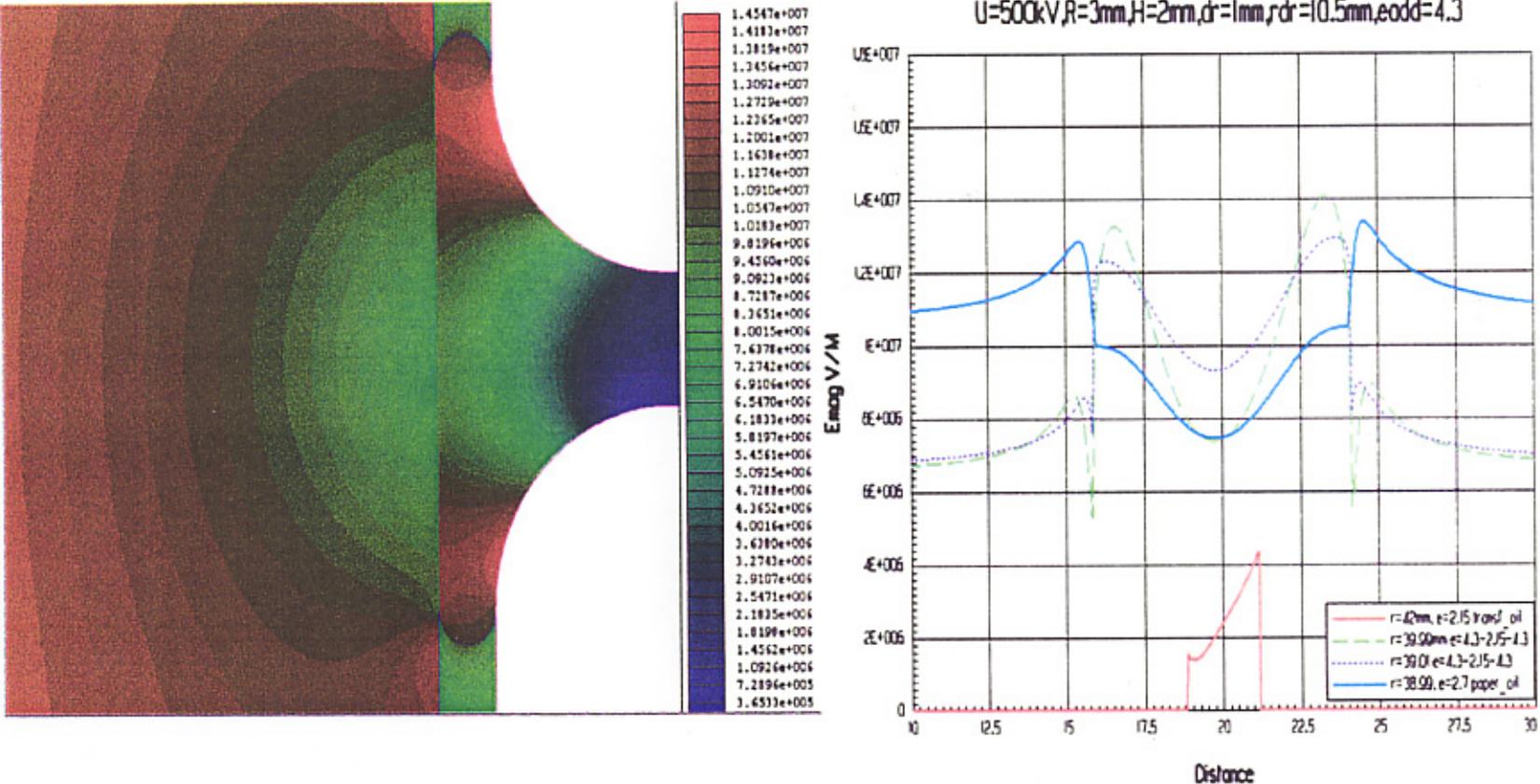


Radial electrical field strength in cable



Left $\epsilon=4.3$ Right $\epsilon=2.3$

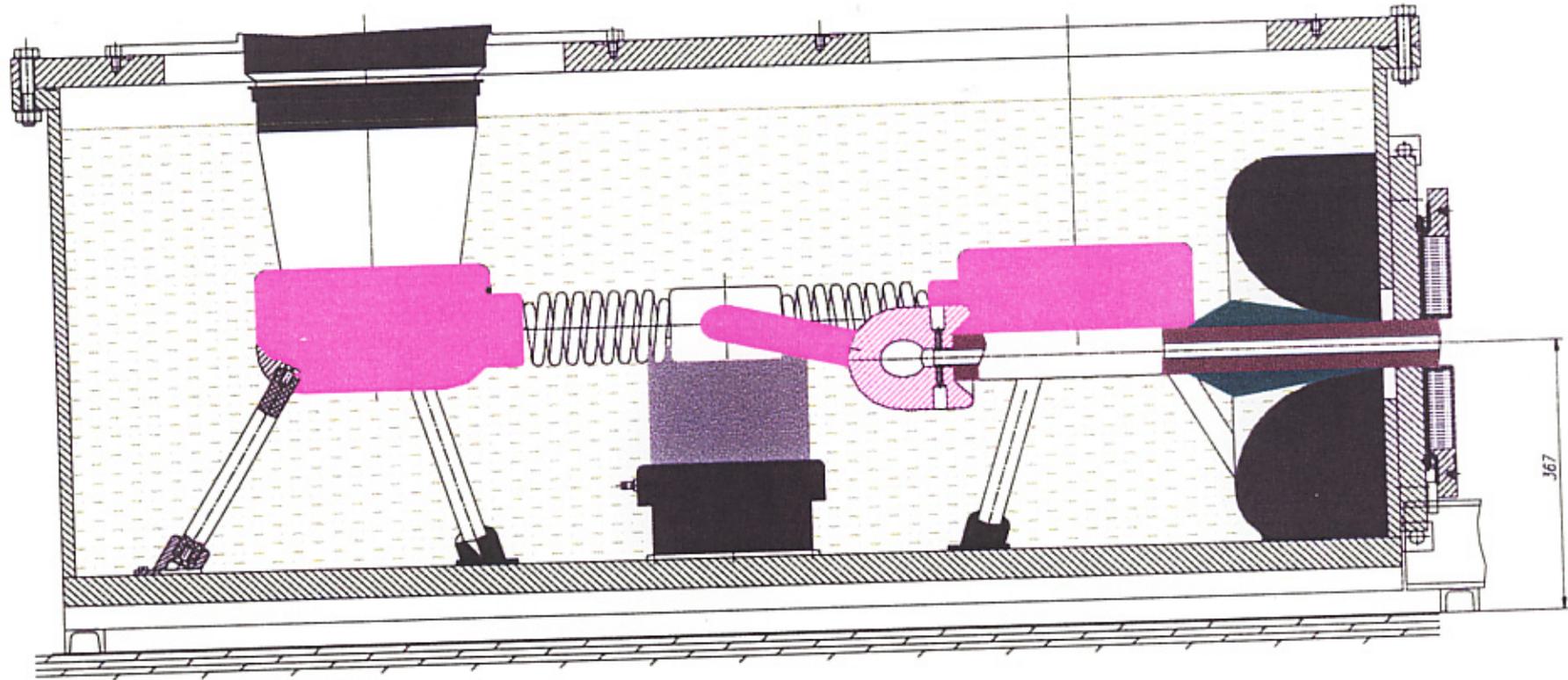
Slit between two inductors



Cable $\epsilon=2.7$, oil $\epsilon=2.15$, polyamide $\epsilon=4.3$

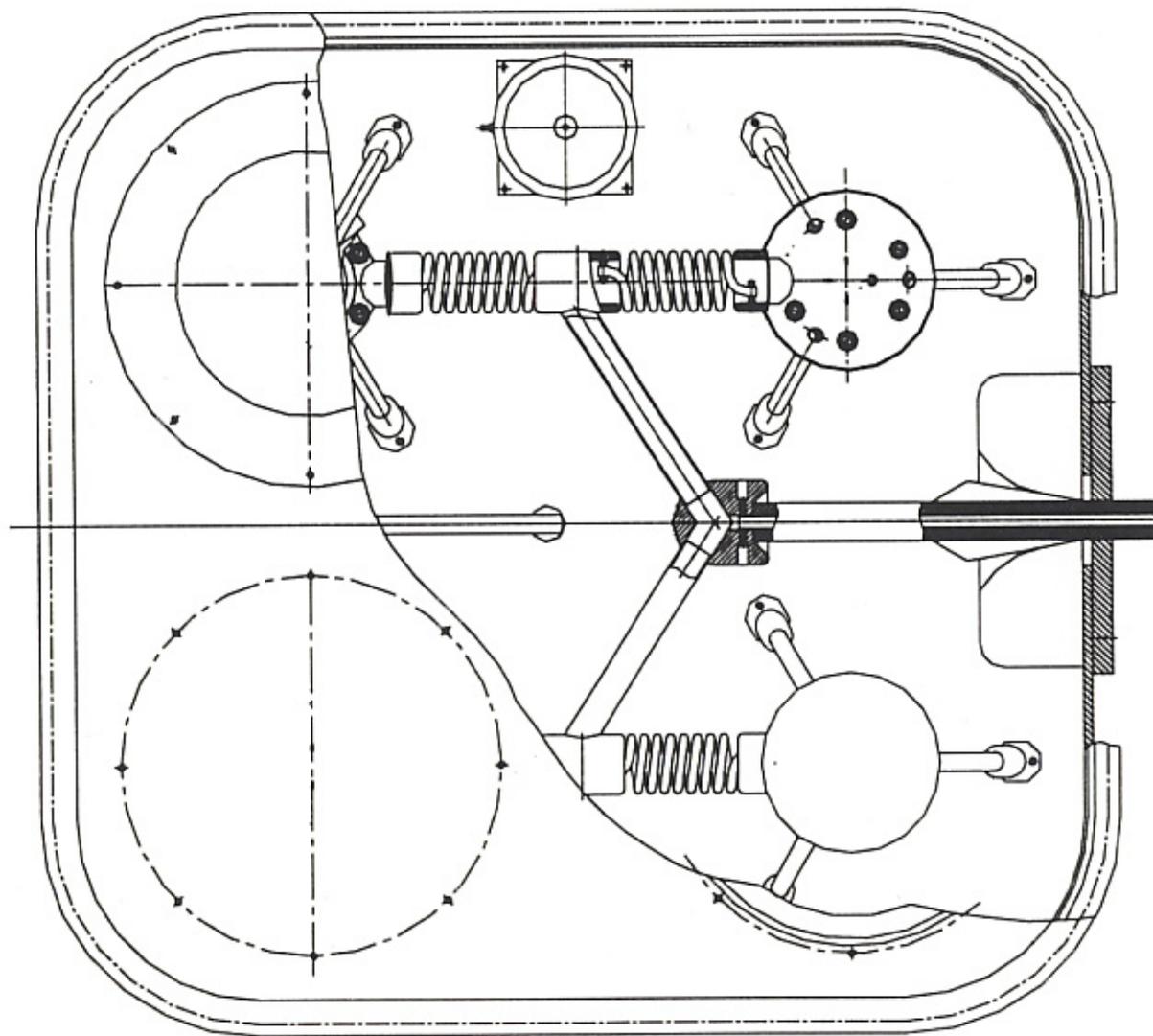


Four klystrons pack oil tank

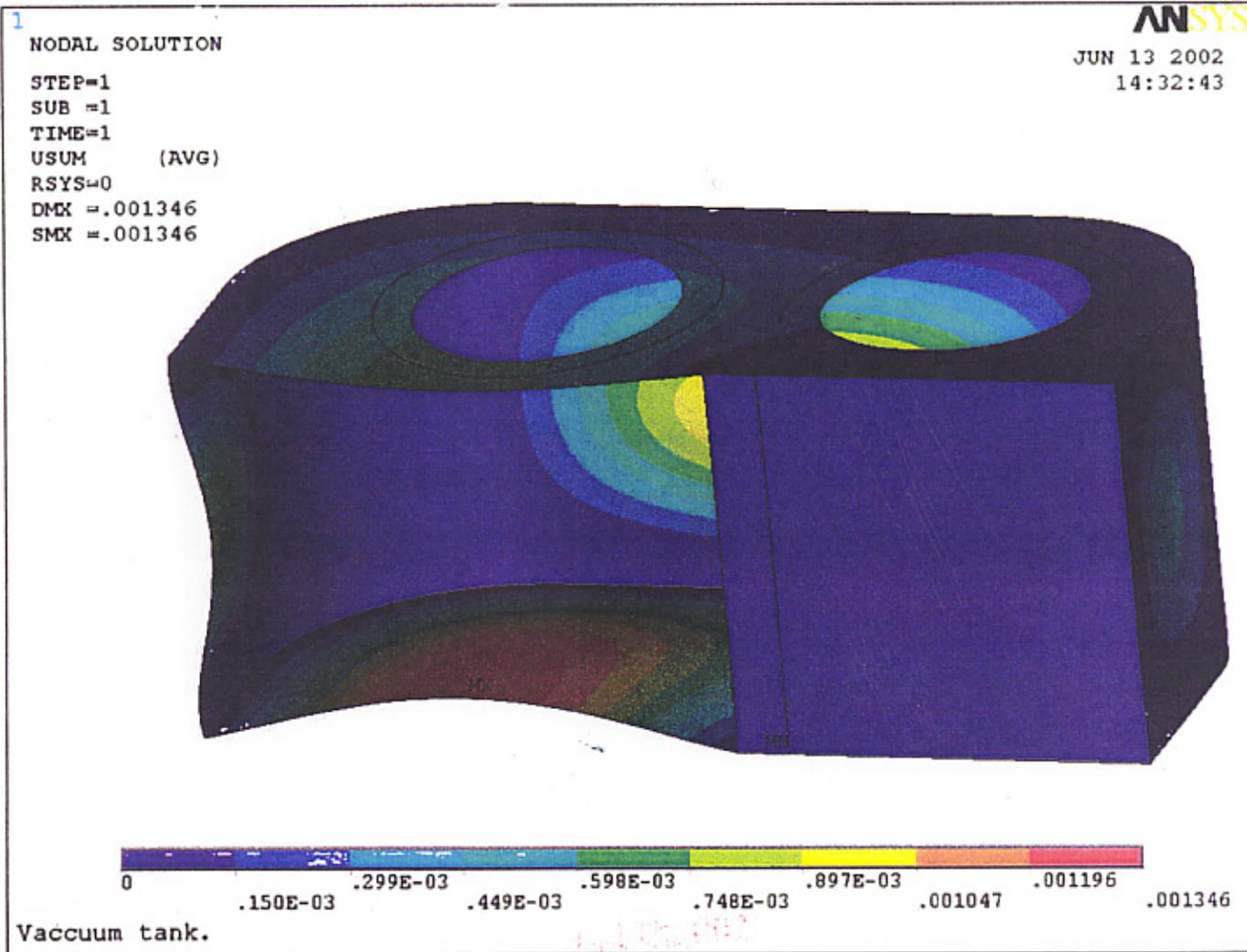




Four klystrons pack oil tank



total_displ (1050x798x24b jpeg)



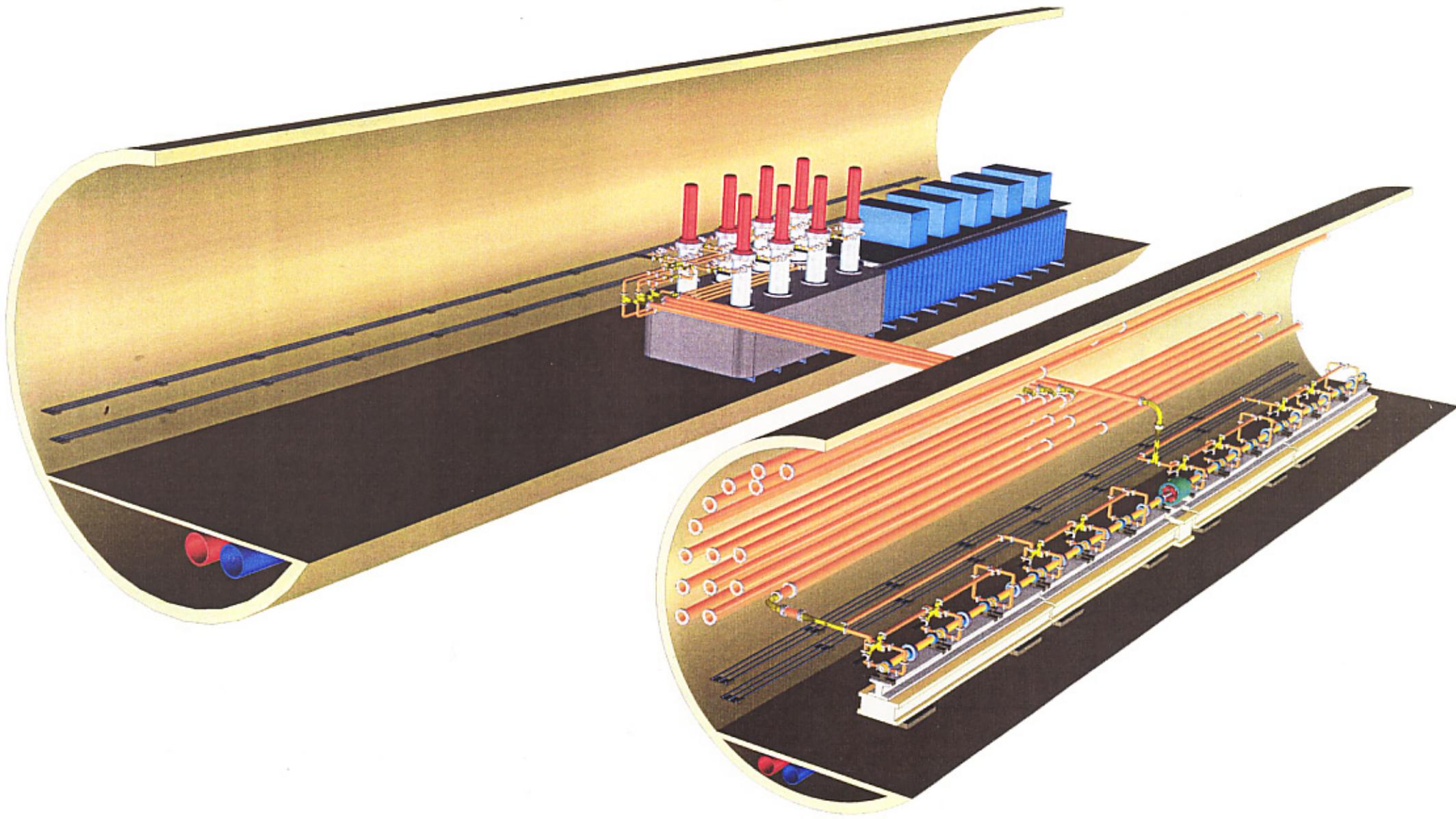


WWW.KEK.JP

文部科学省 高エネルギー加速器研究機構 KEK
HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORGANIZATION

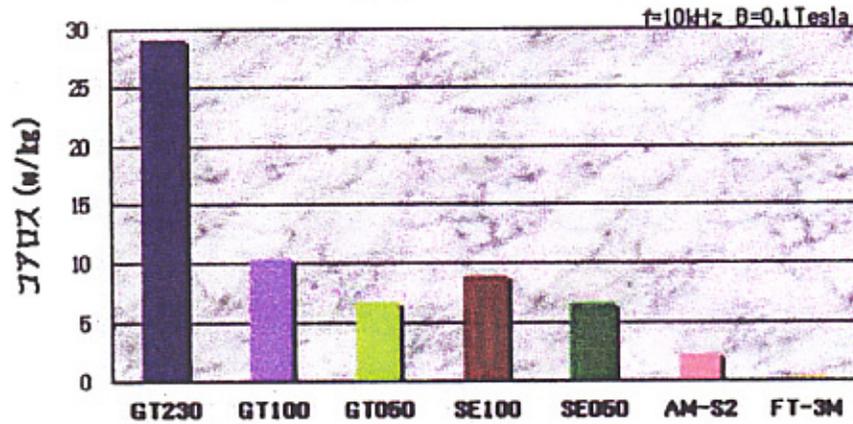
Near time LIM Programme

- measuring core quality, choose type
- choose IGBT type, IGBT test
- primary mechanical design of core case and oil tank
- IGBT circuit together with protection circuits design
- two core cases test
- 50 kV setup test preparation



Core material

トロイダルコア ロス比較



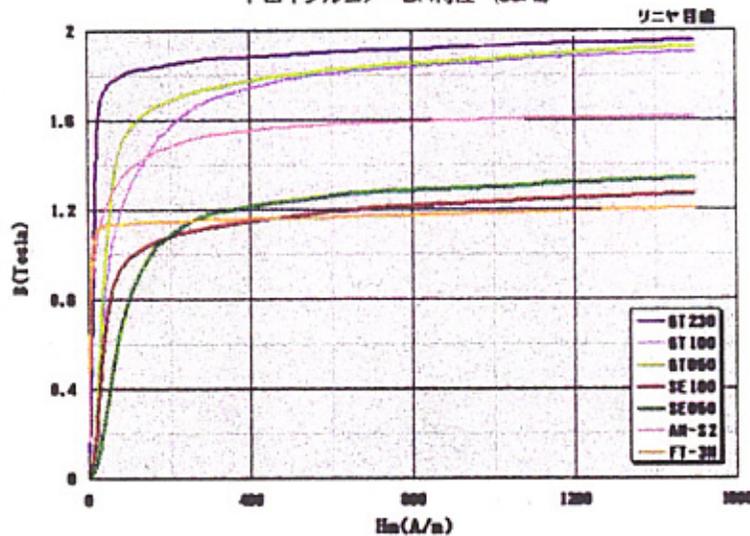
Finemet

Metglas

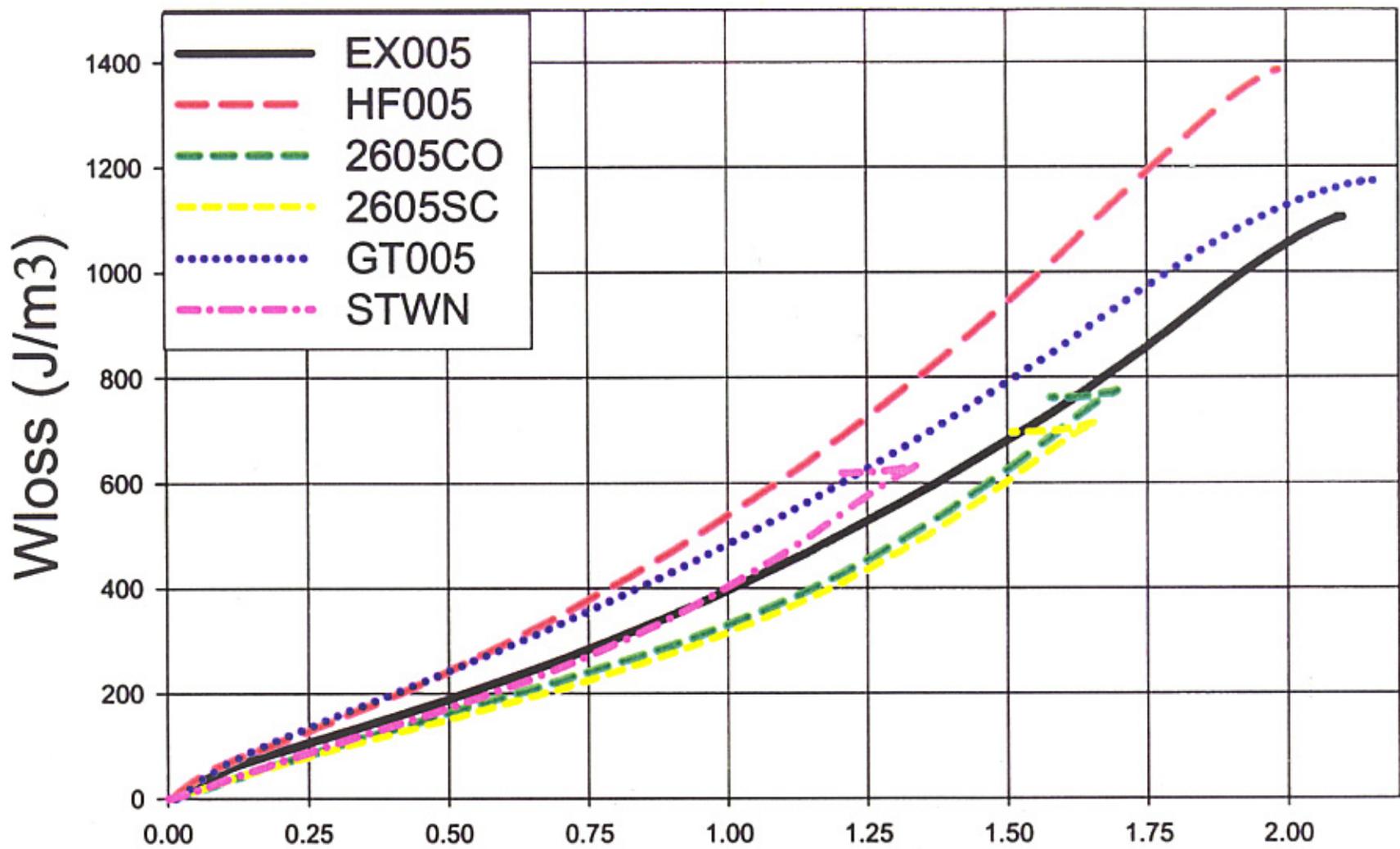
Amet

Si - Steel

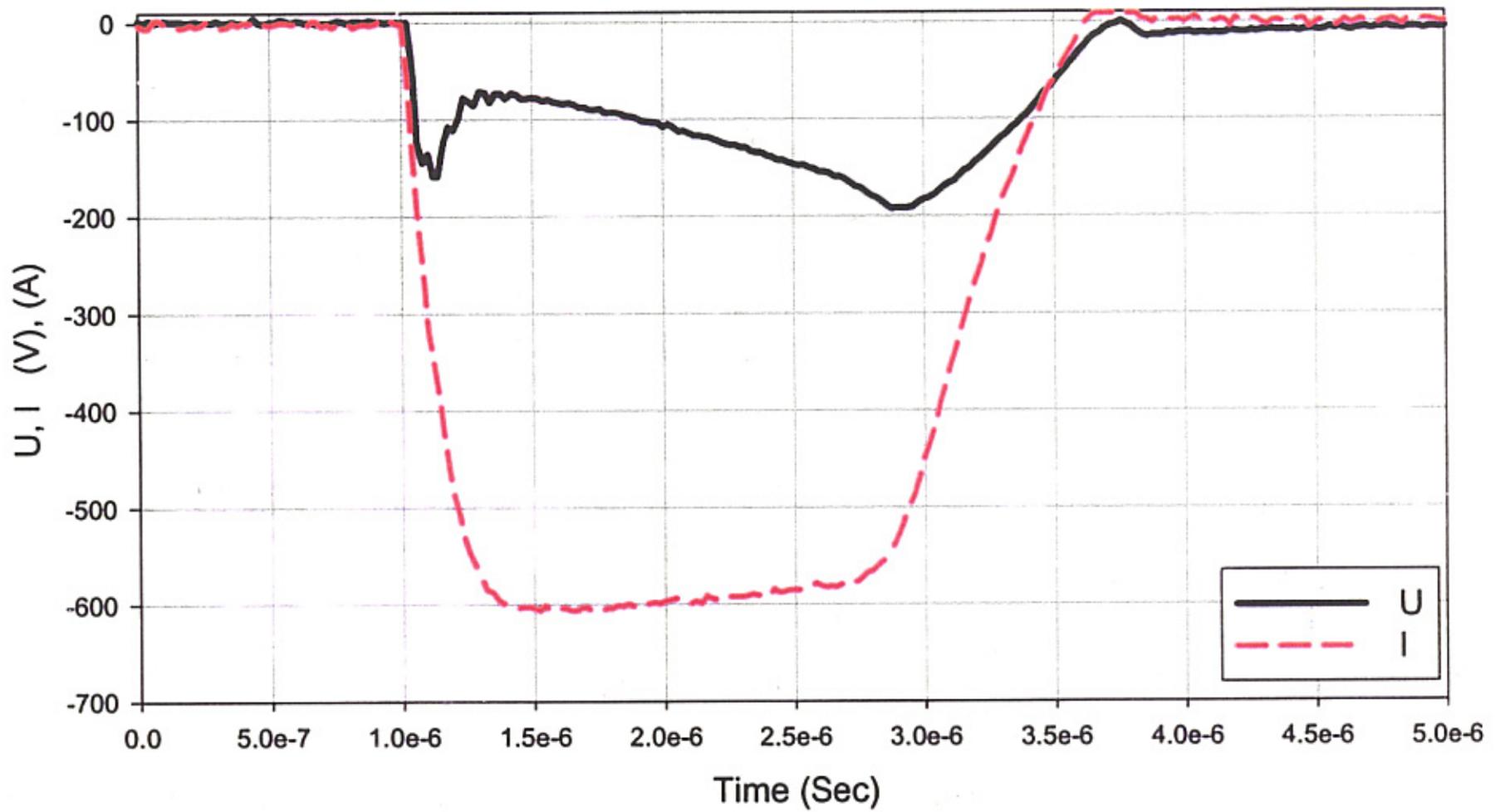
トロイダルコア B-H特性 (50Hz)



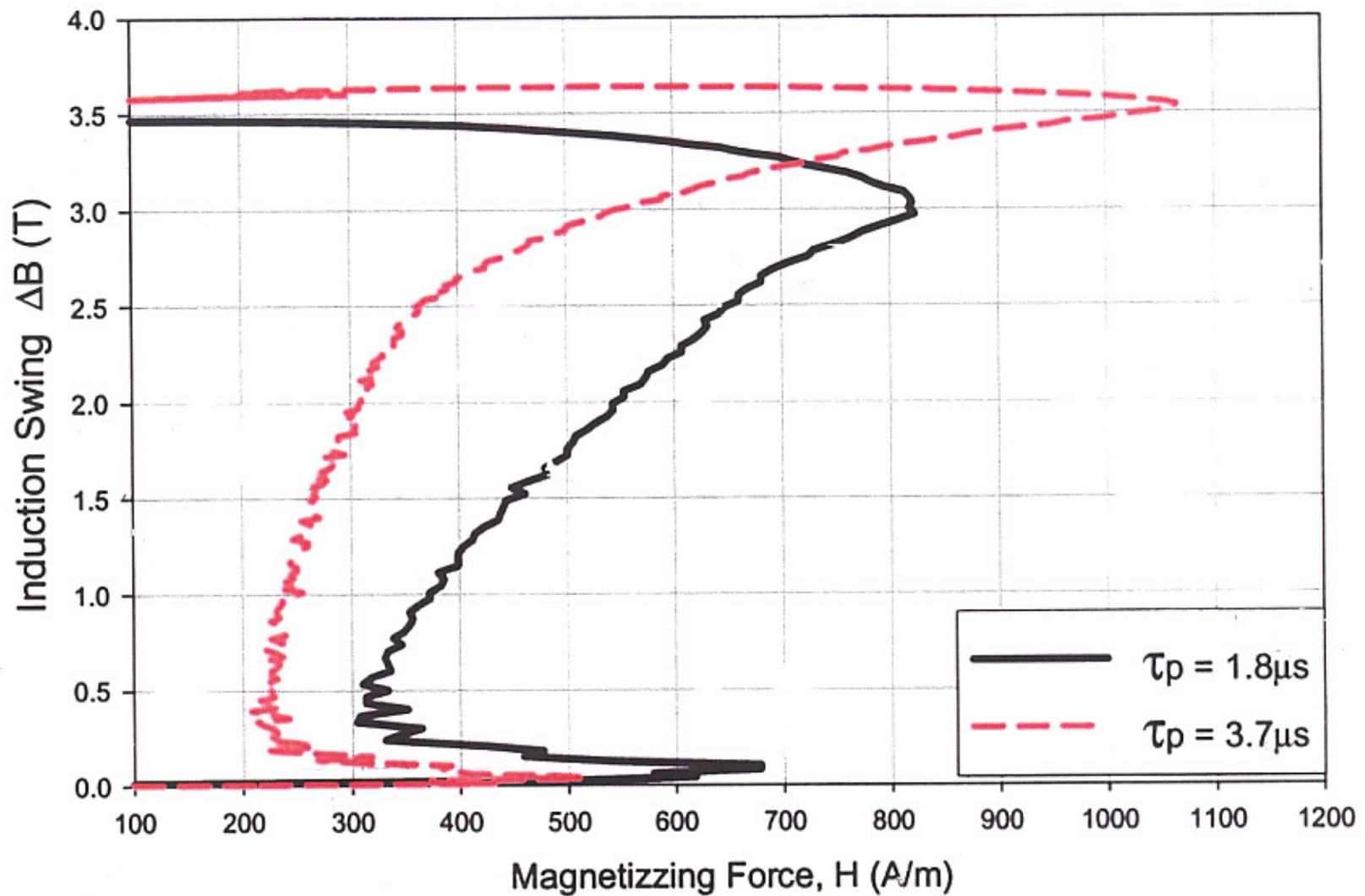
$$W_{\text{core}} := \frac{U_k l^2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \left(a + 5.6 \cdot \frac{U_k l}{E_{\text{oil}}} \right)}{U_{\text{igt}} \cdot \Delta B} \quad (\text{kg})$$



Induction Swing ΔB (T) $\tau_P = 1.8 \mu s$



Si steel (EX005), from NKK ($T_s=1.8 \mu s$)



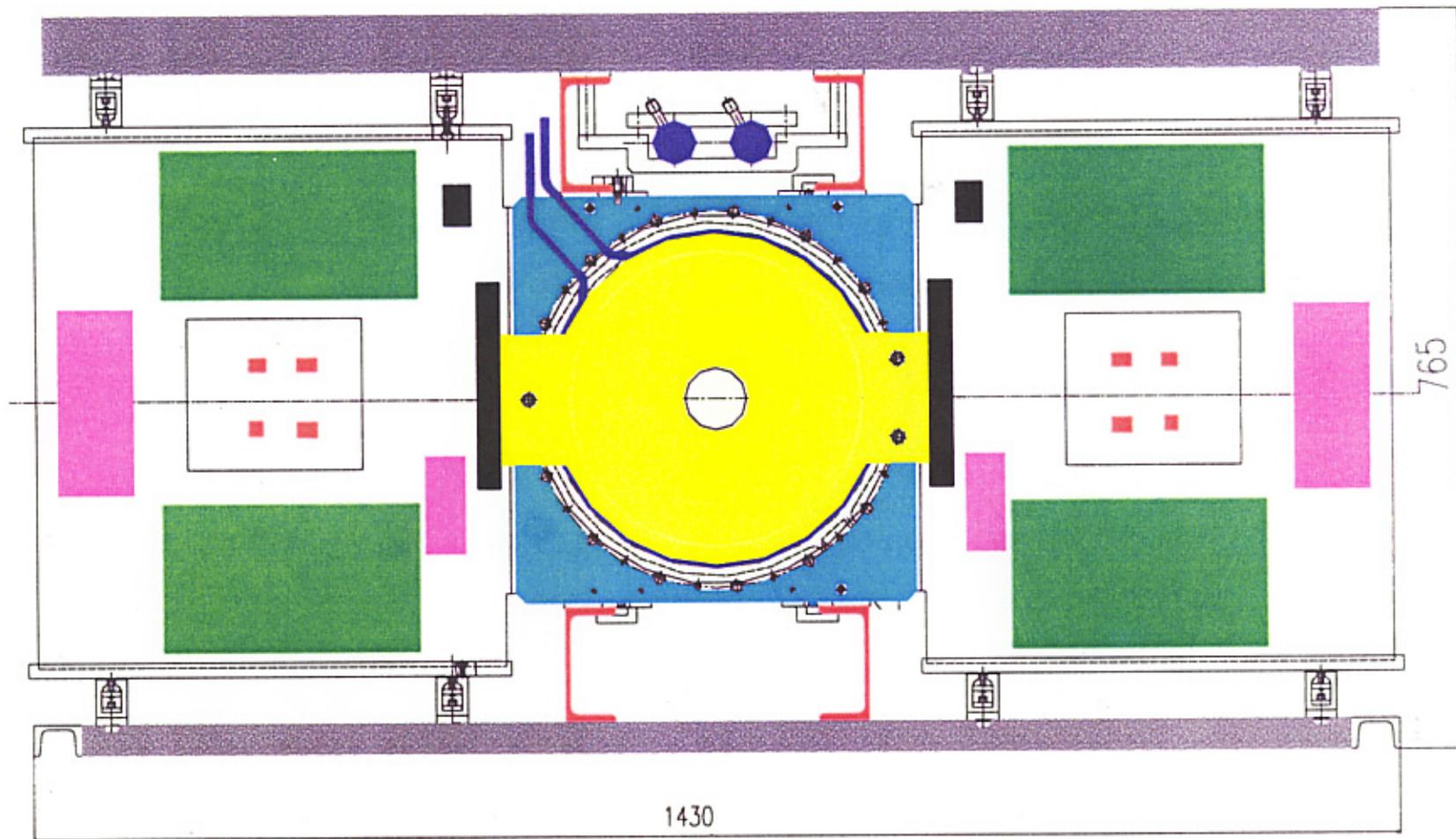
Si steel (EX005), $\delta = 50 \mu m$, from NKK ($T_s = 1.8 \mu s, 3.7 \mu s$)

www.amet.ru *Fe, Nb, Cu, Mo, Co, B, Si*

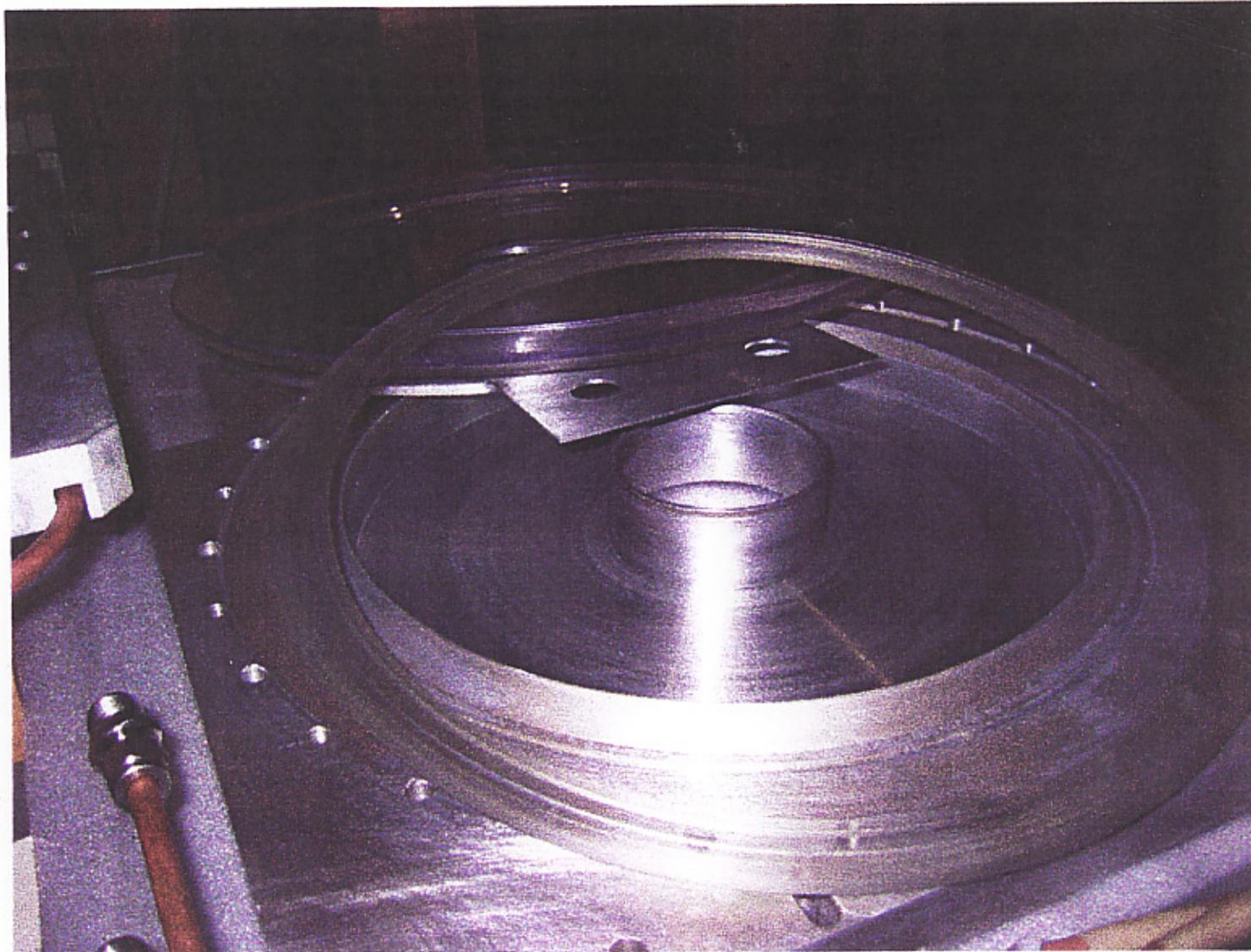
Lose , F=20 kHz, dB, W/kg

- **2T** 1,45 8,0
- **9Π** 1,25 12,0
- **30Π** 1,46 10,0
- **30T** 1,2 6,0
- **5Π** 1,2 5,5
- **5T** 1,2 5

Linear induction modulator



LIM: insulate and contact plate



Lim: inductor and core



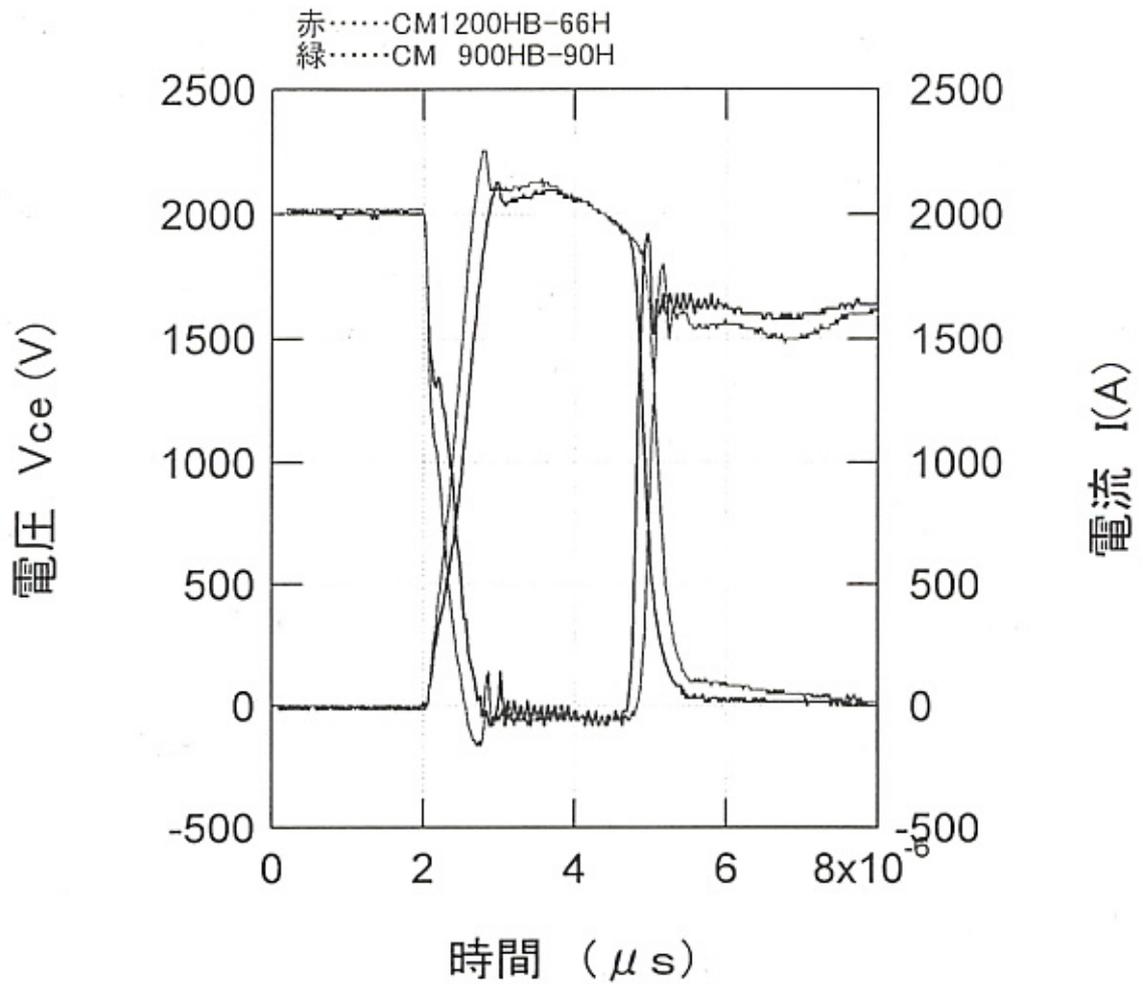
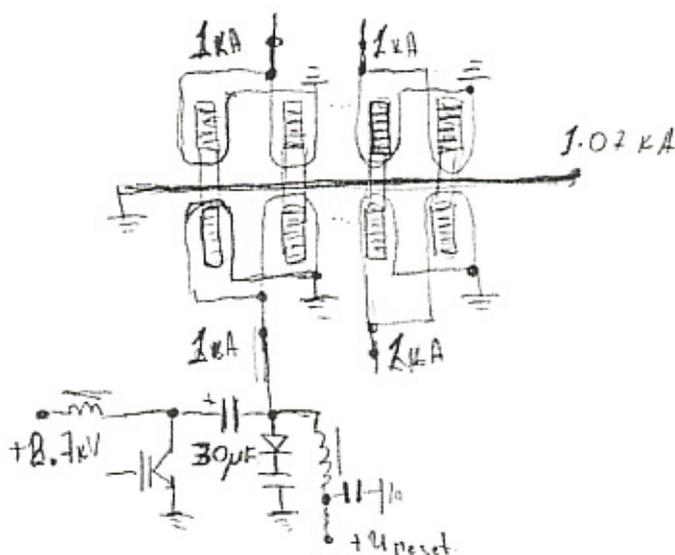


図 1 IGBTの電流・電圧波形

(CM1200HB66HとCM900HB-90Hの比較)

一段スタック
 電圧: 2kV, 負荷抵抗 $R=0.909 \Omega$



$N=185$; 300 μ

IGBT-GM 300HB-90H.

LIM: print board

