

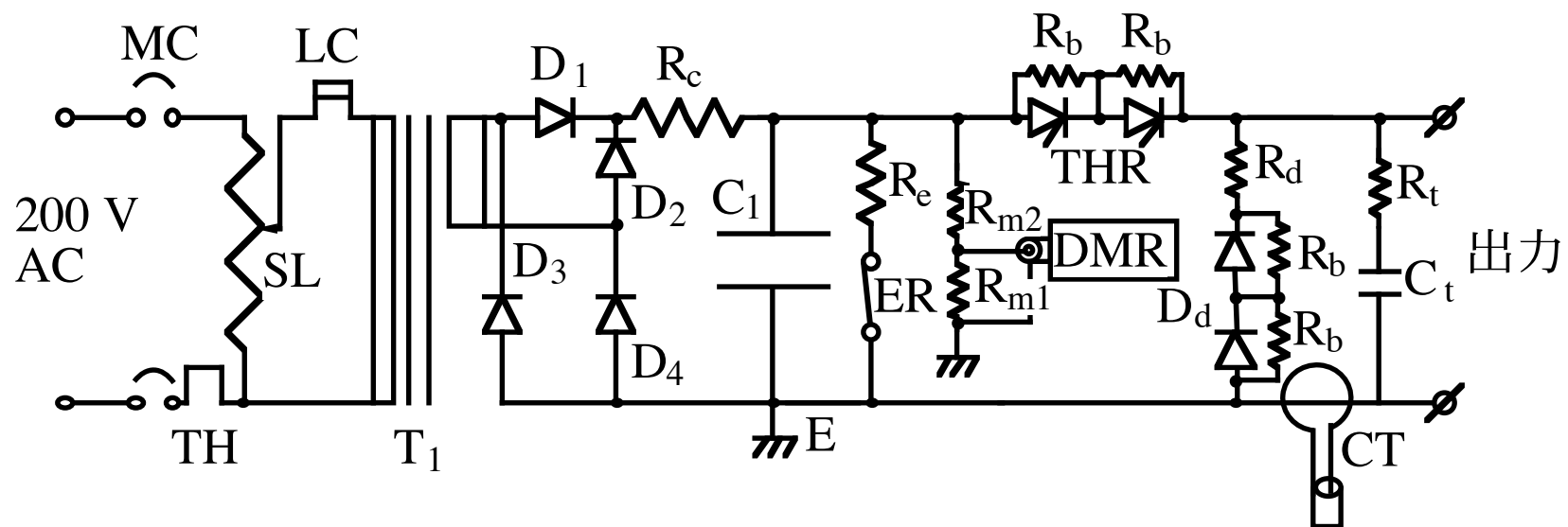
コンデンサバンクの設計

東北大学金属材料研究所
野尻浩之

“パルス強磁場用小型コンデンサ電源の自作”
野尻浩之 固体物理 37 (2002) 465-472
の理解のためのノート

本ノートは強磁場若手道場のために制作したものであり、その趣旨にそってお使いいただくことは自由です。ただし2次利用に関しては出典を明確にしてください。また、掲載内容に関して利用者にいかなる保証を与えるものでないことを明記いたします。

基本回路图



エネルギーの決定

$$E = \frac{B^2}{2\mu_0} \nu l = \frac{CV^2}{2}$$

$$\tau = \pi\sqrt{LC}$$

B=30 T, 3.5 kJ/cm³

ID=1, l=8, $\nu l \sim 6.4$ cm³, E~22 kJ

C=2 mF, V~5 kV

L=0.5mH, $\tau \sim 5$ ms

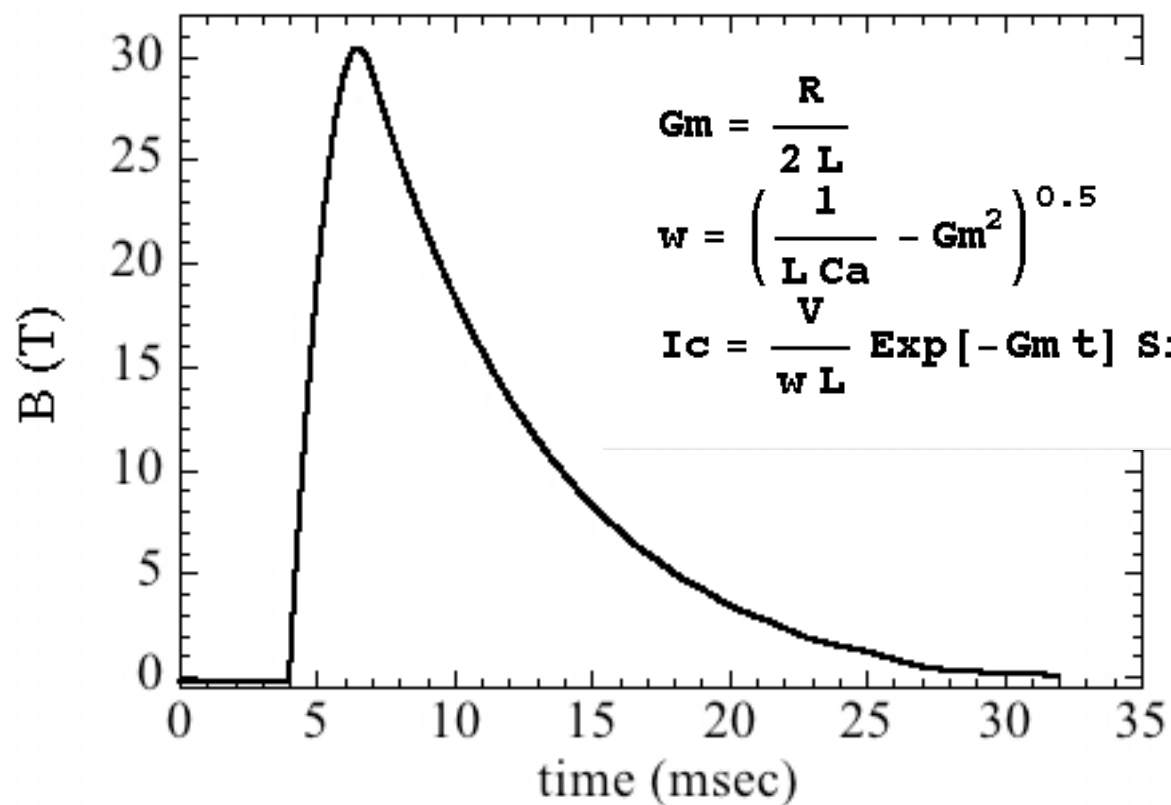
充電圧の決定

V=2kV	25 T	初級, ミニコイル
3 kV	30T	中級
5kV	40T	上級
10kV	50T	専門

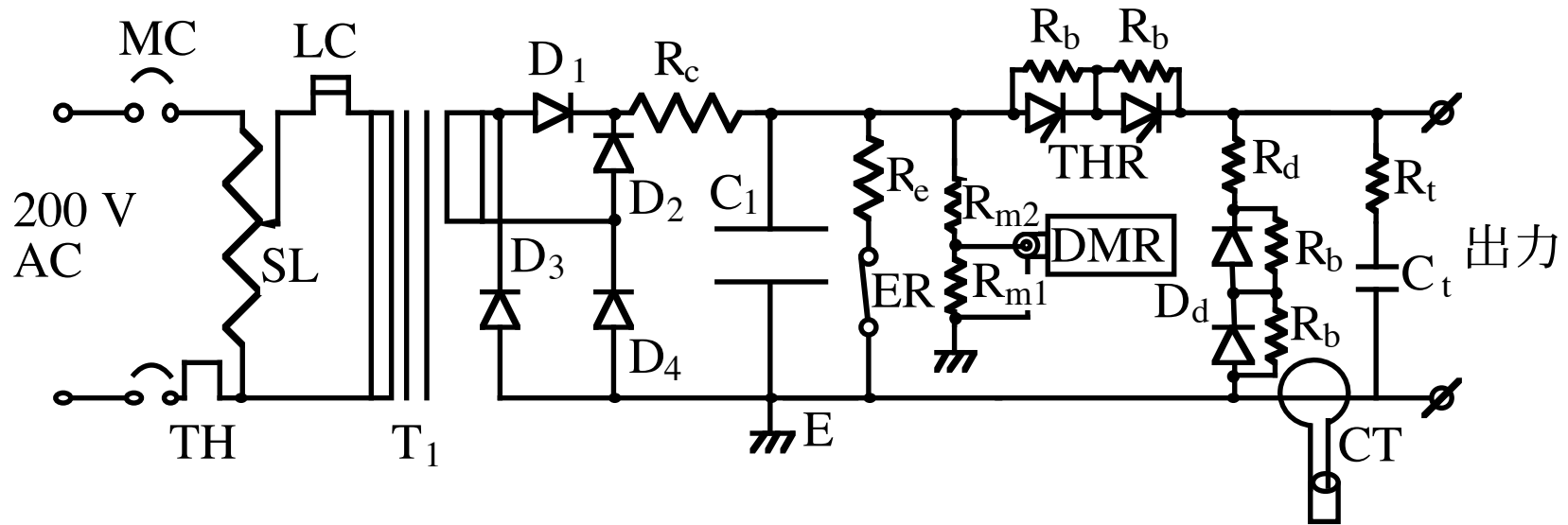
パルス幅 磁化測定なら 5ms程度

磁気抵抗なら 25ms程度(立ち下がり利用)

放電波形の計算

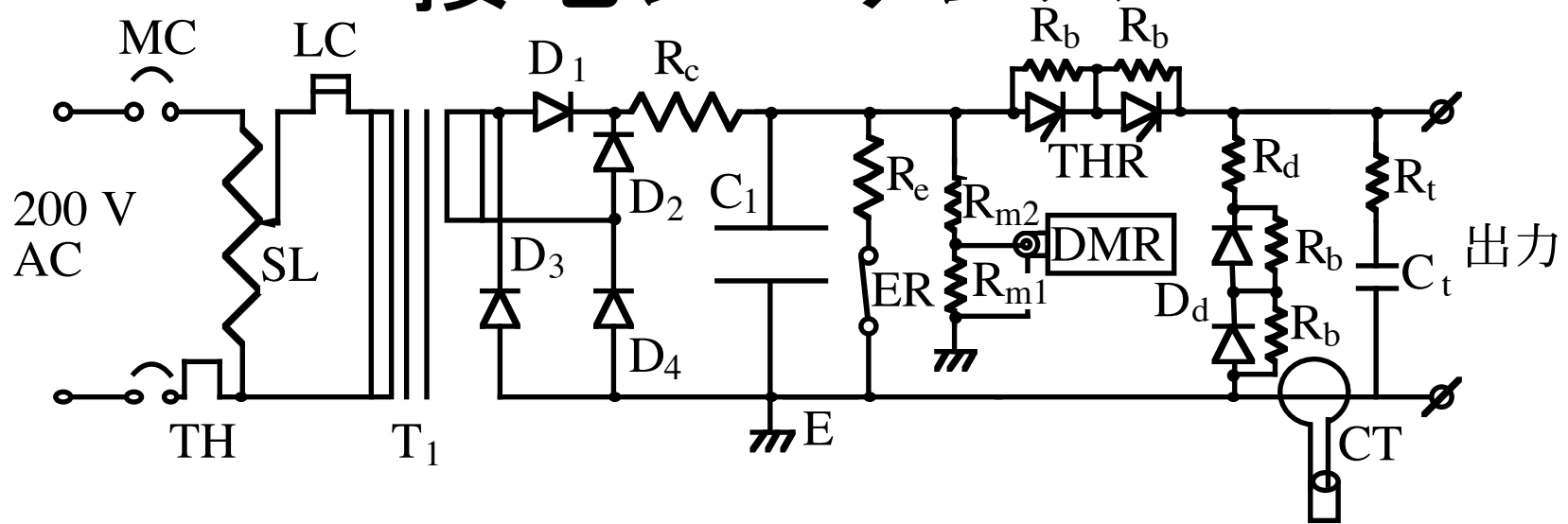


充電シーケンス



E R開, 電磁開閉器MC (大型リレー) を閉、
高圧トランス T_1 の1次側に200 Vの交流を加える。
ダイオード $D_1 \sim D_4$ で構成されるブリッジで整流
充電抵抗 R_c を通じてコンデンサに充電
充電電圧は、 R_{m1} , R_{m2} からなる分圧器でモニター
メーターリレーDMRで設定電圧で、MCを開
MCには過電流切断リレー(TH)を用いる。
電流を制限するインダクタンス (リアクトル) LCを入れてもよい

接地シーケンス



放電を中止するとき

MCを開いて充電を止める

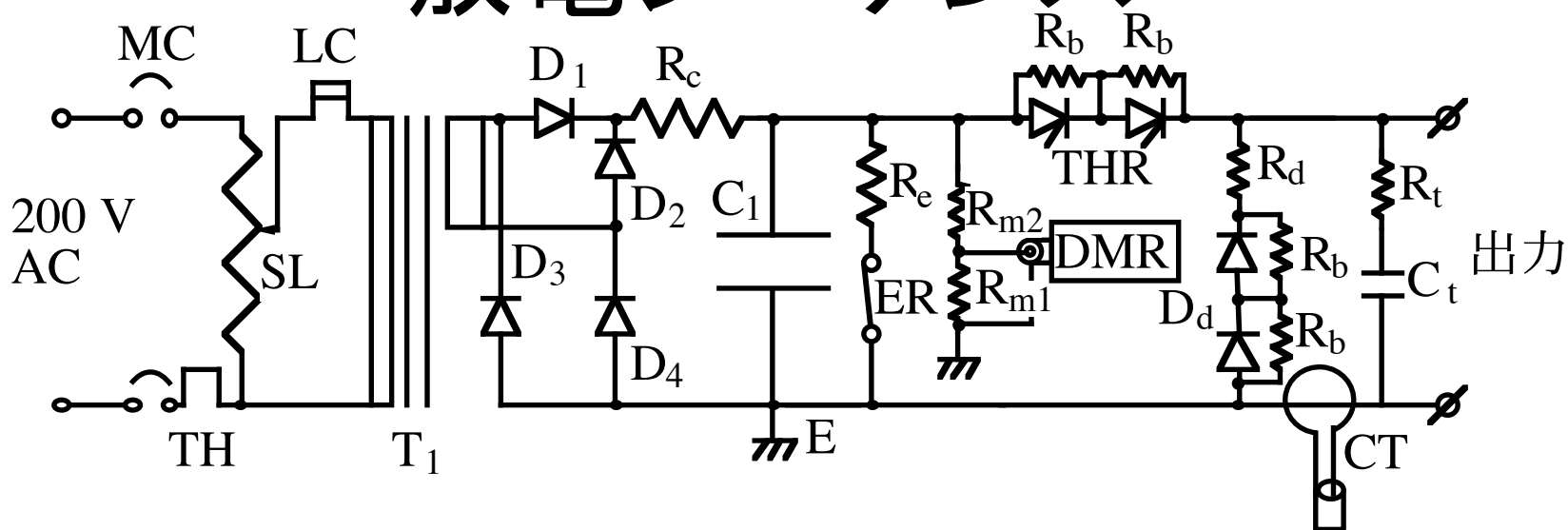
次にERを閉じてC₁にたまったエネルギーを接地抵抗R_eで熱に変える。

放電時にも1秒ほどたったら、自動的にERを閉じて接地する。

各リレーを決まった時間を追って動かすのはタイマーリレー

タイマーの遅延時間は素子の動作を実際に観察（機械なら1秒程度）

放電シーケンス



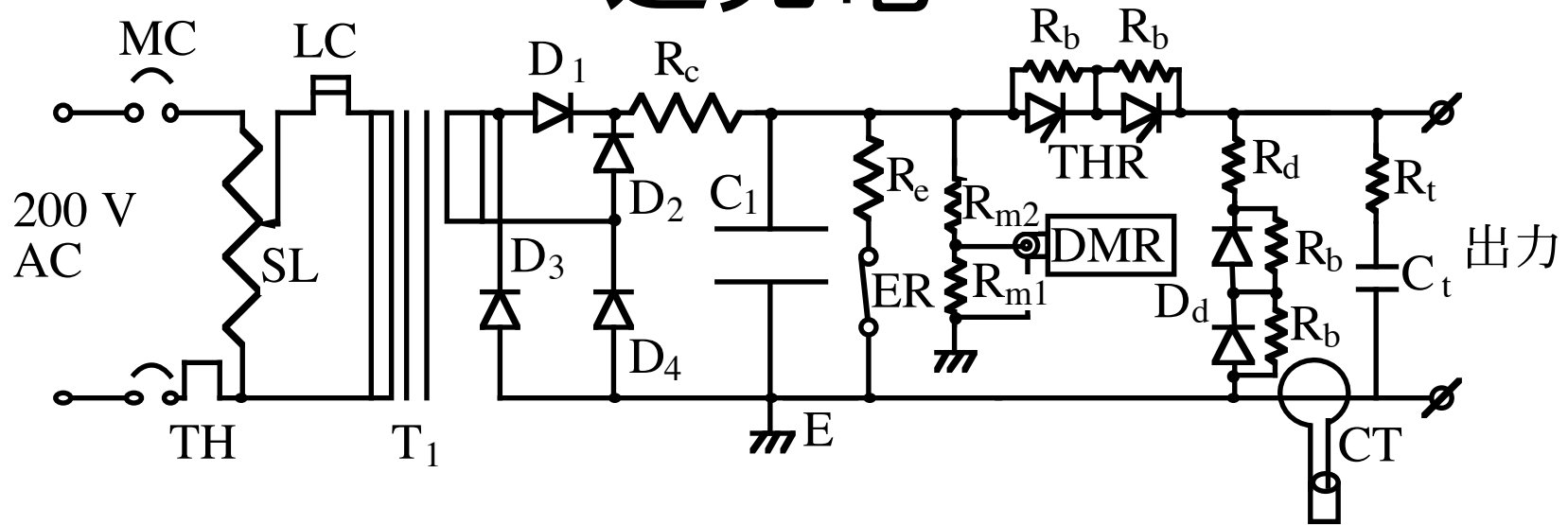
サイリスタTHR(今回は2台直列になっている)にトリガ信号を送って通電するが、コイルの電圧はゼロから充電圧まで瞬時に上昇
パルス状の高電圧は、インピーダンスの不整合のために反射
電源の出力端に並列に R_t , C_t を接続して、反射電圧を吸収
素子のパルス電圧に対する耐圧を充電圧の2倍程度に選ぶ.

THRのゲートは充電圧に浮く

コイルの低電圧側も接地電位よりも数十ボルトは浮く

(コイルとコンデンサ間の配線の抵抗 $10\text{m}\Omega \times$ 電流 10kA で決まる) 事に注意

逆充電



サイリスタは整流作用があり、

電流はコンデンサに逆充電

一般的にオイルコンデンサは多少は逆電圧を加えても平気

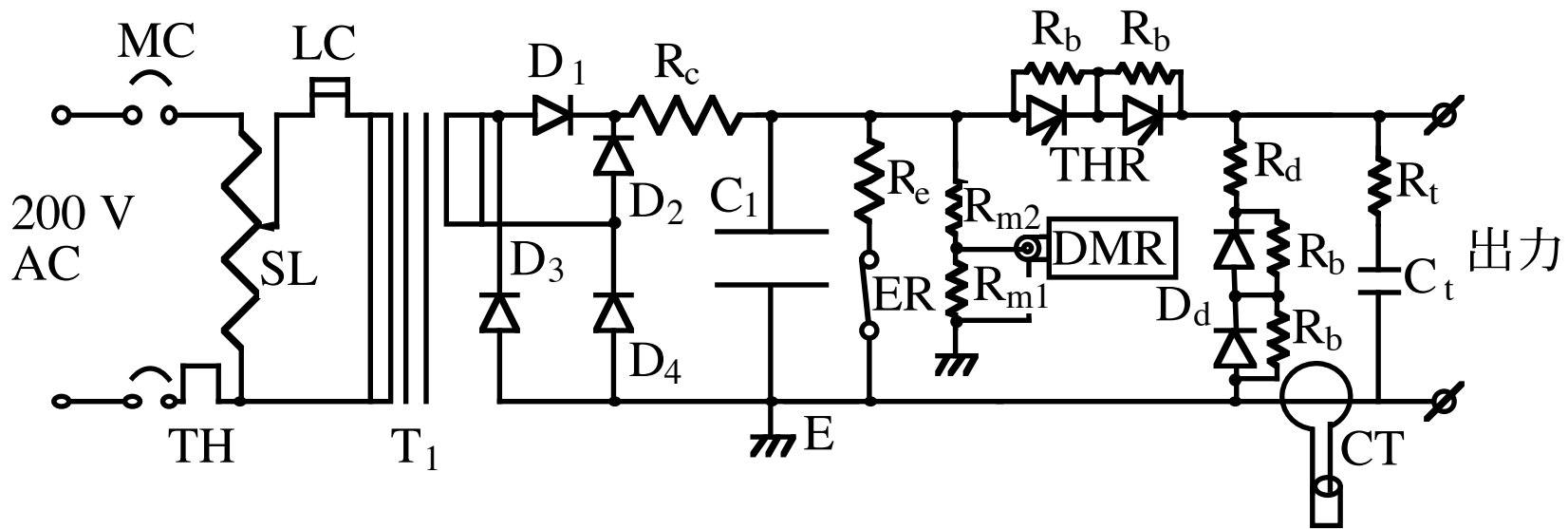
逆充電を押さえるためには、クローバー回路

ダイオード D_d と数十 $m\Omega$ 程度の抵抗 R_d をコンデンサに並列に取り付ける。

コイルの電圧が反転すると、以後電流はこのダイオードを通して流れる、

R_d 大 早くダンプする、長くするなら R_d 小

クローバー回路のメリット



放電をゆっくりに出来る コンデンサの寿命が延びる

反轉回路

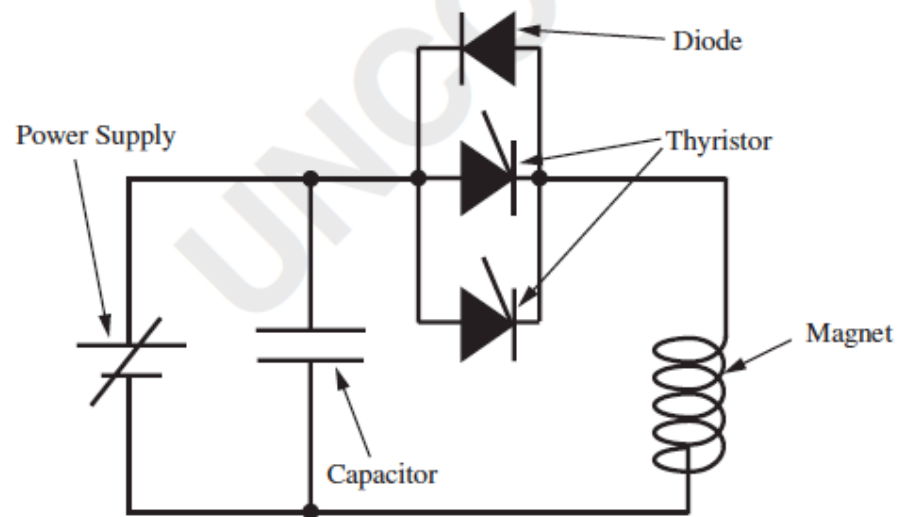


Fig. 1. Schematic view of the electric circuit of the capacitor bank. A diode is put to make a full cycle pulse. The trigger timings of two thyristor switches can be controlled by an external delay circuit. There is no dead time between the two successive pulse fields.

Nojiri et al.
J. Mag. Mag. Matter, 2007

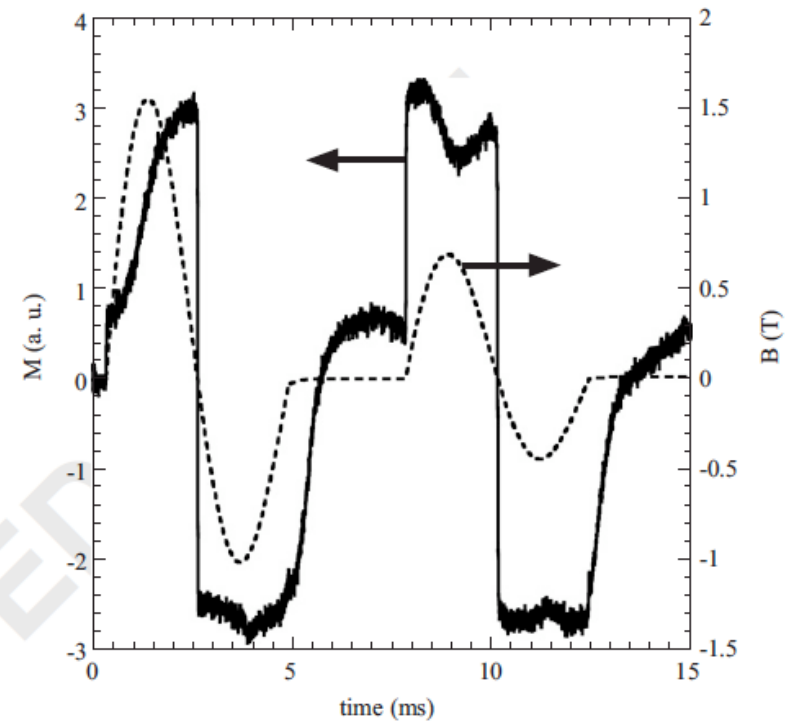


Fig. 5. Time dependence of the $B(T)$ and the magnetization. The background signal from the uncompensated part is not subtracted. The temperature is 0.4 K and Cu^{2+} ion concentration is 1%.

放電スイッチ

サイリスタが便利である.

大電力一般用サイリスタ

直流オフ電圧を充電圧より高く

ピーク繰り返し電圧を, 充電圧の2 倍程度

サージオン電流は60 Hzの半サイン波の電流を 1 サイクル

コイルの最大電流に対応する性能である.

パルス磁場では, 平均オン電流 (直流の電流) に対して10-20倍程度

電流二乗積は熱的損失による限界

例えば最大電流15 kA, パルス幅10 msec, 2×10^6 程度になる.

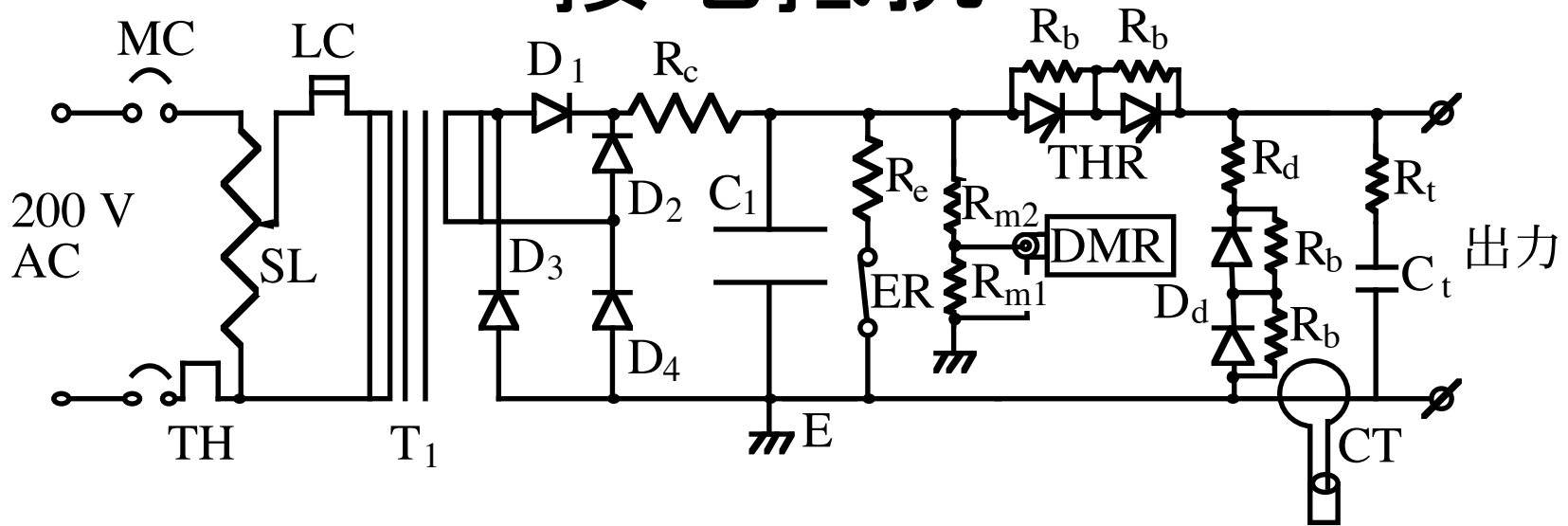
最大定格

記 号	項 目	耐 圧 ク ラ ス	単位
		54	
VRRM	ピーク繰返し逆電圧	2700	V
VRSM	ピーク非繰返し逆電圧	2850	V
VR(DC)	直流逆電圧	2160	V
VDRM	ピーク繰返しオフ電圧	2700	V
VD SM	ピーク非繰返しオフ電圧	2700	V
VD(DC)	直流オフ電圧	2160	V

記 号	項 目	条 件	定 格 値	単位
IT(RMS)	実効オン電流		2350	A
IT(AV)	平均オン電流	商用周波数, 正弦半波180度連続通電, $T_i = 73^\circ\text{C}$	1500	A
ITSM	サージオン電流	60Hz正弦半波1サイクル波高値, 非繰返し	30	kA
I^2t	電流二乗時間積	1サイクルサージオン電流に対する値	3.75×10^6	A ² s
diT/dt	臨界オン電流上昇率	$V_D = 1/2 V_{DRM}$, $I_G = 1.0\text{A}$, $T_j = 125^\circ\text{C}$	200	A/ μs
PFGM	ピークゲート損失		10	W
PFG(AV)	平均ゲート損失		3.0	W
VFGM	ピークゲート順電圧		20	V
VRGM	ピークゲート逆電圧		10	V
IFGM	ピークゲート順電流		4.0	A
T_j	接合温度		$-40 \sim +125$	$^\circ\text{C}$
T_{stg}	保存温度		$-40 \sim +150$	$^\circ\text{C}$
—	圧接強度	推奨値29.4	26.5 ~ 32.3	kN
—	質量	標準値	690	g

三菱半導体
カタログより

接地抵抗



バランス抵抗 R_b を素子に並列に接続する

容量数ワット級が必要である.

通電するとゲートと陰極の電位は充電電圧まではねあがる.

従ってゲート電位は, 浮いた電位である必要

パルストランスを用いる方法

光ファイバーで電氣的に切り離,

トリガ回路は電位的に浮いているバッテリーで駆動する

実体配線



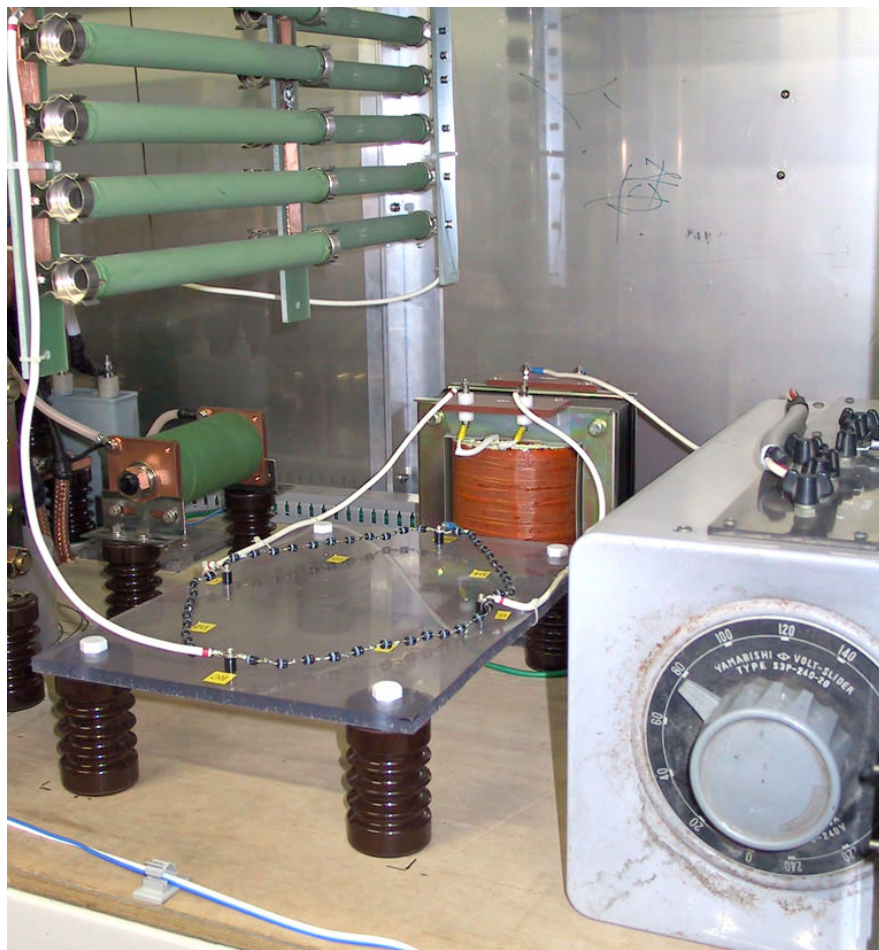
据え付けなら棚がお勧め

鉄板の上に固定

可動式なら複数分割も

ひもで配線シュミレーション

実体配線



3次元の構造を想像だけで考えるのは無理

内部配線

出力ケーブルは, 30 kAの電流
有効径22 mm²の高電圧用同軸ケーブル2本程度
出力電流が流れる部分の配線は, ブスバーを用いる
厚み4 mm, 幅50 mmの銅板



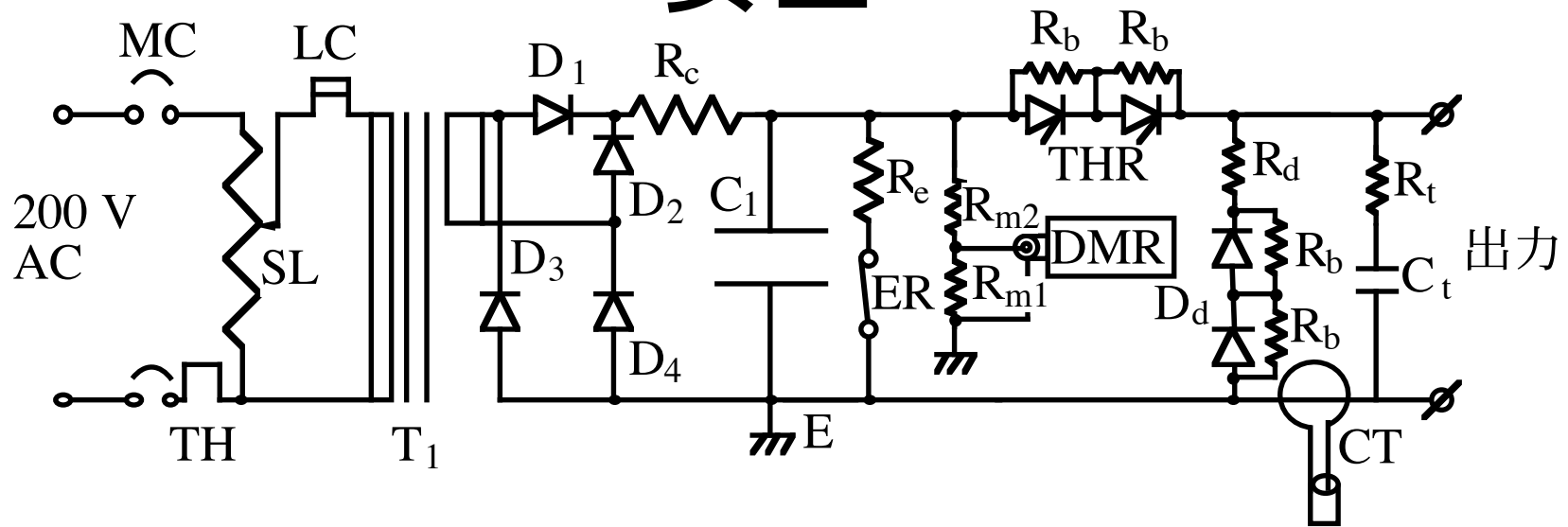
ブスバーかケーブルか

ケーブルの場合肉厚の圧着端子利用

複数の並列接続

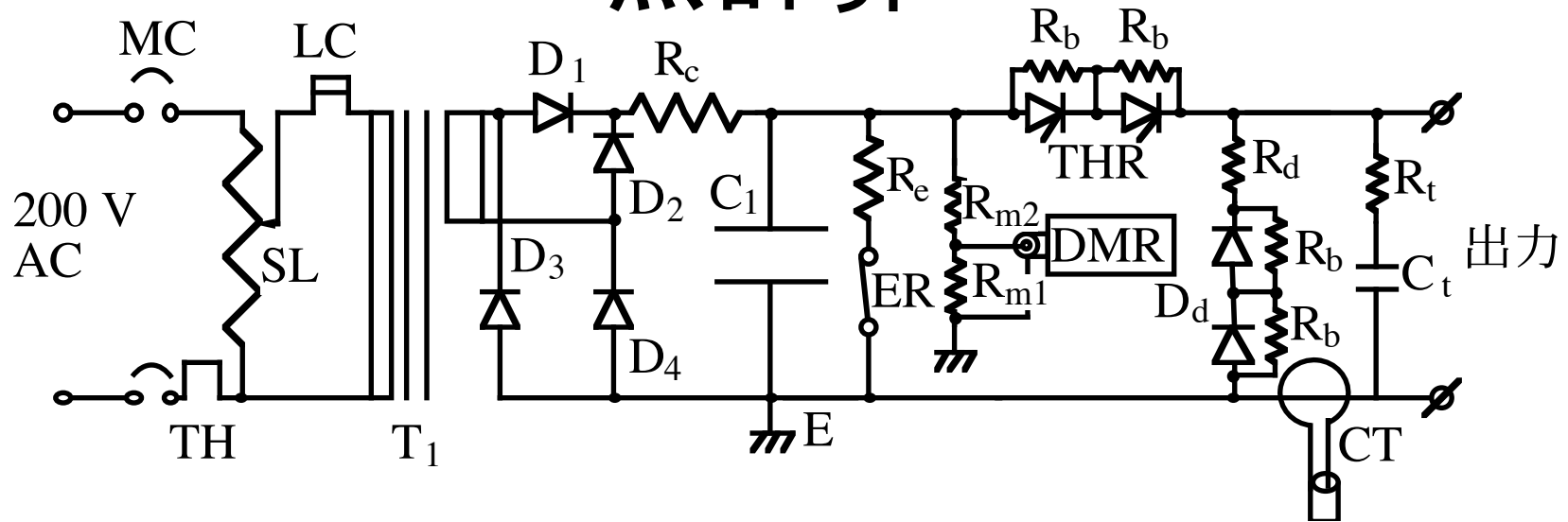
コンデンサのガイシはトルクレンチ使用が必須

安全



例えば R_{m1} の配線がはずれると
DMRの電圧は充電圧まで上昇
切れていけないところはしっかりと
特に接地電位に繋がる配線

熱計算



例えば R_c の選択

R_c ではコンデンサに蓄積すると同じエネルギーが消費

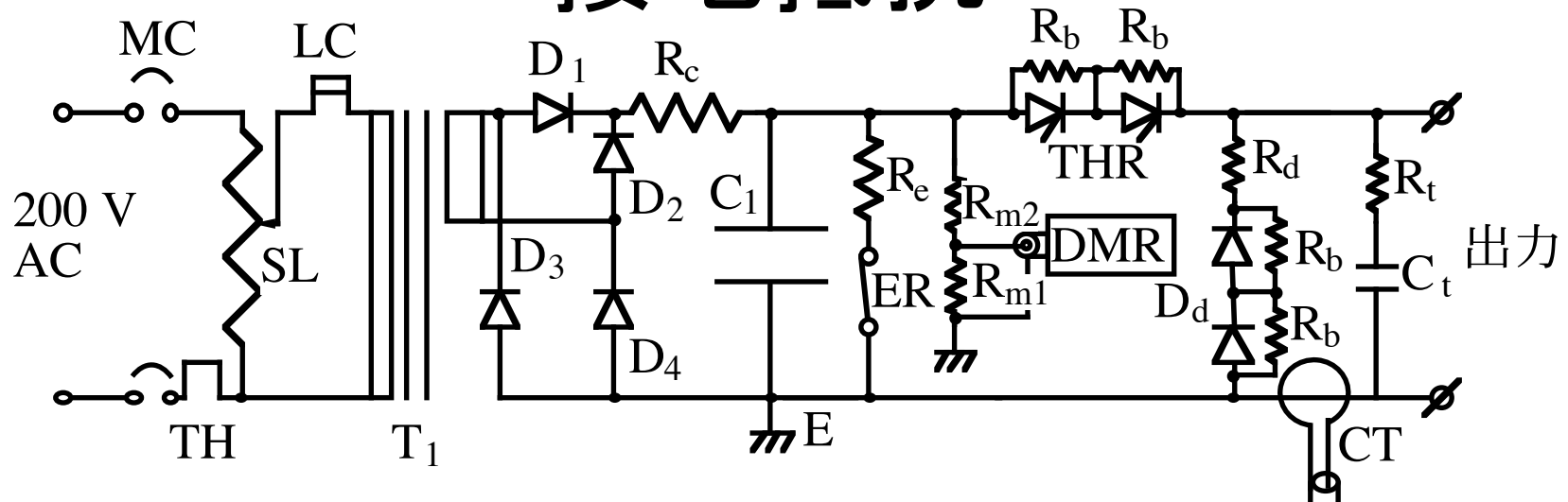
50 kJ 1秒充電なら 50kW

100Wの抵抗なら500個、充電間隔があるので減らせる

低電圧の繰り返し充電に注意

セラミックス抵抗がベスト

接地抵抗



コンデンサを放電した後に残った電荷を接地

充電中に放電を中止して接地

高電圧専用リレーを用いる. ERの最大電流を 10 A

放電抵抗 R_e は充電圧 3 kVなら300 Ω となる.

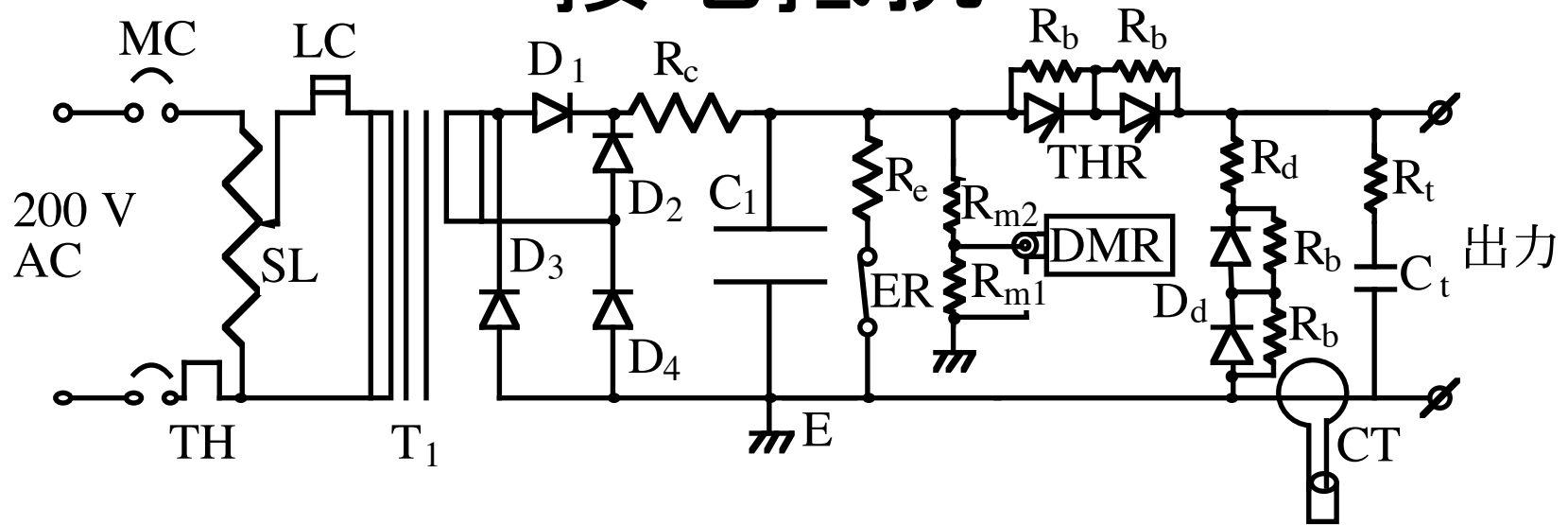
R_e とコンデンサ容量 C_1 で決まる時定数に注意

エネルギーが短時間に R_e でジュール熱に変わるので,

熱容量は十分に大きい必要

炭化けい素質抵抗器などセラミックスの抵抗が向いている.

接地抵抗



電流をモニター

カレントトランスを用いるのが便利

飽和に気をつける

手作りロゴスキーでも可能

点検

接地には有限の時間がかかる

電源の内部を点検するときには、電源を切った上で、
接地棒をもちいて電源の各部を十分に接地したうえで点検に入る
接地棒は1 m程度のプラスチック棒の先に大型の抵抗を付け、
その一端を接地電位にケーブルで接続する。

ERの動作を手動で行うと考えれば良い。

最後に接地ケーブルで直接接地して万全を期す。

不安ならテスターで電圧を測る

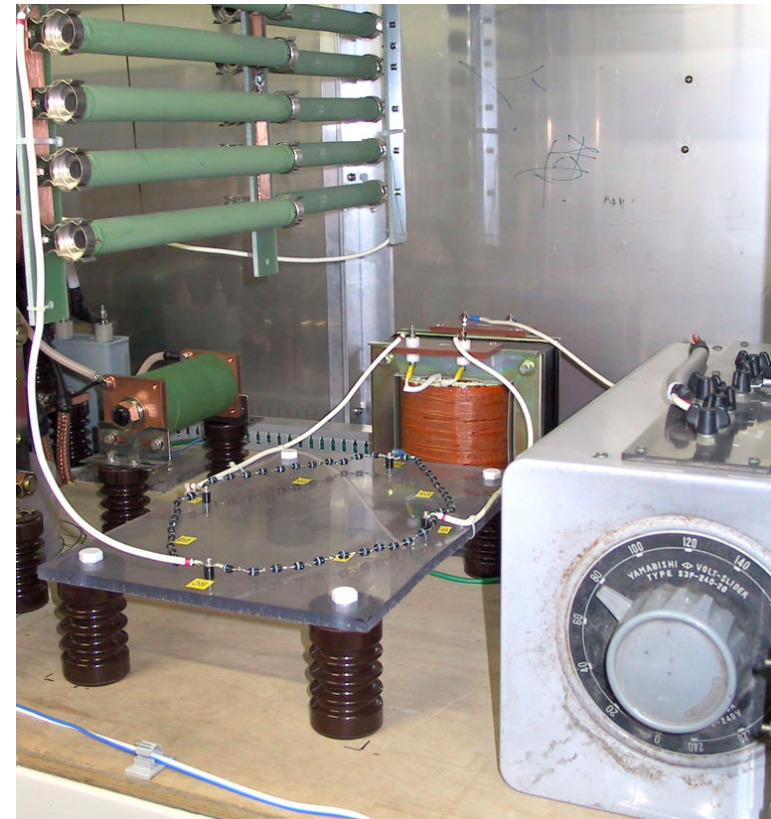
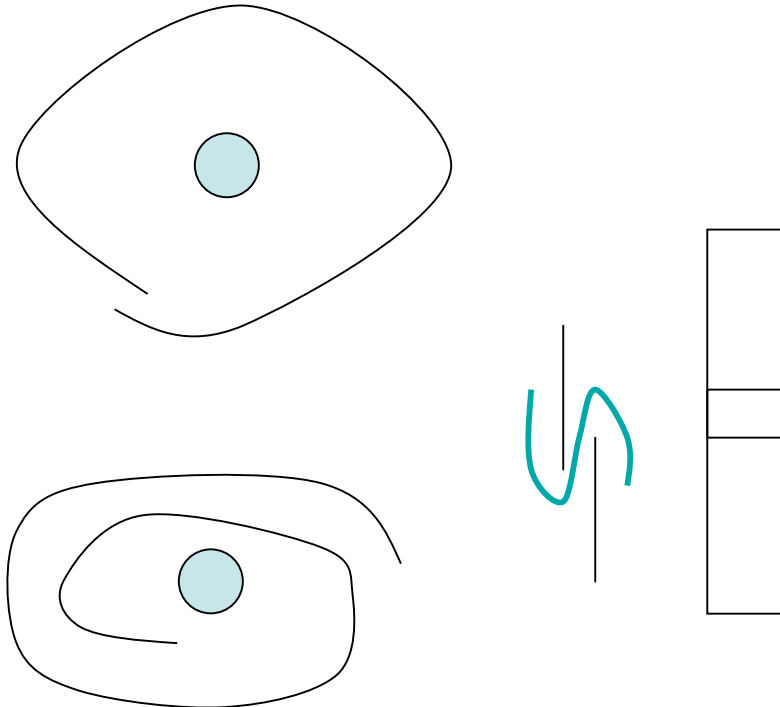
絶縁

空气中 10kV 4cm

絶縁 ポリエチレン

カプトンも良いが割れやすい

低温ではテフロンチューブ



沿面放電

ほこりなどによるリーク

乾燥しすぎはだめ