

交直変換器及び直交変換器の交流系統及び直流系統の 静的フィルター及び動的フィルターの新方式の提案

平成 19 年 6 月 29 日 大阪電気通信大学短期大学部 佐藤健次

交直変換器であるサイリスタ電源において、直流出力に対し、負荷を 3 端子入力で 3 端子出力の電気回路で、上下対称な配置とし、その対称性を利用して、電源にノーマル・モードとコモン・モードに対するフィルターを設けることで、静的フィルターのみでも、転流に付随する電流ノイズを数 ppm にまで低減し抑制出来る。筆者が考案したこの方式に基づき、放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置 HIMAC のシンクロトロン電磁石用サイリスタ電源 (2500V、2500A、台形励磁用パルス電源) や大阪大学核物理研究センターでの民間等との共同研究によるサイリスタ電源 (210V、3000A) で、この高性能は実証済みである。HIMAC では、さらにリアクトル・トランスフォーマー型の動的フィルターを上下対称に設けることで、10 倍近く、電流ノイズが改善され、0.3ppm とする、世界的にも例を見ないほどの高性能を実現している。この直流出力側のフィルター方式は、国内のみならず世界的にも採用例はまだ数多くはないものの、既に確立された技術と言える。

これに対して、交流系統では転流に付随するノイズに悩まされ続けて来ており、特に、最新の IGBT 電源では、スイッチングに付随するノイズが原因で、これまでのサイリスタ電源には見られなかったような、大きなトラブルが交流系統に発生しており、その枚挙にいとまがない。

最近筆者は、J-PARC 加速器研究施設で電源に関するセミナーを行う機会を得、それに際して、IGBT 電源の交流系統の相間電圧と相電流の波形の測定データを入手出来る幸運に恵まれた。これらの測定データの位相をずらし、3つの相間電圧と3つの相電流に拡張し、それぞれの和を取ると、ゼロになるノイズとノンゼロのノイズがあることに気付いた。この解析の結果、相間電圧は和がゼロになるノーマル・モード・ノイズのみであり、相電流はノーマル・モード・ノイズと和がノンゼロのコモン・モード・ノイズからなることが判明した。コモン・モード・ノイズでは3つの相電流の和がノンゼロであるから、その逆向きの電流が床や大地や地面を流れていることになり、この電流こそ交流系統のトラブルの原因であり、それを低減し抑制する必要があると考えられる。

そこで、直流出力側では、電気回路を上下対称な配置とし、その対称性を利用して、電源にノーマル・モードとコモン・モードに対するフィルターを設けると言う考えを交流系統にも適用し、交流系統の電気回路を上下対称な配置とし、その対称性を利用して、ノーマル・モードとコモン・モードに対するフィルターを設け、2つのモードのノイズを低減し抑制出来る、交流系統に対する新方式のフィルターを考案した。このとき、直流出力側も交流系統のいずれも、電気回路は上下対称な配置であり、お互いに整合の取れた配置となり、全体として均整の取れた電気回路となる。

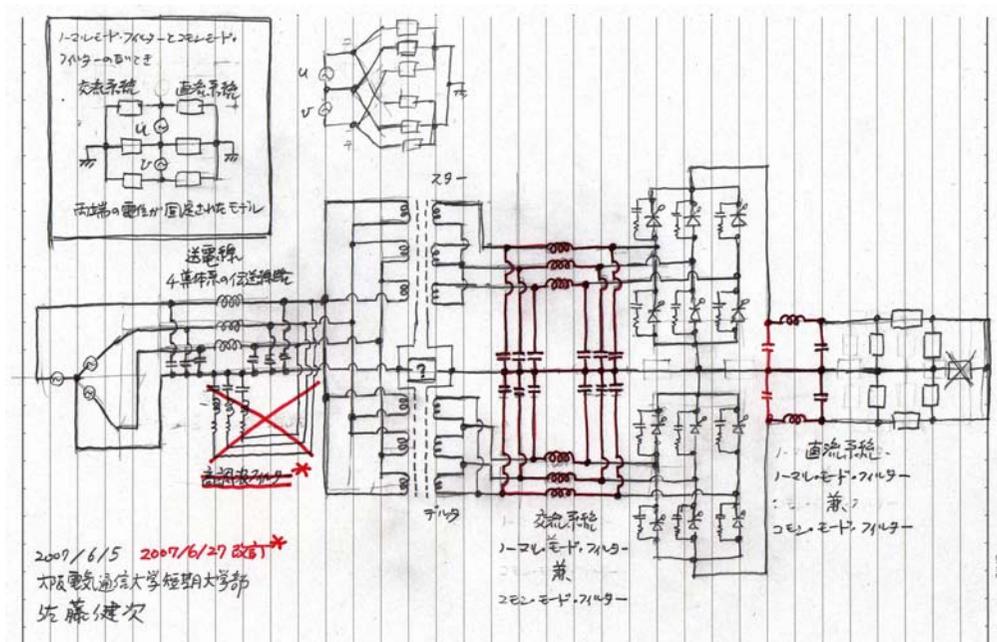
以上の交直変換器の直流出力側と交流系統のフィルターは、直交変換器にも適用可能であり、さらに、これらを組み合わせた交直交変換器や直交直変換器にも適用可能であり、いずれの変換器においてもノイズの低減と抑制に有効である。

交直変換器及び直交変換器の交流系統及び直流系統の 静的フィルター及び動的フィルターの新方式の提案

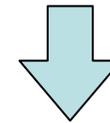
平成19年7月6日 J-PARC

大阪電気通信大学短期大学部 佐藤健次

新方式提案の機会を得たことに対してJ-PARC加速器に感謝



直流系統の上下対称性



交流系統の上下対称性



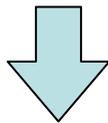
直流系統と交流系統との
鏡映対称性

対称性と直交性:(ムムツ!?)松本浩さんだけが理解可能かな? 1

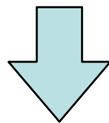
ラッキー!!: 素晴らしい測定データを入手

「PF-AR偏向電磁石用IGBT電源のトラブルについて」
H19-5-25、KEK岡村勝也氏報告資料7頁

相間電圧と
相電流の
波形に着目

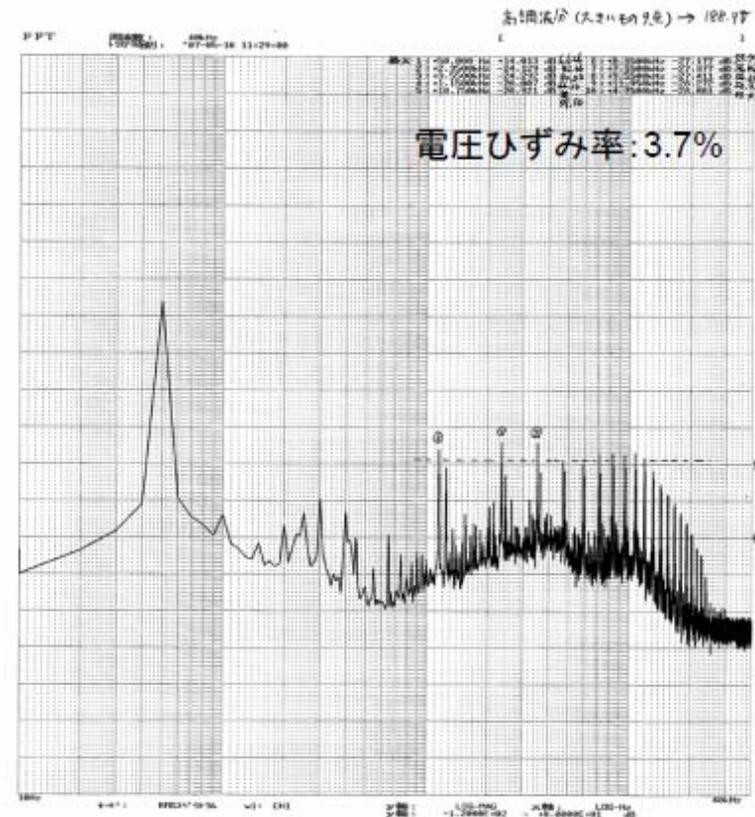
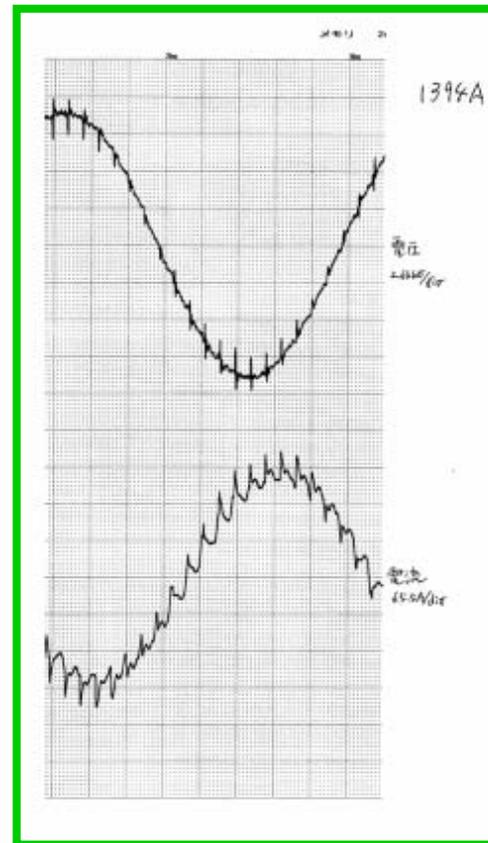


3つの相間電圧と
3つの相電流の
和を取る



ノーマル・モードと
コモン・モードが
見出された

B電源運転時の系統電圧



佐藤(老頭児+自称:素人以上プロ未満)のこれまでの発言の訂正

訂正の背景

- 相間電圧はノーマル・モードのみからなる
- 相電流はノーマル・モードとコモン・モードの2つのモードからなる

第2回セミナーの岡村さんの報告に対する佐藤の質問に関して

- 非論理成分はないのか(佐藤の質問)はナンセンス
- 相間電圧はノーマル・モードのみのため、論理成分のみ
- しかし、佐藤の見解:電圧の周波数スペクトルはナンセンスに近い
- 理由:破損したのは、(相間に設置される)高調波フィルターではなく
(一端はアース:即、コモン・モード電流を流す)サージ・アブゾーバ

トランスの静電遮蔽板は役に立っていない

- 佐藤は、いかにも役に立つかのように、話した

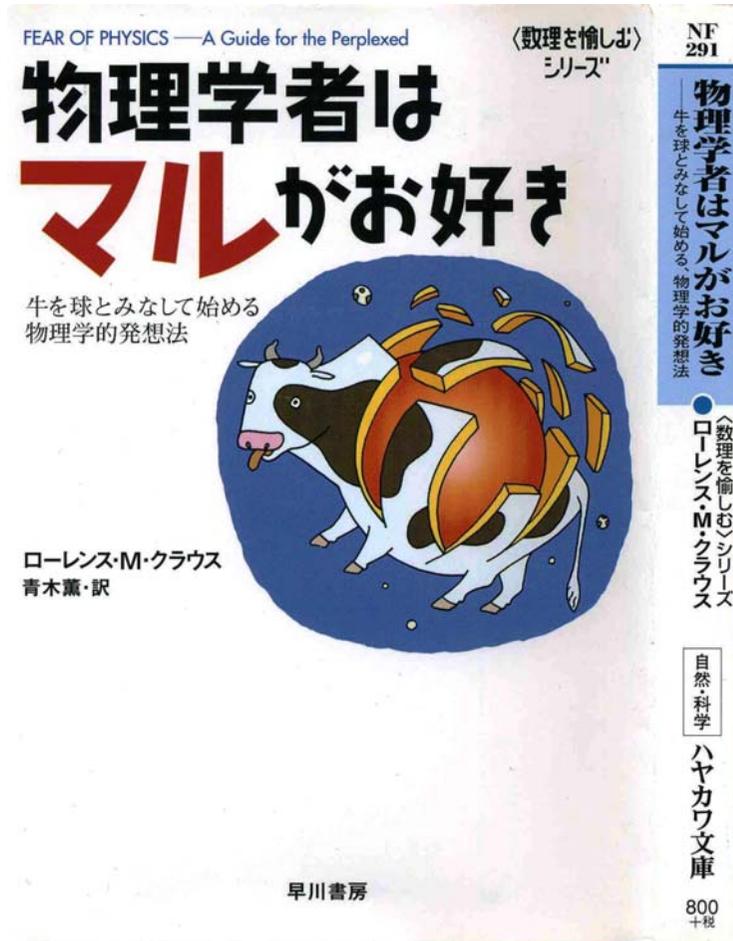
3本共巻きのリアクトルを用いたコモン・モード・フィルターは不適切

- ノーマル・モードに対しては3本共巻きのリアクトルは効果がない
- ノーマル・モードが存在することが判明した以上、コモン・モード・フィルターのみでは不十分

物理の超発想 (講談社) = 物理学者はマルがお好き (早川文庫)

第2回セミナー(5月11日): 二匹目のどじょうを狙え

第4回セミナー(本日): 対称性に始まり、対称性に終わる



245 対称性に始まり、対称性に終わる

対称性について考えるときに、芸術家たちが思い浮かべるのは、雪の結晶やダイヤモンド、あるいは池に映った景色のような、はてしない可能性ではないだろうか。ところが物理学者にとっては、対称性とはすなわち不可能性にほかならない。物理学を実際に前進させているのは、「何が起きているか」がわかることなく、「何が起こらな

「ほかに、何か注意しなくちゃならないことはありませんかね？」
「事件当夜の犬のことでしょうね」
「犬はあの晩、何もしてませんでしたよ」
「それが妙だというんです」と、シャーロック・ホームズ。

サー・アーサー・コナン・ドイル

第5章 対称性に始まり、対称性に終わる

もしかしたら、二匹目のどじょうを狙っていたかも知れない人: 岡村勝也さん

交直変換器及び直交変換器の交流系統及び直流系統の 静的フィルター及び動的フィルターの新方式の提案

平成19年6月22日 群馬大+放医研

大阪電気通信大学短期大学部 佐藤健次

今にして思えば、不思議なこと: 矛盾したことを考えていた!?

- 直流出力は絶縁させれば良いと考える。しかし、
- 破損したのは、一端を接地しているサージ・アブゾーバー。しかし、
- 交流系統の相間電圧を短絡する高調波フィルターを設けようとする。

アイデア! : 交流系統のノイズのモードを3相電流の和で判定

- ノンゼロの成分はコモン・モード、ゼロになる成分はノーマル・モード
- ノンゼロのコモン・モード成分は床や大地や地面を流れる

物理学に根ざした工学の研究: 八木秀次が提唱

- 大阪大学理学部物理学科初代教室主任

後は簡単: 既存の直流出力側フィルターの設計を交流系統に適用

- コモン・モードについては3相電流を一まとめにした単線で考えて良い
- 単線は2本必要で、コモン線も必要
- ノーマル・モードについては3相電流毎に取り扱う

交直変換器及び直交変換器の交流系統及び直流系統の静的フィルター及び動的フィルターの新方式提案の概要

提案済みの既存で確立された技術

- 交直変換器(交流・直流変換器＝電源)の直流系統のノーマル・モード・ノイズ及びコモン・モード・ノイズに対する静的フィルター及び動的フィルター

交直変換器の交流系統のノイズの挙動の解明に成功

- 3相交流の3相電流の和を取ることで、ノイズの挙動が明らかに出来た
- 相間電圧はノーマル・モード・ノイズのみ、電流はノーマル・モード・ノイズとコモン・モード・ノイズ

交直変換器の交流系統の静的フィルター及び動的フィルターの新方式の提案

- 交流として、3相交流あるいは2相交流を想定し、それらを単線でモデル化し、直流系統のフィルターの設計を適用し、さらに、それを拡張

直交変換器の交流系統及び直流系統の静的フィルター及び動的フィルターの新方式の提案

- 交直変換器の設計を直交変換器(直流・交流変換器)に適用

ラッキー!!群馬大の電源:負荷は3端子入力3端子出力で上下対称

フィルターの新方式の原理の背景となる事象・前半

直流システムのノイズ: 筆者により解明され今では既知の事象

- 直流システムの電流の測定データから、ノイズは、ノーマル・モード成分とコモン・モード成分の2成分からなる
- 単線の定義
 - 2本の正負の直流出力のそれぞれは本来単線であり、単線間の電圧の測定データでは、コモン・モード成分は測定不可能である
- 注: 今回の提案では、直流の単線を流れる電流の向きを同一方向に取っており、これまで定義して来た他方の向きとは逆向きに定義している

交流システムのノイズ

- 直流システムのみならず交流システムでも、電流の測定データから、ノイズは、ノーマル・モード成分とコモン・モード成分の2成分からなることを発見
- 相間電圧はノーマル・モード・ノイズのみ、電流はノーマル・モード・ノイズとコモン・モード・ノイズ
- 相間電圧の測定データでは、コモン・モード成分は測定不可能である
- 単線の定義
 - 3相交流や2相交流を単線結線図で表わせば、単線を流れる電流では、ノーマル・モード成分は相殺されゼロとなり、コモン・モード成分はノンゼロ

B電源運転時の系統の1相を流れる電流の測定データから推測した3相電流の和は1/3ゼロ

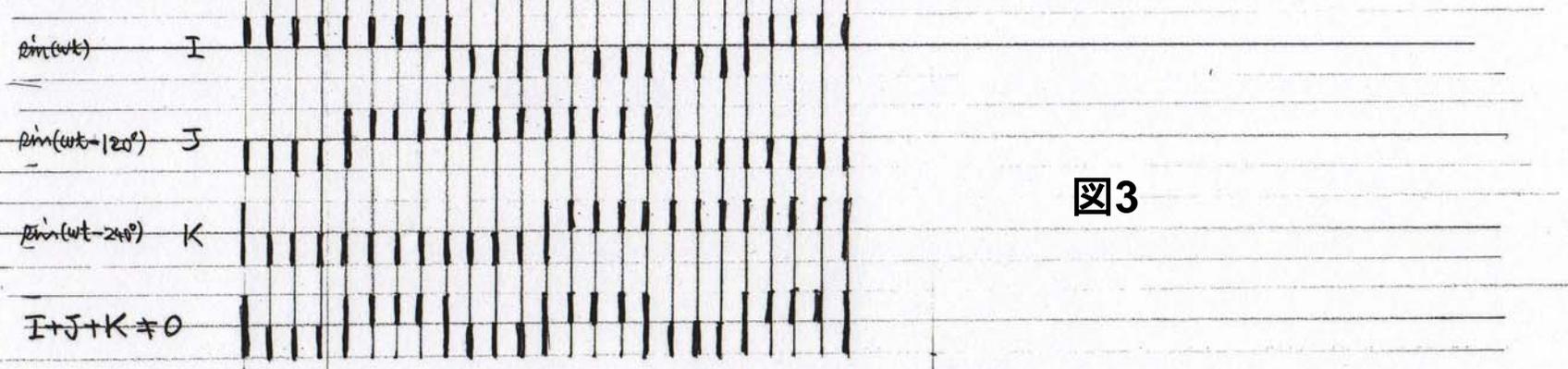
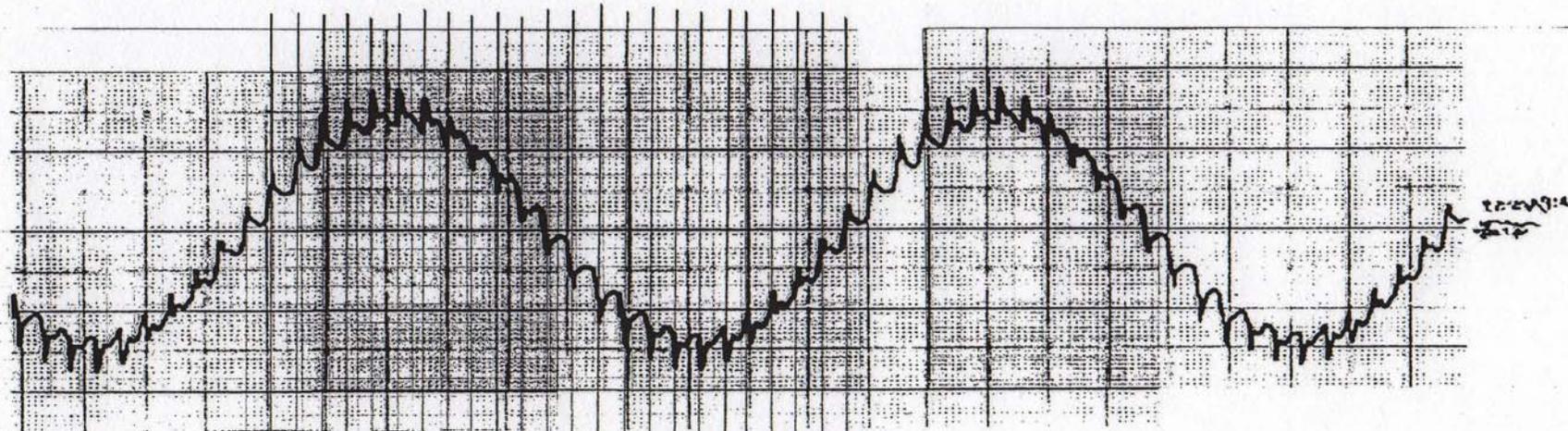


図3

B電源運転時の系統の1つの相間電圧の測定データから推測した3つの相間電圧の和はゼロ

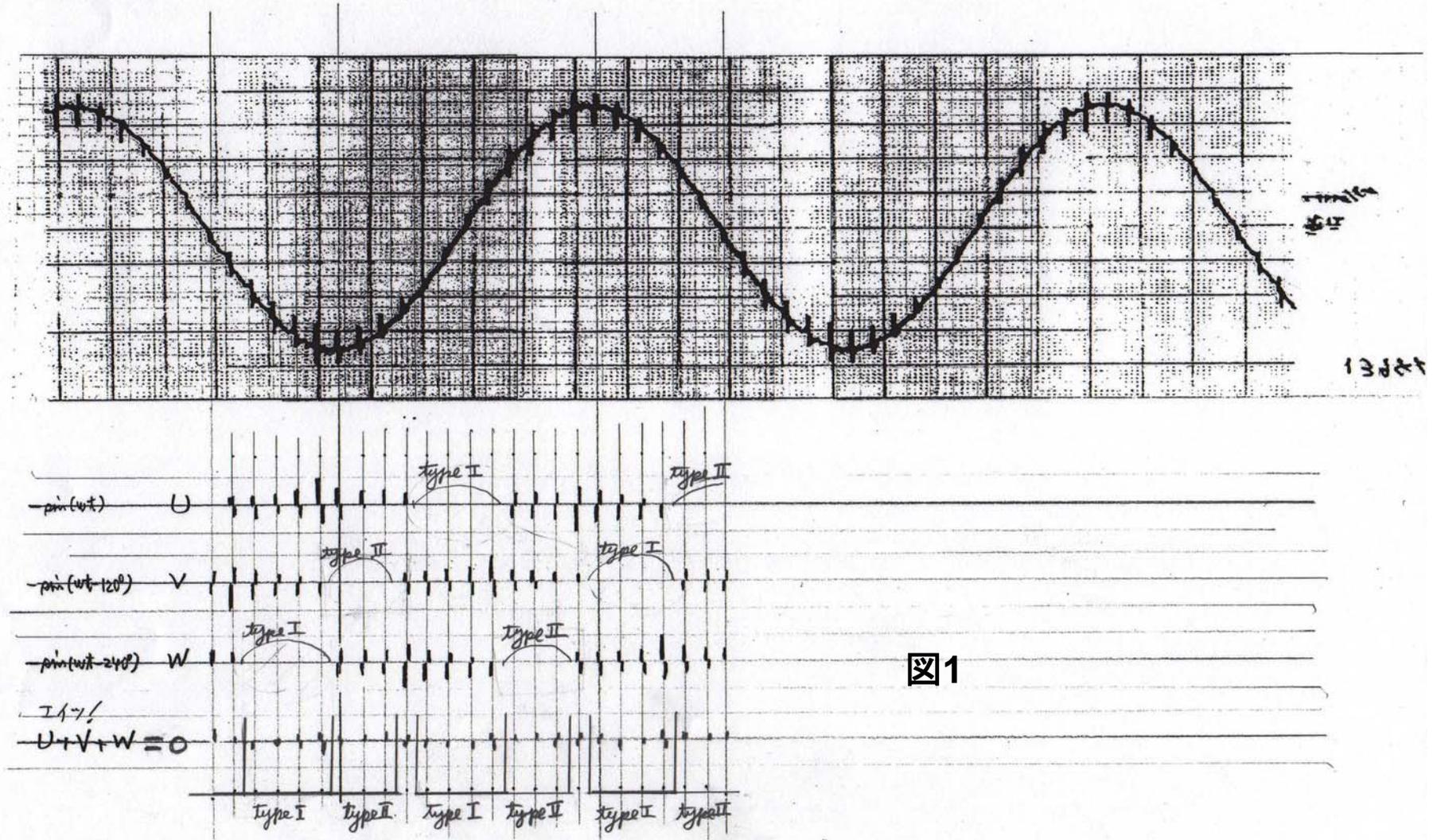


図1

B電源運転時の系統の1相を流れる電流の測定データからスパイク状の時間変化を差し引いた残りの変化から推測した3相電流の和はゼロ、 β が、1相の残りの電流の時間微分が相電圧のスパイクに類似

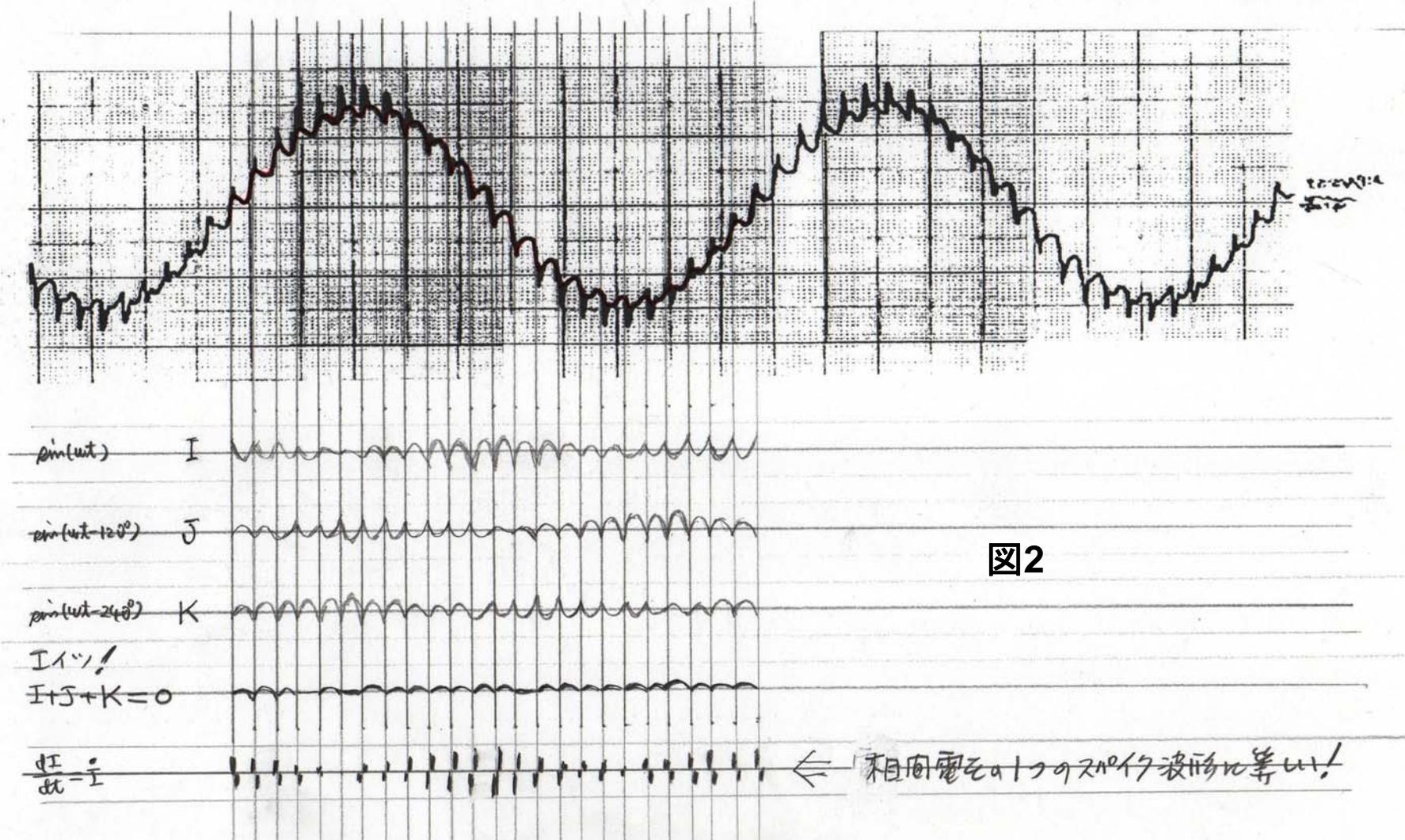


図2

フィルターの新方式の原理の背景となる事象・後半

ノーマル・モード・ノイズの挙動

- 直流系統: 2本の単線を流れる電流の和が相殺してゼロになるノイズ
- 交流系統: 1本の単線の電流では、相殺によりゼロになるノイズ
即ち、3相交流の3相電流の和、あるいは、2相交流の2相電流の和が相殺してゼロになるノイズ

コモン・モード・ノイズの挙動

- 直流系統: 2本の単線を流れる電流の和がノンゼロであるノイズ
- 交流系統: 1本の単線の電流では、ノンゼロであるノイズ
即ち、3相交流の3相電流の和、あるいは、2相交流の2相電流の和がノンゼロであるノイズ

コモン・モード・ノイズの行方

- 従来の電気装置では、コモン・モード・ノイズは、床や大地あるいは地面を流れている
- 今回提案の新方式では、コモン線を設けて、そこを流す

交直変換器で直流系統フィルターの既に確立された方式

交直変換器の確立された直流系統フィルター

- 2本の単線に対してコモン線を設け、それに対して、整流器、転流素子、あるいは、スイッチング素子を、上下対称あるいは上下擬対称に配置
- 負荷回路も、コモン線に対して、上下対称に配置
- ノーマル・モード・ノイズ及びコモン・モード・ノイズを抑制し低減出来る静的フィルターと動的フィルターを上下対称に配置

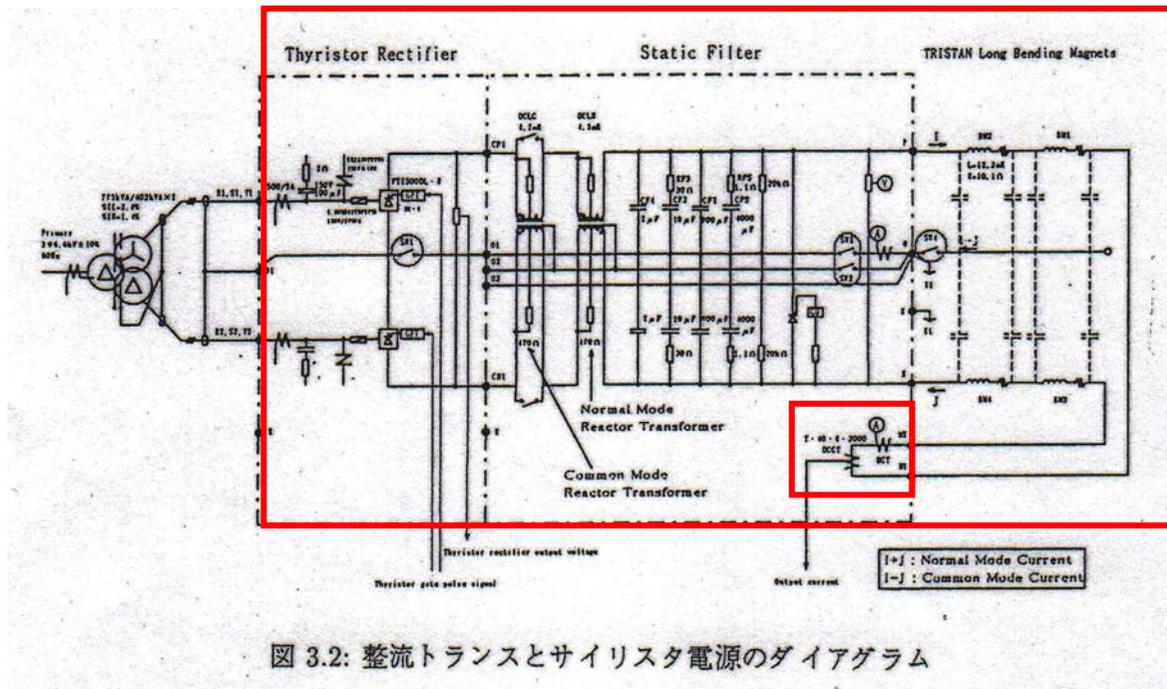


図 3.2: 整流トランスとサイリスタ電源のダイアグラム

直流系統フィルター、及び、負荷

注:

上の電流のみで負帰還制御して、電流を安定化しようとする、コモン・モード・ノイズが流れることになる。

交流系統フィルターの新方式の原理

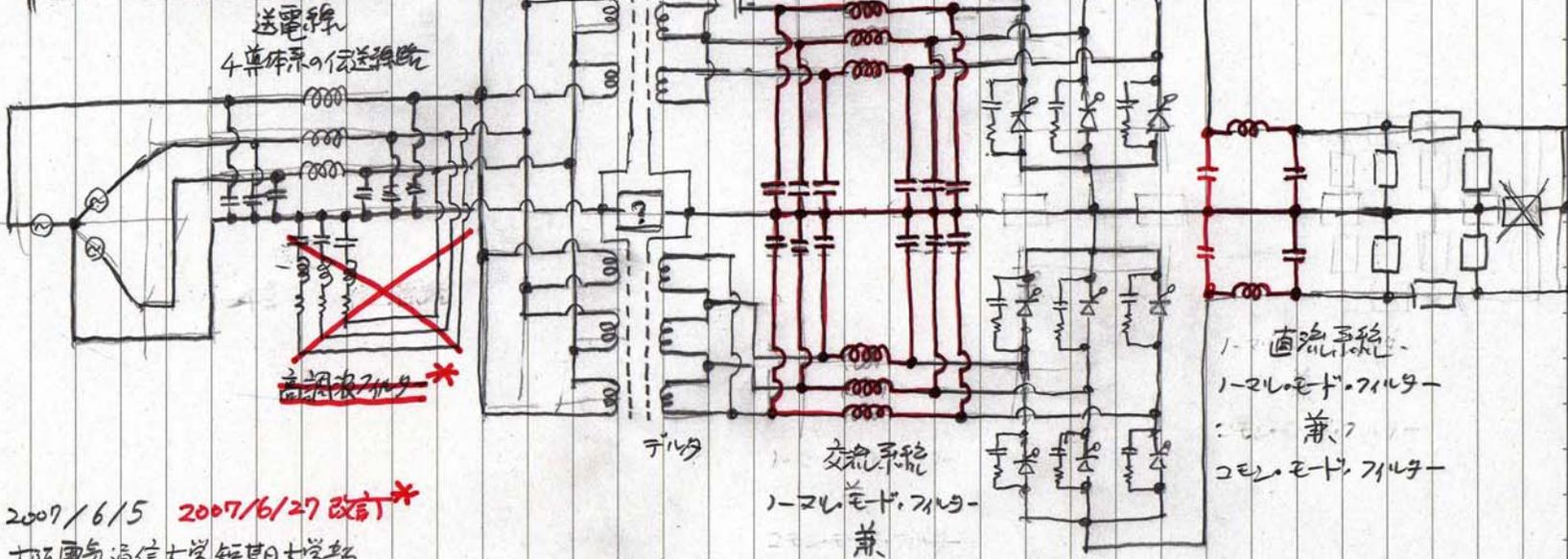
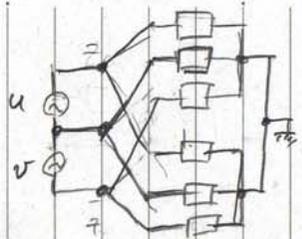
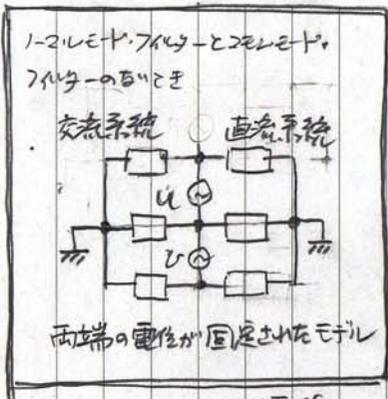
交直変換器の確立された直流系統フィルターの交流系統への拡張

交直変換器の新方式の交流系統フィルターの提案

- 少なくとも2本の単線、あるいは、偶数本の単線で交流系統を構成する
偶数本の単線は、直流系統フィルターの、上下対称あるいは上下擬対称な、整流器、転流素子、あるいは、スイッチング素子の配置と整合させ、上半分と下半分とに、偶数の半分の単線を設ける
- 偶数本の単線を流れるコモン・モード・ノイズの総和はノンゼロである
- 偶数本の単線に対する直流系統フィルターを交流系統に拡張
偶数本の単線に対して1本のコモン線を設け、ノーマル・モード・フィルターとコモン・モード・フィルターを、全ての相電流ごとに、上下対称に設ける

2本の単線の場合の適用例

- 2本の単線の場合、上半分と下半分のそれぞれに1本の単線を設ける
- 2本の単線の場合、3相交流では2組の3相電流、2相交流では2組の2相電流となる
- 2本の単線を流れるコモン・モード・ノイズの和はノンゼロである
- これらの相電流のそれぞれの全てに、ノーマル・モード・フィルターとコモン・モード・フィルターを設ける



2007/6/15 2007/6/27 改訂*

大阪電気通信大学短期大学部

佐藤健次

DATE

直交変換器、交直交変換器、直交直変換器への展開

交直変換器(交流・直流変換器)

- 使用例: 交流から直流を作るアダプター

直交変換器(直流・交流変換器)に交直変換器の設計を適用

- 交直変換器の直流系統を直流電源に置き換え、交直変換器の交流系統を交流出力に置き換える
- 使用例: 直流送電から60Hzの3相交流を作る

交直交変換器や直交直変換器への適用

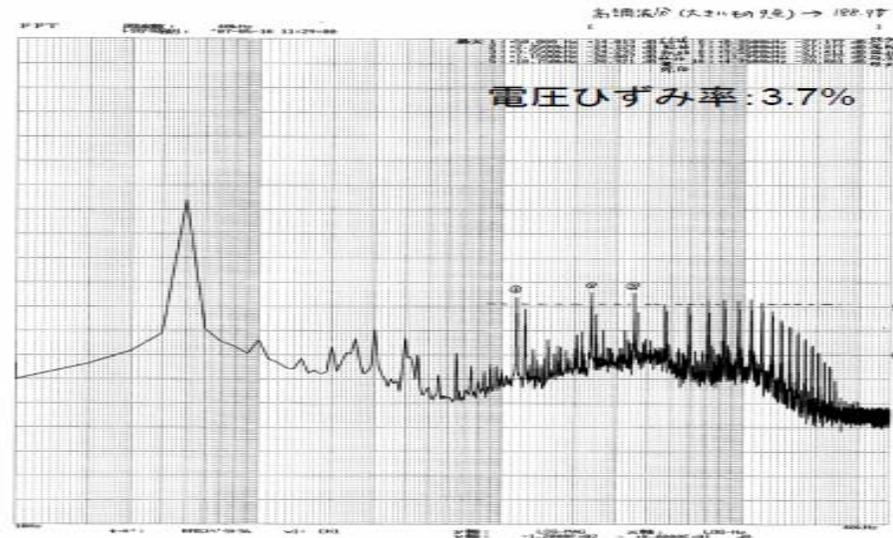
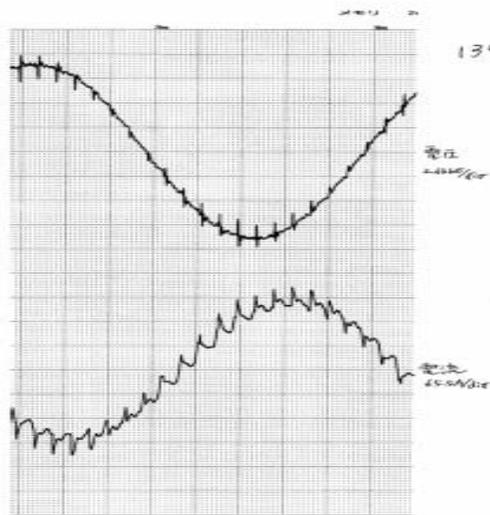
- 交直変換器と直交変換器を繋いで、交直交変換器とする
- 使用例: 交流から3相交流を作る
- 50Hzの3相交流を60Hzの3相交流に変換する
- 直交変換器と交直変換器を繋いで、直交直変換器とする
- 使用例: 5Vdcを10Vdcに変換する

上下対称な電気回路にするので、価格は2倍なのかな?!

土岐博さんのアイデア: 交流も直流もスペクトルが同じになる!?

交流例

B電源運転時の系統電圧



直流例

交流も直流も
同じスペクトルが
見えているのか?

