



Title	DSP制御による情報通信用アクティブフィルタに関する研究
Author(s)	押方, 哲也
Citation	(2007-03-20)
Issue Date	2007-03-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10069/7347">http://hdl.handle.net/10069/7347</a>
Right	

This document is downloaded at: 2020-10-24T06:50:07Z

# 第 1 章 緒論

## 1.1 アクティブフィルタ導入の背景

### 1.1.1 高調波とその規制

近年、高調波という言葉がよく聞かれるようになってきた。JIS によると高調波とは「周期的な複合波の各成分中、基本波以外のもの。第  $n$  次高調波とは、基本周波数の  $n$  倍の周波数をもつもの。」<sup>(1)</sup>と規定されている。本論文においては、電源ラインに流れる高調波について検討している。電源ラインとは、家庭における AC コンセントなど、一般的に商用電源と呼ばれるものである。例えば、商用電源の周波数が 50Hz の場合、その第 5 次高調波は 250Hz の成分を指す。

高調波発生の原因は、負荷の非線形性にある。<sup>(2)</sup>線形な負荷の代表といえ、白熱灯があげられる。線形な負荷の場合、入力電流は入力電圧と相似な正弦波となり、高調波成分は発生しない。

非線形負荷の例としては、コンデンサインプット型整流回路があげられる。コンデンサインプット型整流回路の電流波形は高調波を含んでいて、入力電圧波形を歪ませる要因となる。また、コンデンサインプット型整流回路の電流波形はパルス状であるため力率も悪い。

高調波電流が流れると、電源ラインのインピーダンスにより電圧降下が生じる。その結果、本来正弦波状であるべき商用電源電圧波形が、高調波を含んだ波形となってしまう。

この高調波を含んだ入力電圧波形により、同じ電源ラインにつながる他の機器が誤動作したり、配電設備の進相コンデンサの焼損につながる。また、力率が低いため皮相電力が大きくなる。そのため入力電流が多く流れ、電力設備の負担が増大する。

現在、IEC (International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議) により、一般低電圧配電系統に接続される機器 (入力電流 16A 以下) に対する限度値として、IEC61000-3-2 がある。情報通信機器は、ほぼこの規格を適用される。<sup>(3)</sup>

### 1.1.2 高調波対策回路

高調波対策回路としては、大きくは以下の2種類に分類できる。

#### (1) 受動回路

高調波電流が流れる電線に、チョークや抵抗を直列に挿入し、高調波電流を抑制する方法である。この方法は、回路としては非常に単純であるが、大きなチョークが必要であり、抵抗は電力容量の小さな装置にしか使用できない。また、抑制効果も小さい。

#### (2) 能動回路

これは、アクティブフィルタと呼ばれるもので、チョークや半導体を使用し、強制的に入力電流波形を入力電圧と相似な正弦波状にする回路のことである。入力電源線に並列に接続される並列型アクティブフィルタ<sup>(4)・(7)</sup>もあるが、本論文では、より部品点数が少ない直列型アクティブフィルタを採用している。アクティブフィルタの回路としては、次項で述べる昇圧チョッパ回路を採用している。

### 1.1.3 昇圧チョッパ回路

図 1.1 に昇圧チョッパの基本回路を示す。主スイッチ  $T_r$  がオンしている間、チョーク  $L$  にエネルギーが蓄えられ、主スイッチ  $T_r$  がオフしている期間にチョーク  $L$  のエネルギーは、ダイオード  $D$  を介して出力コンデンサ  $C$  に充電される。このとき、入力電圧  $V_{in}$  にチョークにかかる電圧が加算されるため、出力電圧  $V_o$  は入力電圧  $V_{in}$  より高くなる。入力電圧  $V_{in}$  と出力電圧  $V_o$  の関係は、主スイッチのデューティ比  $D_{ON}$  をとすると、以下の式で表される。<sup>(8)</sup>

$$V_o = \frac{1}{1-D_{ON}} V_{in} \quad (1.1)$$

従って、商用電源を全波整流した波形を入力電圧  $V_{in}$  とすれば、入力電圧  $V_{in}$  が低いときはデューティ比  $D_{ON}$  を大きく、入力電圧  $V_{in}$  が高いときはデューティ比  $D_{ON}$  を小さくすれば出力電圧  $V_o$  は一定に保たれる。このときチョーク  $L$  を流れる電流  $i_L$  を入力電圧  $V_{in}$  と相似になるように制御してやれば、

入力電流が正弦波状になり、高調波の少ないアクティブフィルタが実現される。

## 1.2 デジタル制御導入の背景

### 1.2.1 デジタル制御の必要性

我々の生活のほとんどの場面で、デジタル化された製品を目にする。しかし、電源装置の制御に関していえば、そのほとんどは未だにアナログ制御が主流である。その理由としては、アナログ制御は専用の制御 IC が多く発売されていて、価格が安いことがあげられる。最近ではインバータにデジタル制御を用いた報告<sup>(9)・(12)</sup>は増えてきているが、アクティブフィルタにデジタル制御を適用した例はあまりない。

アクティブフィルタにデジタル制御を適用するメリットは、

- ①制御定数が数値として与えられるため、経年変化がない。
- ②制御定数のばらつきがないため、調整箇所数を減らせる。
- ③制御性が向上し、負荷変動等に強い電源を設計できる。
- ④運転開始・停止などの指令をデジタル通信回路で行った場合、相性がよい。

などがあげられる。

### 1.2.2 DSP について

DSP (Digital Signal Processor) は、デジタル IC の一種であるが、通常の CPU と比べて以下の特徴を持つ。<sup>(13)</sup>

- ①ハーバードアーキテクチャを採用しているため、処理速度が速い。
- ②掛算器を内蔵しているため、数値演算が速い。

また 1990 年代には DSP は非常に高価な物であったが、2000 年代に入り、急激に価格が下がってきている。さらに、AD コンバータや PWM (Pulse Width Modulation) 出力を内蔵したメカトロ用 DSP もラインナップがそろってきていて、電源装置の制御に適した物が入手可能となってきた。

メカトロ用 DSP の例として、図 1.2 に、テキサスインスツルメンツ社 TMS320LF/LC240x シリーズのロードマップを示す。<sup>(14)</sup>

### 1.3 本研究の目的と意義

最近、問題視されるようになってきた高調波電流障害の有効な対策としてアクティブフィルタがある。実際に一部の情報通信用電源にアクティブフィルタは導入されつつあるが、その制御はアナログ制御であり、その制御性は満足のいくレベルとは言えない。そこで本研究においては、アクティブフィルタの DSP によるデジタル制御化を検討、開発し、有効な提案を行うことを目的とする。また、アクティブフィルタに適した部分共振回路も提案する。

今後のさらなる情報通信分野の発展を考えると、その根幹をなす電源システムにはさらなる高性能化、高信頼性が求められていく。本研究では、アクティブフィルタのデジタル制御の有効性を示したが、その開発内容は、今後、情報通信分野のみならず、様々な産業分野に適用可能であり、ひいては社会生活の発展にも寄与できるものと考えている。

### 1.4 本研究の概要

近年、高調波という言葉がよく聞かれるようになってきた。これは、近年の情報通信システムの大容量化に伴い、高調波障害が問題となってきているからである。また、高調波電流が多くなると力率の低下につながり、配電設備の使用率が低くなってしまふ。そのため、特に通信用電源には、高調波対策の要求が増加してきている。また、電源の制御性向上の観点からデジタル制御の必要性も高まってきている。本論文では、高調波対策の有効な手段であるアクティブフィルタを DSP を使用し、デジタル制御を適用することを検討、開発し、情報通信分野に適した装置を提案する。また、アクティブフィルタに適した部分共振回路も提案する。

第 1 章では、高調波対策とデジタル制御の必要性について触れ、昇圧チョッパによる高調波対策回路とそのデジタル制御の必要性について明らかにする。

第 2 章では、単相部分共振形アクティブフィルタを提案し、DSP を用いたデジタル制御の制御性を理論的に明らかにする。本アクティブフィルタ

は、新しい部分共振回路を採用し、高効率低ノイズも実現している。また、静特性および動特性について実験的考察を行い、デジタル制御回路の制御パラメータと出力電圧安定化特性、入力力率、交流入力電流の歪率、系の安定限界および過渡応答との関係について明らかにする。本回路は実験により、高効率、高力率、低 THD などを確認した。

第 3 章では、第 2 章で使用した部分共振回路について、詳しい解析を行う。回路中のスイッチの状態などから、共振回路の動作を 3 つの期間に区切り解析を行う。提案している部分共振回路は、主スイッチが電圧共振スイッチング(ZVS)で動作するだけでなく、共振スイッチも電流共振スイッチング(ZCS)で動作するため、高効率低ノイズを実現している。この共振回路は単相入力回路だけでなく、三相入力回路にも使用可能である。さらに解析結果をもとに、この共振回路の設計方法を示す。

第 4 章では、三相部分共振形アクティブフィルタについて述べる。近年の情報通信システムの大容量化に伴い、より容易に大出力を取り出せる、三相入力への要求が高まっている。本章では、まず三相アクティブフィルタのオン幅解析を行う。その結果、三相アクティブフィルタの各主スイッチのオン幅は、入力チョークなどの値に依存せず、入出力電圧の簡単な関数になることを示す。また、部分共振動作後の各主スイッチのシーケンスを検討し、三相アクティブフィルタに要求されるシーケンスを明らかにする。これらの検討結果をもとに三相入力電圧 200V、出力電圧 350V、出力電流 7.1A の三相部分共振形アクティブフィルタをデジタル制御化し、実験によりアナログ制御と性能比較を行う。その結果、力率や THD、高調波はほとんど差がみられなかった。しかし、動的負荷変動では、アナログ制御では出力電圧に振動が発生し、その電圧変化幅も 40V であった。一方デジタル制御では出力電圧に振動はみられず、電圧変化幅も 10V と、アナログ制御時の 1/4 であった。さらに、静的負荷変動では、アナログ制御が 10V 有るのに対し、デジタル制御では実質的に 0V であり、提案しているデジタル制御がアクティブフィルタの特性向上に寄与していることを示した。動的および静的に出力電圧の変動が小さいことは、アクティブフィルタの後段に接続される DC/DC コンバータの設計自由度が増し、システム全体の高効率化につながる。また、アナログ制御ではボリュームによる調整箇所が 3 カ所あったが、デジタル制御では調整不要となった。こ

れは、デジタル制御では、アナログ制御の部品定数ばらつきに相当するものが無いためである。

第5章では、本研究報告の内容をまとめ、本研究の将来性と解決すべき課題について記述している。

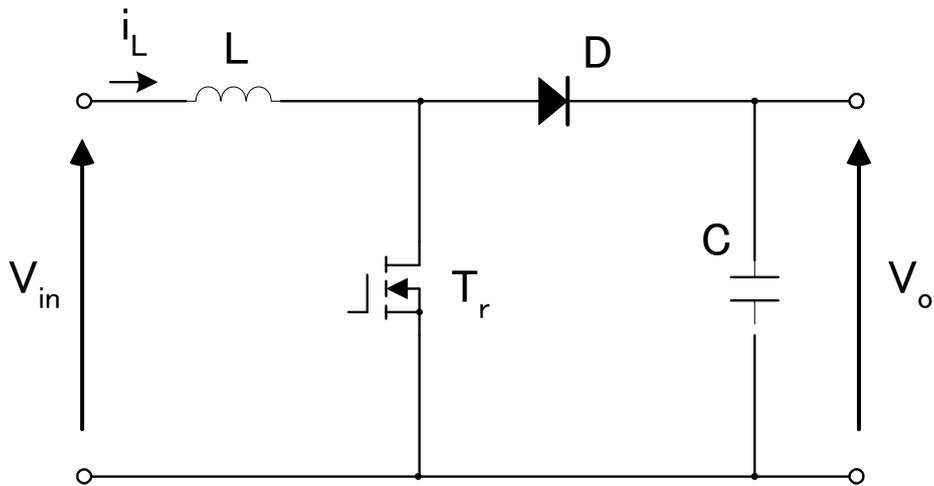


図 1.1 昇圧チョッパの基本回路

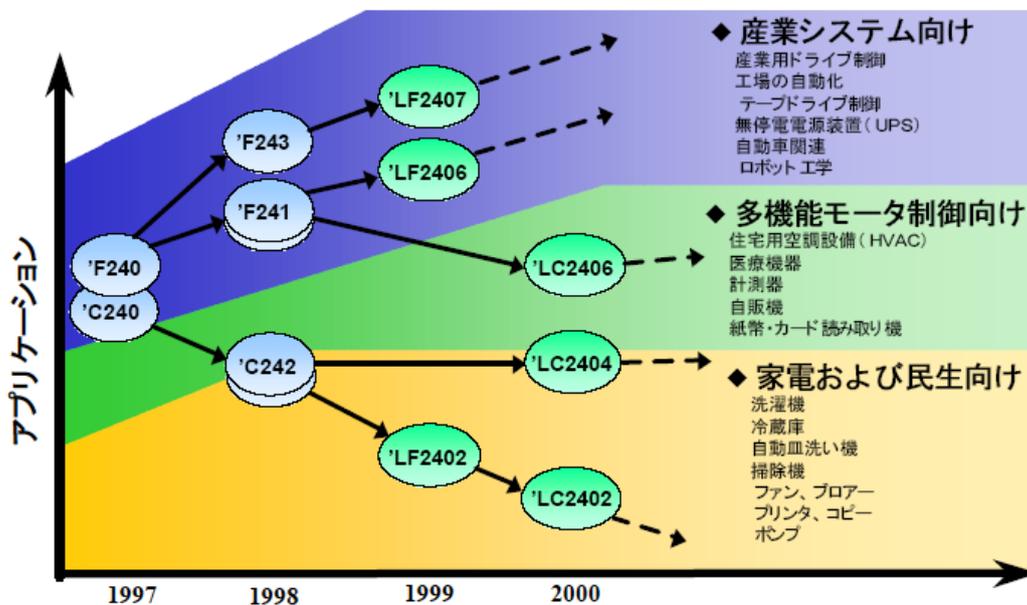


図 1.2 TMS320LF/LC240x シリーズのロードマップ