

# 上下水道電気設備の高調波抑制技術

小林憲徳\*, 加藤正樹\*\*

\* 富士電機(株) 公共システム事業部 関西技術部  
大阪市福島区鷺州1丁目11番19号

\*\* 富士電機(株) 神戸工場 制御設計部 制御装置設計課  
神戸市西区高塚台4丁目1番地の1

## 概要

半導体電力変換装置の普及に伴い、装置が発生する高調波電流による設備・電力系統における障害が増大しており、高調波抑制対策が重要な課題となっている。このような背景から、「高圧または特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」が通産省より通達され、需要家の自主的な高調波抑制対策が求められている。

本稿では、最近の高調波抑制技術について上下水道設備での実施例を交えて紹介し、高調波抑制技術を設備に適用するための設計支援システムを紹介する。

## キーワード

高調波, VVVF, セルビウス, PWM コンバータ, アクティブフィルタ

## 1.はじめに

パワーエレクトロニクスの発達に伴い、上下水道電気設備においても省エネルギーと最適な給水圧制御および流量制御を目的とした VVVF 装置や、商用電源停電時にじょう乱を受けずに給電を継続させるための UPS 装置などの半導体電力変換装置の導入が増加している。

しかしながら、これらの装置が発生する高調波電流は、コンデンサ設備や発電機の故障原因となる場合や、浄水場・下水処理場の運転機能に支障をきたす場合がある。また、他の需要家にも高調波障害を与える可能性があるため、平成6年9月に通産省資源エネルギー庁公益事業部長通達として「高圧または特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」が公布され、翌平成7年10月には日本電気協会よりガイドラインを補足する技術的指針として「高調波抑制対策技術指針」が発刊され、高調波抑制対策の重要度が高まっている。

そこで本稿では、上下水道電気設備における最近の高調波抑制技術を紹介し、さらに、ガイドラインに適合した高調波抑制技術を設備に適用するための設計支援システムを紹介する。

## 2.最近の高調波抑制技術

### 2.1 可変速装置の高調波発生量低減技術

上下水道施設で使用されている誘導電動機の高調波抑制技術には、二次抵抗制御、一次電圧周波数制御(VVVF: Variable Voltage Variable Frequency)、二次励磁制御(セルビウス)がある。このうち、VVVF とセルビウスは半導体電力変換装置であり、低価格化により導入が進んでいるが、電力系統に対しては高調波電流の発生源

表1. 可変速制御装置の特性

項目	VVVF		セルビウス	
	従来型 VVVF	高調波レス VVVF	従来型 セルビウス	高調波レス セルビウス
適用容量 (kW)	0.2~900	0.2~900	100~5,000	100~5,000
総合効率 (%)	70~80	75~85	80~90	80~90
制御範囲 (%)	10~100	10~100	60~100	60~100
力率(%)	80	約100	60	約100
高調波対策	要	不要	要	不要

となる。

しかし、最近の半導体(特に IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor)の発達で PWM(Pulse Width Modulation)制御の適用が可能となり、PWM コンバータを有する高調波レス VVVF や PWM インバータ方式セルビウスが開発された。これらの装置は表 1 に示すように、高調波電流発生量の低減と力率改善を同時に対策した装置となっている。以下に最近の VVVF とセルビウス装置の特徴を紹介する。

(1) PWM コンバータ付高調波レス VVVF

図 1 に PWM コンバータ方式 VVVF システムを示す。このシステムは、入力回路を従来のダイオード整流器の代わりに自己消弧形デバイスである IGBT でブリッジ回路を構成し、PWM 制御を行うことで入力電流波形を図 2 に示すような、ほぼ力率 1 の正弦波電流に制御できるものである。表 2 に従来型 VVVF と高調波レス VVVF の入力電流高調波成分の比較を示す。

本システムは、従来の VVVF に比べ高調波電流発生量がきわめて少ないため、高調波抑制対策ガイドラインにおいても「高調波発生がない装置」として扱われ、適用が増加している。

図 1. PWM コンバータ付高調波レス VVVF システム

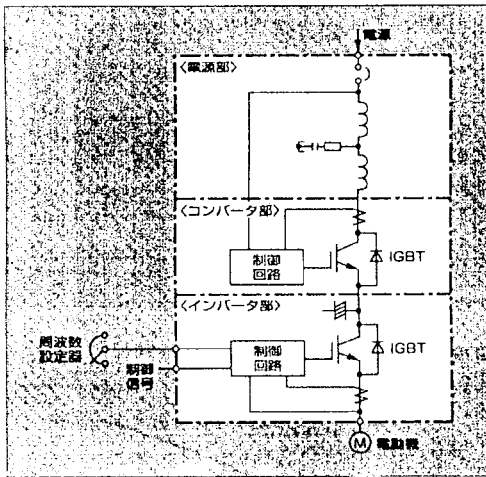


図 2. PWM コンバータの入力電圧・電流波形

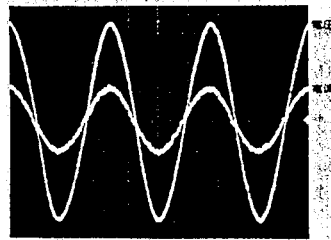


表 2. VVVF 入力電流の高調波成分(実測例)

回路方式	従来型 VVVF (ダイオード整流器)	高調波レス VVVF (PWM コンバータ)
基本波	100.0%	100.0%
5 次調波	28.5%	2.0%
7 次調波	14.0%	1.4%
11 次調波	7.9%	0.8%
13 次調波	5.9%	0.9%

(2)高調波レス PWM セルビウス

図 3 に PWM インバータ方式によるセルビウスシステムを示す。回生インバータ部に、従来のサイリスタインバータの代わりに IGBT による PWM インバータを用いることで、回生電流の高調波成分を低減するとともに、力率をほぼ 1 に制御することができる。図 4 に PWM セルビウスの回生電流波形、表 3 に回生電流波形高調波成分分析結果を示す。

図 3. PWM インバータ方式セルビウスシステム

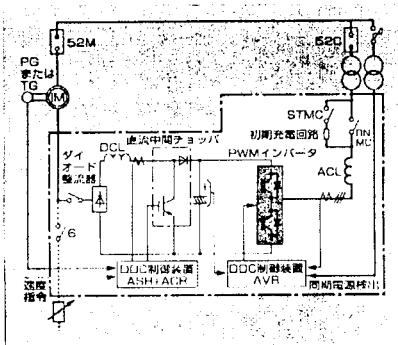


図 4. PWM セルビウスの回生電流波形

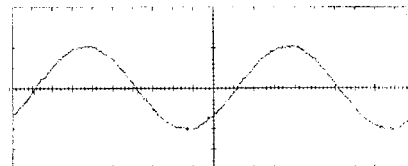


表 3. 回生電流高調波成分(実測例)

	含有率
基本波	100.0%
5 次調波	0.3%
7 次調波	1.0%
11 次調波	0.8%
13 次調波	0.2%

## 2.2 アクティブフィルタによる高調波抑制技術

### (1) アクティブフィルタについて

アクティブフィルタは図5に示す通り、負荷の発生した高調波を検出し、その高調波電流位相と逆位相の高調波電流をアクティブフィルタから発生させることで、両者の相殺により設備内の高調波電流を低減するものであり、すでに多くの運転実績を持っている。

既設の上下水道施設で使用されている VVVF 装置・UPS に対して高調波対策が必要な場合、最新の高調波レス VVVF・UPS に置き換えることは、運用面や経済面でデメリットが多い。また、新設機場においては、高調波流出電流がガイドライン上限値をわずかに超える程度の場合がある。この時、低減すべき高調波容量分のアクティブフィルタを設置することで、所望の高調波抑制対策が行うことができる。

表4にアクティブフィルタの仕様を示す。

図5. アクティブフィルタシステム

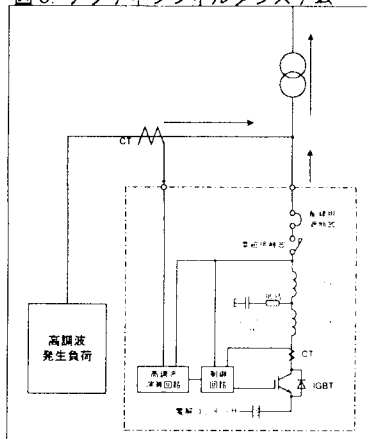


表4. アクティブフィルタの装置仕様

項目	制御方式	
	ACT-Mini	FUJIACT
定格補償容量	10~50kVA	50~400kVA
定格電圧	400/440V±10%	200/220V±10%
定格周波数	50/60Hz±3%	
相数	三相3線式	
補償高調波次数	2~13次	2~25次
高調波補償率	5.7次: 90%	80%以上
設置場所	屋内・屋外設置型	屋内

### (2) 導入例

ここでは、既設上水道電気設備にアクティブフィルタを追加することで高調波対策を実施した例を紹介する。

図6はアクティブフィルタを導入した設備の単線結線図である。配水ポンプ(VVVF55kVA×2台)と無停電電源装置(CVCF9kVA×1台)が発生する高調波電流の合計は、5次調波1060mA、7次調波150mAであったが、アクティブフィルタの導入により5次調波180mA、7次調波50mAに低減されている。図7に受電点電流波形測定結果を示す。

図6. アクティブフィルタ適用設備の単線結線図

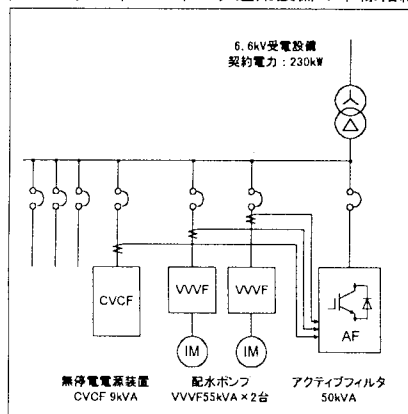
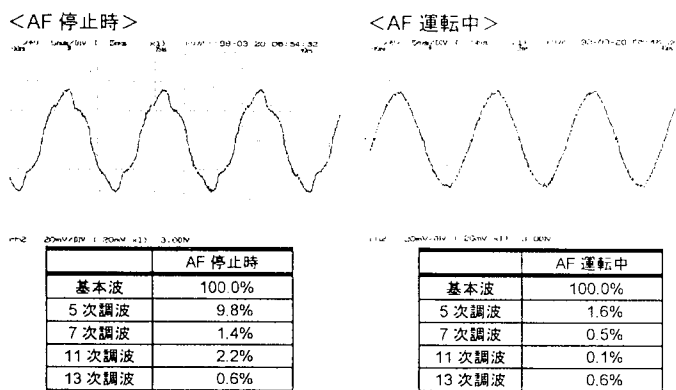


図7. 受電点電流波形測定結果



### 3.設計支援システム Fuji Guide 97

#### 3.1 開発の背景

高調波抑制対策ガイドラインの通達に伴い、高圧または特別高圧で受電する需要家は受電契約の際に、[高調波発生機器の明細]ならびに受電点から系統に流出する[高調波流出電流計算書]を電力会社に提出する必要がある。しかし、計算書の作成は専門的知識を必要とするうえ、手計算で行うには作業量は煩雑かつ膨大である。

そこで、計算書の作成と高調波抑制対策検討を支援するシステムとして "Fuji Guide 97" を開発し、上下水道のみならず幅広い電気設備計画に活用している。

#### 3.2 Fuji Guide 97

図8にFuji Guide 97の画面イメージ、表5にFuji Guide 97の基本仕様を示す。

高調波電流計算書の作成と高調波抑制対策検討の支援を目的とする本システムは、煩雑な作業を低減するために以下のような特長がある。

##### ①単線結線図による計算管理

高調波計算の対象設備について、単線結線図を描画することで設備データの入力が行えるので、進相コンデンサ設置場所の高圧・低圧の別や変圧器インピーダンスによる高調波電流分算計算の違いなどを求めることができる。

また、単線結線図と高調波電流計算結果に基づいた母線電圧歪み率の計算も行う事ができる。

##### ②多様な抑制対策計算

高調波抑制対策の検討において、VVVFのリアクトル変更・PWMコンバータの適用・12相変圧器効果・低圧側進相コンデンサの適用・アクティブフィルタの適用・LCフィルタの適用など、多様な抑制対策について計算することができる。

##### ③豊富な出力様式

検討結果のアウトプットとして、高調波流出電流計算書のみならず、高調波分算計算内容など豊富な出力様式を準備している。

図8. Fuji Guide 97 画面イメージ

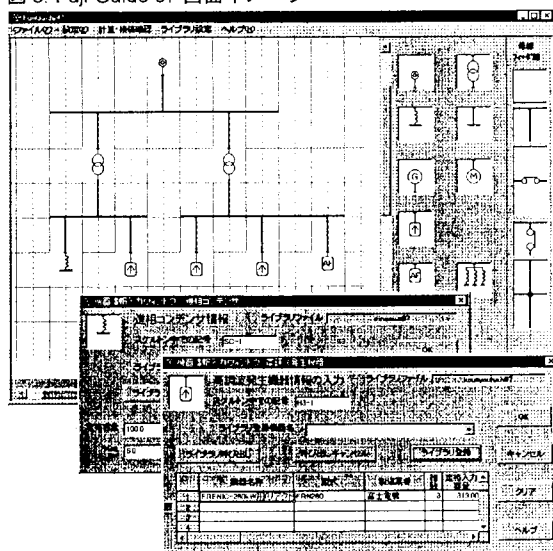


表5. Fuji Guide 97 基本仕様

項目	主な内容
OS	Microsoft Windows 95
必要ディスク容量	約 4M バイト
主な機能	単線結線図作成、高調波流出電流計算 アクティブフィルタ推薦容量計算(3種類) 進相コンデンサ用直流リアクトル高調波耐量警告 発電機高調波耐量警告
計算原理	高調波抑制対策技術指針に準拠
出力様式	高調波流出電流計算書(その1)、(その2) スケルトン図 入力データ一覧 機器インピーダンス一覧表 機器電流源一覧表 インピーダンス機器に流れる高調波電流一覧表 母線高調波電圧一覧表(ひずみ率) 流出電流詳細計算書(導出過程の計算書) 12相変圧器計算書 アクティブフィルタ計算書

### 3.3 Fuji Guide 97 を用いた高調波流出電流の計算例

以下に、Fuji Guide 97 による特別高圧受電設備の高調波電流計算例を示す。この例では、77kV 受電、契約電力 16400kW の設備における設備データと計算結果の一部を示している。

高調波発生機器が発生する高調波電流(計算書その1での高調波流出電流)は5次・7次成分においてガイドライン上限値を超過しているが、進相コンデンサへの分流による系統流出高調波電流低減効果を考慮することですべての高調波電流がガイドライン上限値以下となる結果が、本システムを用いることにより容易に得られる。

#### (1)対象設備の入力データ(一部)

##### <受電点データ>

検討名義	業種	受電電圧 [kV]	契約電力 [kW]	系統%R [%]	系統%XL [%]
某浄水場	上水場	77.0	16400	0.0	0.3

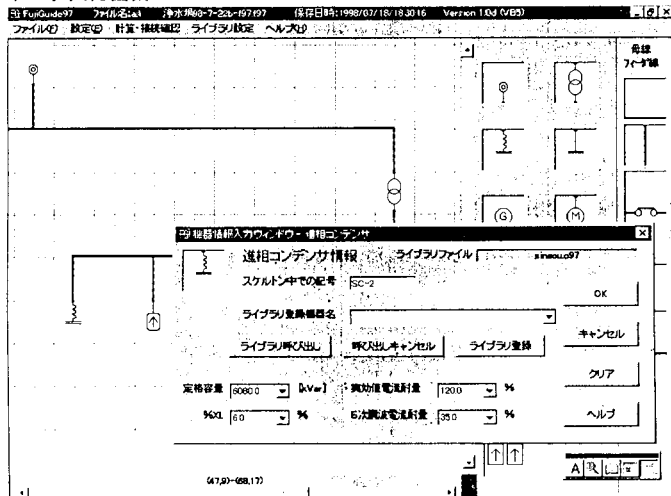
##### <高調波発生機器データ>

No.	高調波発生機器名称	製造業者	相数	入力容量 [kVA]	台数	稼働率 [%]	回路種別
1	CVCF1		3	78.80	1	100	11
2	交流電力調整器 1		3	70.00	1	100	11
3	交流電力調整器 2		3	247.00	1	100	11
4	交流電力調整器 3		3	314.00	1	100	11
5	CVCF2		3	8.30	1	100	11
6	CVCF3		3	80.00	1	100	12
7	DC1		3	22.20	1	100	11
8	CVCF4		3	24.00	1	100	12
9	DC2		3	24.90	1	100	11
10	VVVF1		3	6.77	6	100	31
11	配水ポンプ 1		3	575.00	4	95	11
12	配水ポンプ 2		3	450.00	2	94	11
13	配水ポンプ 3		3	700.00	5	92	11
14	CVCF5		3	102.00	1	100	12
15	DC3		3	15.60	1	100	11
16	DC4		3	20.00	1	100	11
17	VVVF2		3	6.77	6	100	31
18	VVVF3		3	6.77	3	100	31
19	CVCF6		3	81.50	1	100	12
20	DC5		3	41.80	1	100	11

##### <進相コンデンサデータ>

No.	定格容量 [kVar]	%XL [%]	実効値電流耐量 [%]	5次調波電流耐量 [%]
SC1	7460.00	6.00	120.00	35.00
SC2	6080.00	6.00	120.00	35.00

##### <データ入力画面>



## (2) 計算結果(一部)

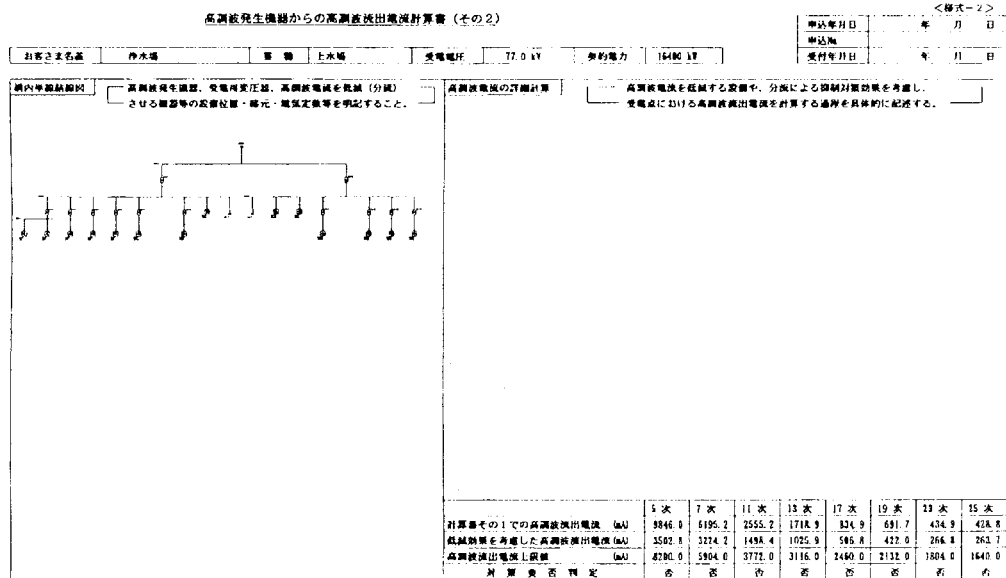
## &lt;系統流出高調波電流&gt;

計算結果	5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次
計算書(その1)での高調波流出電流(mA)	9845.98	6195.22	2555.20	1718.95	834.88	691.69	434.88	428.78
低減効果を考慮した高調波流出電流(mA)	3502.83	3224.20	1498.36	1025.92	506.84	421.96	266.83	263.71
高調波流出電流上限値(mA)	8200.00	5904.00	3772.00	3116.00	2460.00	2132.00	1804.00	1640.00
対策要否判定	否	否	否	否	否	否	否	否

## &lt;進相コンデンサ高調波耐量判定&gt;

No.	定格電流 [mA]	実効値電流計算値 [mA]	実効値耐量 [%]	実効値 判定	5次調波電流計算値 [mA]	5次調波耐量 [%]	5次調波 判定
SC1	55935.49	56219.60	120.00	可	2927.80	35.00	可
SC2	45588.18	46028.32	120.00	可	3415.35	35.00	可

## &lt;高調波流出電流計算書出力イメージ図&gt;



## 4. おわりに

上下水道電気設備は、半導体電力変換装置を多く適用しているため、高調波抑制対策は重要な課題である。高調波抑制対策ガイドラインの通達や高調波抑制対策技術指針の発刊により、高調波抑制対策の重要度が高まっていくと考えられることから、本稿が高調波抑制対策の参考になれば幸いである。

## 5. 参考文献

- 川畑志農夫: 汎用インバータの発生する高調波とその抑制対策, 富士時報, Vol.69, No.12(1996)
- 吉田雅和, 他: 大容量電力変換器, 富士時報, Vol.70, No.12(1997)
- 竹原廣人, 他: 水処理施設における省エネルギー技術, 富士時報, Vol.71, No.6(1998)