

京橋受電所における高調波とその対策

神戸管理部 施設保全課
同 部 同 課

中 谷 邦 則
庄 直 之

要 約

近年、半導体応用技術が著しく進歩し、これに伴い各種半導体応用機器が各分野で広範囲に普及しており、装置の性能、保守性等の面で飛躍的に向上しているが、一方では、サイリスタやトランジスタ等の半導体素子のスイッチング動作により発生する電気の公害ともいえる高調波や電圧変動等の影響を考え、電子機器の誤動作を誘引している。

以上の問題を解決すべく、京橋受電設備において導入する高調波補償装置（アクティブフィルタ）について述べるものである。

キーワード：高調波、電子機器、受電所、高調波対策

まえがき

最近のビルには、無停電電源装置（CVCF）や汎用インバータ装置等の半導体応用機器が多く用いられている。これらの半導体応用機器の普及に伴い、電源系統における高調波の増加や力率の低下等の問題がクローズアップされてきている。

この度、京橋管理施設受電設備の新設にあたりこれらの問題の発生が予想され、その対策としてアクティブフィルタを導入した。

1 高調波発生源と発生原理

一般に正弦波の商用電圧を印可した場合に、歪波電流が流れる負荷設備は高調波の発生源となる。

高調波の発生源となる負荷設備の代表例表1.1に示す。

経験上、実際の配電系統で問題となるのはほとんど比較的大容量の半導体の応用機器であるが、

その他に配電系統に潜在する高調波歪みの主要原因として、テレビ等の家電機器による高調波が近年問題視されてきている。

表1.1 高調波電流の発生源

発生源因別	装置別	主な使用場所
半導体応用機器	高周波誘導装置	鉄工・鋳造所
	直流モータ電源装置	リフト・コンテナクレーン
	VVVF電源装置	揚水場
	CVCF電源装置	銀行・事務所・工場
	インバータ電源装置	一般工場
	電鉄用整流器	電気鉄道変電所
	化学用整流器	精錬・メッキ工場
変圧器	OA・家電機器	事務所・家庭TVなど
	柱上変圧器	配電線路
	産業用変圧器	工場・変電所
蛍光灯・磁気増幅器等の機器	蛍光灯	工場・事務所・家庭
アーク炉等の電気炉	-	製鉄所・製鋼所
回転機	高周波誘導電源機	工場など

高調波の発生原理について、エレベータ等に一般に使用されている汎用インバータ装置を例に説明する。

汎用インバータの主回路構成は図1.1に示されるように、ダイオード整流器によるコンバータ部とトランジスタ等のスイッチング素子により構成されモータ等の負荷に接続されるインバータ部から成る。

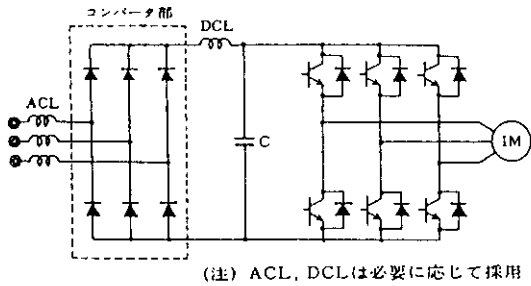


図1.1 汎用インバータの主回路構成

商用周波数出力時の一次側電流波形は6パルス波形であり、図1.2に示されるように明らかに正弦波とは著しく異なった波形となっている。

その一次側電流の周波数分析を行うと、図1.3に示すように基本波以外の高い周波数成分つまり高調波成分が含まれており、これが波形歪みの原因となっていることがわかる。

また、図1.4に示すように電流の高調波成分が原因となり、電源電圧にも波形歪みが発生している。

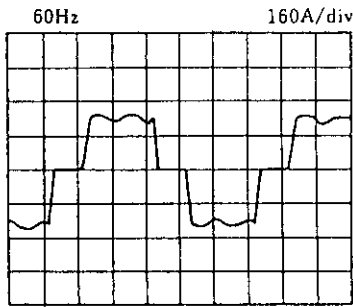


図1.2 汎用インバータの入力電流波形

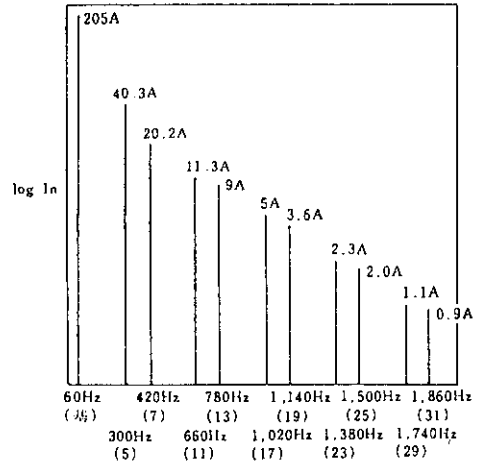


図1.3 インバータ電流周波数スペクトル

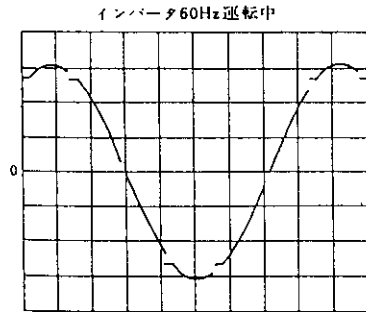


図1.4 汎用インバータによる電圧波形歪み

2 高調波の各種機器への影響

高調波電流は種々の機器に悪影響与えるが、その影響パターンは大きく分けて次の4種類に大別される。

①コンデンサ設備への影響

過大な高調波電流の流入によるコンデンサ・リアクトルの加熱・騒音の発生。

②変圧器や発電機などの電気機器への影響

電源の高調波電圧歪率が大きくなることによる機器の損失増加に伴う加熱・騒音の増大。

③位相制御機器の誤動作

電源波形歪みによる同期点の誤検出など。

④通信線への誘導障害

電話回線やデータ通信線への誘導による雑音や画像の乱れ。

3 高調波の規制値

電気協同研究第46巻第2号は、前項に述べたような高調波による各種機器への影響が顕在化してきたことを受け、電力系統の高調波レベルを一定以下に維持し、電圧歪みによる機器への障害を防止するための抑制目標レベルを設定するものであり、例えば6.6kV配電系統における抑制目標値は表3.1に示す値としている。

これを受けて、電力会社においても特定の需要家に対して高調波の測定を実施し、抑制目標値を越えるような場合においては設備改善を促すなどの指導を行っている。

表3.1 高調波電流抑制目標値

(6.6kVベース:契約電力kWあたり)

次数 n [次]	5	7	11	13	17	19	23	25
高調波電流 [mA]	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.7

(電気協同研究第46巻第2号「電力系統における高調波とその対策」による)

- ・6.6kV受電時 総合電圧歪率 5%以下
- ・自家発電運転時 総合電圧歪率 8%以下
- 等価逆相電流比 15%以下

4 高調波対策とその原理

高調波対策は、次のように大別できる。

- ①発生機器側での対策
- ②電源側での対策
- ③被害機器側での対策
- ④高調波フィルタ設備での対策

4-1 発生機器側での対策

高調波の発生量を低減させる方法として、変圧器の多重化にらる変換器の多パルス化や、交流リ

アクトルを挿入する方法、高速のスイッチング素子を用いてPWM制御することにより入力電流の歪みを低減する方法等がある。

例えば、図4.1に示す12パルス変換器においては6パルス波形が位相推移されて重ね合わされるため、第5次と第7次、第17次と第19次といった機器への影響を主原因となる低次高調波電流が打ち消され、電源側には流出しない。

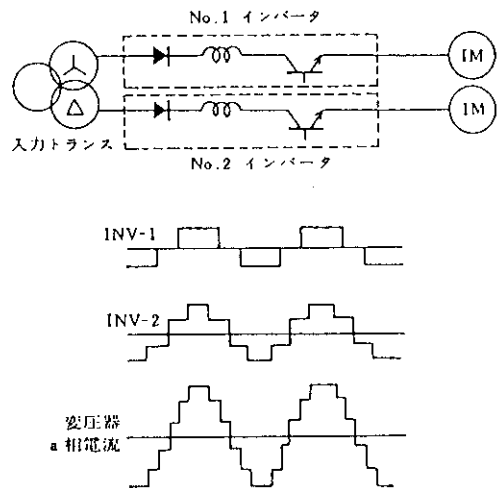


図4.1 12パルス変換器電流波形

4-2 電流側での対策

電源側における対策としては、線路インピーダンスを低減させ、受電用変圧器の容量を大きくすることにより高調波発生機器設置点の短絡容量を上げる方法や、専用線にて電源を供給する方法などがある。

しかしながら、電源インピーダンスと系統のコンデンサが共振現象を引き起こすような条件においては短絡容量を上げる事により電源電圧歪みが逆に悪化する場合があるなど、十分な検討が必要であり、また、専用線を引く方法は現実的には困難な場合が多い。

4-3 被害機器側での対策

高調波障害の8割以上は電力用コンデンサ設備

に関するものであり、設備の加熱や騒音の増加についてである。

その対策としては設備の定数を変更して高調波の流入量を低減する方法が考えられるが、それが不可能な場合には、機器の高調波耐量を強化したり設備の運用形態を変更する方法等が考えられる。

4-4 高調波フィルタ設備での対策

高調波発生源より発生する高調波を吸収する高調波フィルタ設備は、次の2種類に大別される。

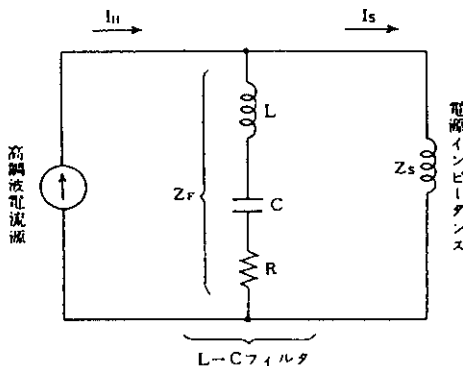
- ① L-Cフィルタ (パッシブフィルタ)
- ② アクティブフィルタ

L-Cフィルタの基本動作を、図4.2 に示す。

L-Cフィルタは、対象高調波次数に対して低インピーダンスとなるようにL-Cを構成し、高調波を吸収するものであり、リアクトル及びコンデンサといった受動素子により構成されるため、受動形フィルタ (パッシブフィルタ) と呼ばれる。

一般に、低次の高調波を吸収するためには次数に同調したフィルタを、比較的高次の高調波についてはハイパス形のフィルタを用いる。

一方、トランジスタやIGBT等の半導体電力変換素子 (能動素子) を用いたインバータ装置により構成されるフィルタは、これに対して能動形フィルタ (アクティブフィルタ) と呼ばれる。



$$I_S = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} \cdot I_H$$

($Z_F \rightarrow 0$ として $I_S \rightarrow 0$ に低減)

図4.2 L-Cフィルタの動作原理

アクティブフィルタは、図4.3 に示すように負荷の高調波を検出し、これを相殺する逆位相の電流を出力することにより高調波の除去を行う。

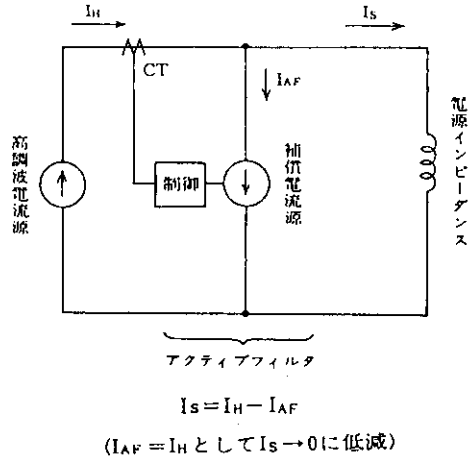


図4.3 アクティブフィルタの動作原理

アクティブフィルタを用いて、汎用インバータの6パルス整流器負荷に対して高調波補償動作を行った接続例を図4.4 に、この時の各部電流波形を図4.5 に示す。

アクティブフィルタは、負荷電流 I_L 中の高調波成分 I_H を検出し、高周波PWM制御により装置の出力電流を I_H と逆位相の電流 I_{AF} となるように制御する。

従って I_H と I_{AF} は相殺されて電源電流 I_S は高調波成分の除去された正弦波電流となる。

また、電流の高調波成分がなくなることにより、これに起因して発生する電源電圧歪みも同時に抑制される。

アクティブフィルタは一種の高調波発生源 (非インピーダンス要素) としての機能を有するため、原理上系統インピーダンスと共振現象が発生しない。

そのため、どのような電源条件下でも安定して動作できることが特長であり、最近では積極的に使用されるようになってきている。

また、アクティブフィルタは高調波電流だけでなく無効電力も連続可変出力可能なため、力率制

御も含めた補償設備としての動作が可能である。

L-Cフィルタとアクティブフィルタの特性比較を表4.1 にまとめて示す。

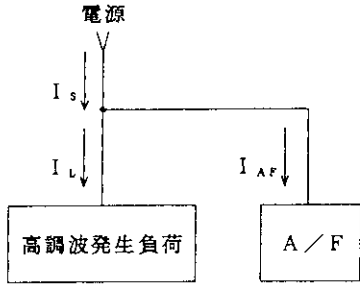


図4.4 アクティブフィルタの接続例

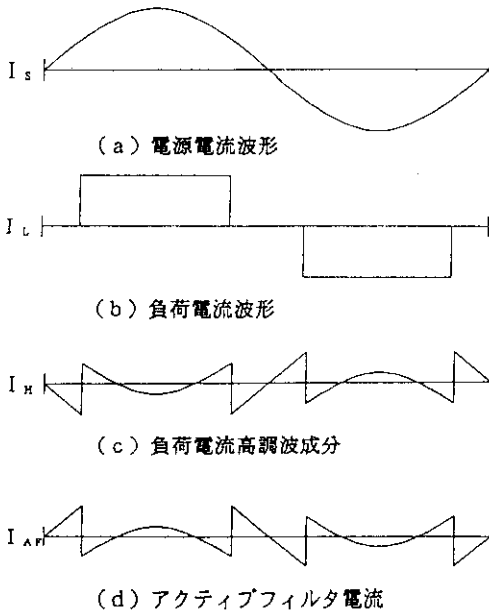


図4.5 高調波補償時の各部電流波形

5 京橋管理施設における高調波対策

この度新設された京橋管理施設の受変電設備の概略スケルトンを図5.1 に示す。

表4.1 高波フィルタの特性比較

項目	種類	交流L-Cフィルタ	アクティブフィルタ
抑制高調波次数	低次	各調波毎にフィルタ設置の必要があり低い次数ほど大型化	任意の高調波が抑制でき、複数調波の同時抑制も可能
	高次	高次フィルタによる	25次程度までの高調波は抑制可能
周波数変動等の影響		同期ずれのため抑制能力が低下	影響されない
設置後の系統インピーダンスの変更等の影響		フィルタ構成の変更が必要となる場合あり	系統インピーダンスには影響されない
増設		高調波バランス等を考慮する必要	容易
過渡的高調波抑制		困難	可能
基本波無効電力調整機能		固定容量	連続可変可能
容積		大きい(特に次数が低いほど)	比較的小さい

同受変電設備における主たる高調波発生源は、図中のCVC F装置及びビインバート装置である。

これらの負荷条件にて、買電・自家発電の両ケースにおいて受変電設備の高調波解析を行った結果、買電運転時において第11次高調波成分が規制値を越える値となることが予想された。

そこで、高調波対策として高調波フィルタを用いた対策が検討され、①力率改善用コンデンサ設備の自動制御機能を有しコンデンサ設備との強調制御による力率1制御が可能、②1台で2~25次までの高調波吸収が可能、③補償能力を越える高調波を検出した場合においても、装置は過負荷とならない、等の理由によりアクティブフィルタを

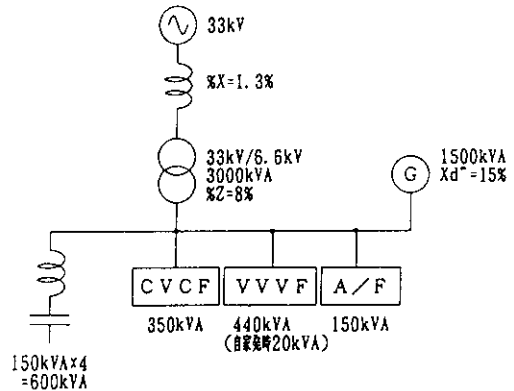


図5.1 受変電設備の概略スケルトン

採用することとした。

京橋管理施設に納入されたアクティブフィルタの機器仕様及び装置外観を表5.1、図5.2 にそれぞれ示す。

ここで、図5.3 にアクティブフィルタによる力率1制御原理を示す。

今回導入したアクティブフィルタは、高調波補償を行うと同時に、力率改善用コンデンサ150kVA×4バンクとの協調制御を行う事により、負荷力率1制御機能を有している。

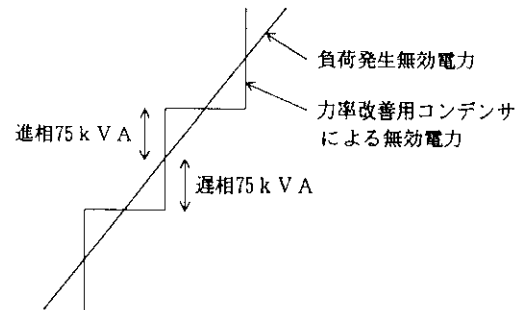


図5.3 力率一定制御原理

表5.1 アクティブフィルタ機器仕様

装置形名	MELACT-1100
型式	屋内閉鎖自立形
相数	三相三線式
周波数	60Hz
回路電圧	6.6kV (トランスを介して接続)
補償機能	遅相・遅相無効電力及び高調波2~25次 割合1/5以下
応答時間	1ms以下
装置容量	150kVA (無効電力±90kVA 高調波 60kVA)
時間定格	連続
変換方式	三相電圧形ブリッジインバータ
冷却方式	強制風冷
使用素子	大容量IGBTモジュール
準拠規格	JIS, JEC, JEM, 電気設備技術基準

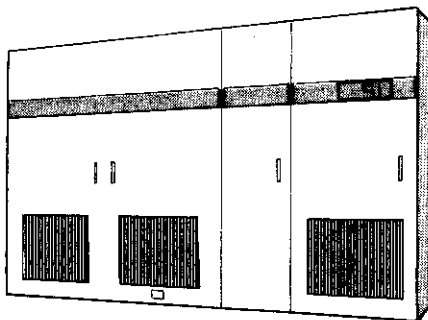


図5.2 アクティブフィルタ装置外観

アクティブフィルタは負荷力率を常に監視し、力率の変化に応じて力率改善用コンデンサの自動投入・開放指令を出力するが、負荷の無効電力の連続変化に対し、コンデンサによる制御はステップ状の補償動作しか行われず、その誤差は最大±75kVAとなる。

そこで、この誤差分の無効電力をアクティブ

フィルタの無効電力出力機能により補うことにより、電源側の力率は常に1となる制御が行われる。

実際のアクティブフィルタでは、負荷無効電力変動分の余裕を考慮して、無効電力補償の設定を90kVAとし、残る60kVAにて高調波補償を行う設定がなされている。

なお、発電機は通常遅れ負荷にて運転を行うため、自家発電時には力率改善用コンデンサを全て切り離し、アクティブフィルタは高調波補償のみを行う。

6 アクティブフィルタの導入効果

京橋管理施設受変電設備におけるアクティブフィルタの導入効果について述べる。

アクティブフィルタは、図5.1の概略スケルトンに示したように6.6kV配電系統に接続され、CVCDF負荷及びインバータ負荷を補償対象として買電運転時には高調波補償及び力率改善を、自家発電時には高調波補償のみを行う。

アクティブフィルタの運転・停止状態における6.6kVラインの電流波形及び高調波の分析状態を図6.1、図6.2及び表6.1に示す。

なお、測定時の受電電力は最大で約1,200kwであった。

図6.1、図6.2は高周波含有率が高い昼間の測定データによる電流波形である。

両図より、アクティブフィルタの高調波補償動

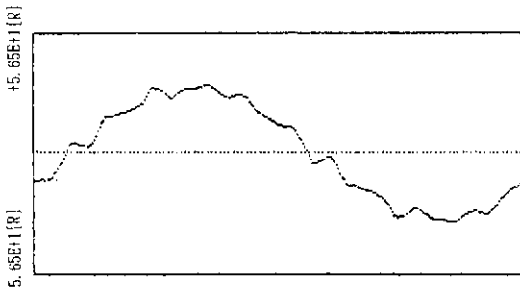


図6.1 受電電流波形（補償前）

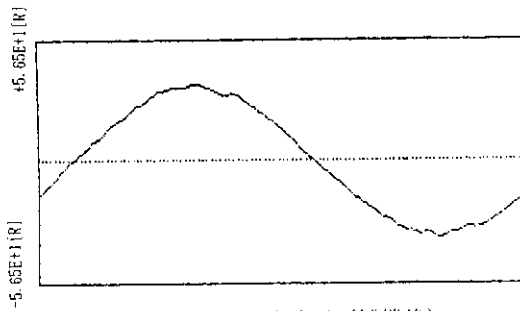


図6.2 受電電流波形（補償後）

表6.1 契約電力受電時の高調波電流分布

次数	補償前 [A]	補償後 [A]	許容値 [A]
基本波	218.7	218.7	—
5	3.19	2.45	8.75
7	2.10	0.79	6.25
11	5.03	1.74	4.00
13	1.82	1.67	3.25
17	2.01	1.31	2.50
19	1.89	0.98	2.25
23	0.52	0.33	1.90
25	0.40	0.15	1.75
総合	7.16	3.89	—

作により電流波形がほぼ正弦波に制御されていることがわかる。

また、同時に進相コンデンサとの協調制御による力率改善動作を行うことにより、電源力率を常

に1とする制御が行われている事を確認している。

表6.1は、高調波含有率が高い昼間のデータを用いて契約電力受電時の高調波含有率を予測した値である。

高調波補償動作を行わない場合においては、第11次調波成分が許容値を越える可能性があるが、アクティブフィルタの高調波補償動作により全ての次数を許容値内とすることが可能である。

以上、アクティブフィルタを用いた力率改善並びに高調波補償動作について実測結果を交えて検討を加えた。

近い将来、系統流出高調波を規制する法律が制定される動きがある等、高調波に対する需要・供給両サイドの関心はますます高まりつつある。

また、電源力率の向上は電気料金の節約に大きく寄与する。

このような場合に、高調波補償及び力率改善装置としてアクティブフィルタの導入は有効な対策手段となるであろう。

7 あとがき

以上京橋管理施設における高調波対策について、その概要を報告した。

今後、受電電力が増加し、負荷が100%立ち上がった状態にて再度データを測定することにより、アクティブフィルタ導入効果の検証を引き続き行っていく予定である。

最後に、ここに本報告ができたことは、京橋管理施設受電設備の設計に携わられた方々の、御尽力のたまものであり、この場をお借りして関係各位に感謝するものである。