

電源品質に関する基礎知識

<高調波編>

- ✚ 定義
- ✚ 用語
- ✚ どうして高調波？
- ✚ 高調波の発生源
- ✚ 高調波が引き起こす障害
- ✚ 高調波の実態
- ✚ 高調波に関する規制・規格
- ✚ その他の電源品質パラメータ
- ✚ 高調波を測定するには

2005-7

日置電機株式会社

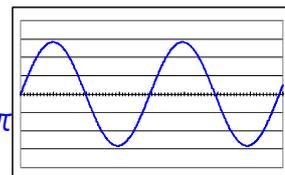
Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

1

定義

1. 正弦波

正弦波・・・ $y(t) = A \sin \omega t$
 $\omega = 2\pi f$
 f : 周波数 = $T/2\pi$

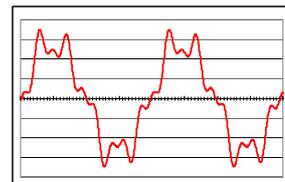


単一の周波数成分を持つ周期的な波

2. 歪み波

歪み波・・・正弦波ではない波
 例：方形波，三角波などの周期波
 → 「一般波」と言った方が適切

フーリエ級数に展開して、正弦波に分解
 することができる
 すなわち、周波数の異なった正弦波の
 和として取り扱うことができる



2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

2

定 義

3. フーリエ級数

Tなる周期を持った歪み波（周期波）の時間関数を
y(t)とすれば
y(t+T) = y(t)が成立する …一定周期で繰り返す
よって

$$y(t) = b_0 + b_1 \cos \omega t + b_2 \cos \omega t + \dots + a_1 \sin \omega t + a_2 \sin \omega t + \dots$$

$$= b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

ここで、 $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$
(詳細な計算は省略)、展開すると(1)式は

$$y(t) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t - \theta_n) \quad \text{と表現できる}$$

ここで、 b_0 は直流成分

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \theta_n = -\tan^{-1}(b_n/a_n)$$

定 義

4. 歪み波は

前項の式より、

$$y(t) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t - \theta_n) \quad \text{と表現できる}$$

A_1 = 基本波の振幅、 $A_n (n \neq 1)$ は高調波の振幅

つまり、直流成分とsin関数（正弦波）の整数倍の周波数を持った正弦波の和として考えられる

歪み波 = 基本波 + 第3次高調波 + 第5次高調波 + 第7次高調波 + 第9次高調波 + 第11次高調波 + ……

注) 一般的には偶数次高調波は発生しない

基本波 : 周波数のもっとも低い正弦波

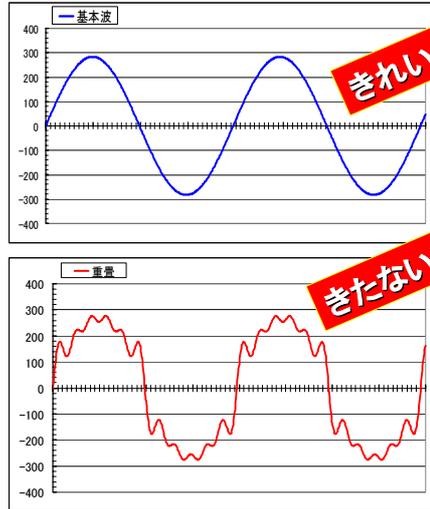
電源ラインでは、50Hz、または60Hz

高調波 : 基本波の整数倍の周波数を持った正弦波

基本波 : 50Hzの場合、
第3次高調波の周波数は、50Hz × 3 = 150Hz
第9次高調波の周波数は、50Hz × 9 = 450Hz

定義

5. 高調波を含む波形の例 (1)



基本波のみ

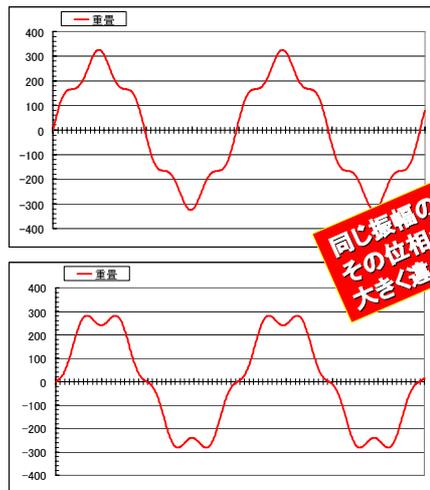
きれい

きたない

第3,5,7,9,11次にそれぞれ
基本波の20%の高調波を
含む波形

定義

5. 高調波を含む波形の例 (2)



第5次に基本波の30%の
高調波を含む波形

$\theta=0^\circ$

同じ振幅の高調波でも
その位相が異なると波形も
大きく違ってくる

第5次に基本波の30%の
高調波を含む波形

$\theta=180^\circ$

定 義

6. どこで扱われるか？

「電力供給システムにおける商用周波数（基本周波数）の整数倍の周波数を有する正弦波を高調波と呼ぶ」
 ※一般的な意味での高調波は商用周波数だけが対象ではなく、また電圧にも電流にも使われる

「系統高調波」

- ・ 電力系統全般で扱われる高調波で、一般には40次程度までの周波数を扱う
 （商用周波数が50Hzの場合は、2kHzまで）

「機器高調波」

- ・ 電力系統に接続されて使用される機器内部で発生する高調波
 （扱われる次数は、ほぼ系統高調波と同じ）

定 義

7. 高調波と高周波

IECの電磁両立性(EMC)を扱う委員会(IEC/TC77)では、9kHzを境にして

SC77A(小委員会)	: ~9kHz	高調波
SC77B(小委員会)	: 9kHz~	高周波

区分されている

〈高調波〉

商用電源周波数に同期して、電力線を伝播する
 これ以上高い周波数成分は、電力線のインピーダンスに阻まれ伝播しにくい
 →~40次くらいまでの理由

〈高周波〉

空气中を伝播する電磁ノイズで、商用電源周波数に同期しない

用語

1. 次数

- ・第〇次高調波、第〇次調波、第〇調波

2. 歪み率

- ・含有率……単に「歪み率」という場合もある
その大きさを基本波と比較して
どの程度かを割合で表す

ある次数だけの「きたなさ」

例) 200V (60Hz) の低圧供給電圧に対して300Hz, 10Vの
正弦波成分が含まれている場合は、
第5次高調波電圧含有率5% (10V/200V=5%)

注) 電圧は一般的にこの含有率を用いるが、
電流は絶対値の〇Aを用いるのが一般的

用語

3. 総合高調波歪み率

- ・ [THD: Total Harmonic Distortion]

$$THD (\%) = \sqrt{\sum_{n=2} (V_n/V_1)^2} \times 100$$

ただし、 V_1 は基本波電圧、 V_n はn次高調波電圧
 V_n/V_1 は第n次高調波含有率

注) THDは一般的には基本波を基準として扱うが、実効値を
基準とする場合もある
前者をTHD_r、後者をTHD_eとして区別することもある
また、電圧も電流も同様に扱われる

一般に高調波成分は1種類ではなく、様々な周波数の
成分が含まれている

このようにして、高調波成分が含まれることにより
正弦波から形が変化して歪んでしまった波形のことを
「歪み波」と言う

波形全体の
「きたなさ」

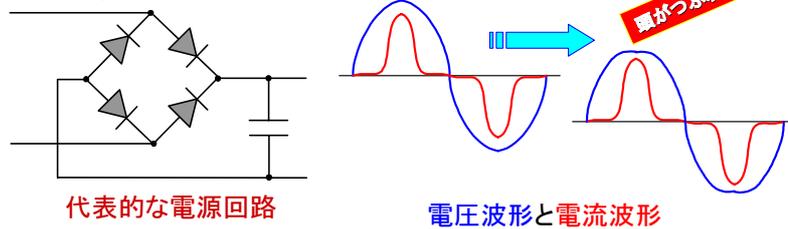
どうして高調波？

1. 波形を歪めてしまう電源回路

多くの機器はコンデンサ入力型の電源回路を搭載

- ・小型化, 効率アップ, 省エネ
- ・機器内部の回路を動作させるため、いったん直流に変換 (= 整流)

➡ 電圧波形の頂点付近のみ電流が流れ、それにより電圧降下を起こすため、電圧波形の頂点部分が平らになる



2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

11

どうして高調波？

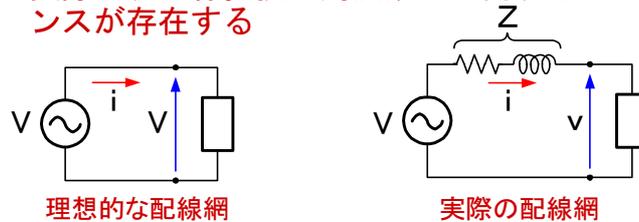
2. 電流が歪むと電圧も歪む？

前項のような非線形負荷 (= 供給されている電圧と負荷電流が一致しない) で消費される負荷電流が配電線網に流れると、そのインピーダンスにより電圧降下が発生する

$$v = i Z \quad Z \text{ は配電線網のインピーダンス (オームの法則)}$$

Z がゼロであれば、問題は生じない

➡ 実際は、配線抵抗や周波数に比例するインダクタンスが存在する



2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

12

どうして高調波？

3. 電圧が歪むと困る？

- ・ほとんどの機器が商用周波数（50Hz/60Hz）にだけ対応できるように設計されている
→高調波成分（高い周波数成分）が加わると、過熱，振動，焼損，劣化，誤動作，・・・
- ・配電線のロスの増加（電流値の2乗に比例）
- ・力率改善用コンデンサは高調波電流を流入しやすい

力率改善用コンデンサ

電気料金の力率改善割引制度により、高圧需要家の受電設備に標準的に設置されている

どうして高調波？

4. 一番の被害者は力率改善用コンデンサ コンデンサのインピーダンスは、 $\frac{1}{j\omega C}$

周波数に反比例し減少するため、高い周波数成分を持つ高調波電流は流入しやすい

平成6年 名古屋市にある科学博物館の受電設備で力率改善用コンデンサが爆発・焼損し、技術者が負傷
新聞等で大きく報道された
この事故を発端に、「高調波問題」がクローズアップされ始めた



力率改善コンデンサ

どうして高調波？

[参考] 流入と流出？

1. 有効電力は

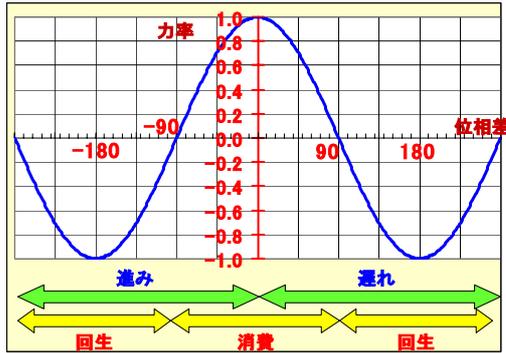
$$P(\text{Watt}) = VI \cos \theta \quad \theta: V, I \text{の位相差}$$

力率

力率は-1~0~+1までの数値をとる (cos関数だから)

遅れ/進み
電圧基準で電流の位相が、遅れ (誘導負荷: 一般的) たり、進んだりする
※進相コンデンサは誘導負荷で遅れた位相を取り戻す働きをする

消費/回生 ←
電源から負荷に電力を供給している状態は「消費」
逆に、負荷から電源に電力を戻す (発生) している状態は「回生」



2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

15

どうして高調波？

[参考] 流入と流出？

2. 歪んだ波形の有効電力は？

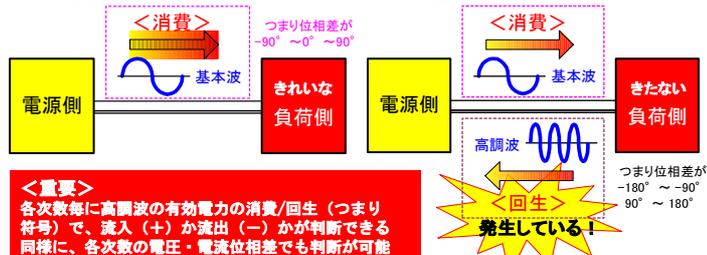
$$Pa = V_0 I_0 + V_1 I_1 \cos \theta_1 + V_2 I_2 \cos \theta_2 + V_3 I_3 \cos \theta_3 + \dots$$

ただし、 θ_n は同じ次数の電圧、電流間の位相差

周波数の等しい電圧と電流とによる有効電力の和

※同じ次数の高調波電圧、および電流が存在しないと、その次数の有効電力は存在しない

3. 消費/回生は流入/流出とみる



2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

16

高調波の発生源

裸電球の時代～オイルショック～省エネの時代

1. 家電製品
テレビ, ビデオ, ステレオ, パソコン, エアコン,
冷蔵庫, 電子レンジ, 洗濯機, 蛍光灯, 調光器, etc
2. オフィス
パソコン, ディスプレイ, コピー機, FAX, 蛍光灯
各種OA機器, 空調機器, etc
3. 工場
インバータ機器, 電気炉, 各種温度調整器, 整流器,
空調機器, etc
4. その他
太陽光発電システム, 電力変換設備, etc

注) 上記機器の中には高調波抑制のための制御装置が
組み込まれた機器もある

高調波が引き起こす障害

1. 電力用コンデンサ, リアクトル
 - ・高調波電流が流れやすいため、過電流により発熱し
振動し、過熱により焼損, 破壊に至る
 - ・コンデンサと直列に設置されるリアクトルも過熱が
問題となる

リアクトルの必要性

コンデンサはインピーダンスは $1/j\omega C$ と表され、周波数に反
比例し減少するため、高い周波数の高調波電流は流入しやす
い(前述)

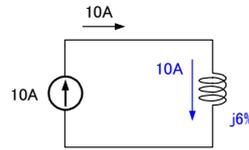
<2つの効果>

- ・その逆の性質を持つリアクトル(インダクタンス)を直列
に接続することで、高調波に対するインピーダンスを小さ
くし、流出する高調波電圧を抑制する効果がある
- ・流入してくる高調波に対してインピーダンスを誘導性とし
ることで、コンデンサと配電経路のリアクタンスによる共
振現象を抑えるフィルタとしての効果もある

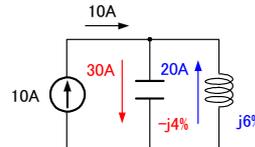
高調波が引き起こす障害

補足：リアクトルの効果

- ・インダクタンスのみ
→電流源の電流がすべて流れる



- ・インダクタンス+コンデンサ
→電流源の電流を超える電流が流れる
-j4, j6の大きさが等しいと「並列共振」を起こし、無限大の電流が流れる



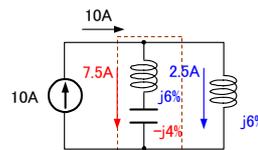
ある周波数におけるインピーダンス

元の電流値より大きな高調波電流が流れる！

高調波が引き起こす障害

補足：リアクトルの効果

- ・コンデンサに直列にリアクトル（インダクタンス）を挿入
→電流源の電流のほとんどがコンデンサ+リアクトル側を流れる



ある周波数におけるインピーダンス

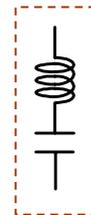
-j4, 6jの大きさが等しいと「直列共振」を起こす合成インピーダンスはゼロとなり、電流源のすべての電流が流入する

注) 高調波の発生源を電流源として考える場合

- ・通常、回転機である発電機は高調波を発生しない
- ・機器が発生する高調波電流の発生量は、接続される系統側のインピーダンス等には影響されず不変

パッシブフィルタ

対象とする高調波次数の周波数で、直列共振するようにコンデンサとインダクタンスの容量を組み合わせるもの
ただし、周波数（高調波次数）によって特性は変わるので注意が必要



高調波が引き起こす障害

2. 電力制御機器の誤動作

高調波領域の周波数に対して感度が比較的高いものは誤動作する可能性がある

- 停電
 - ・ 保護継電器
 - ・ 配電用遮断器
 - ・ 漏電遮断器

3. 電子制御機器の誤動作

高調波による機器内部の電源回路異常により、電子制御された機器が誤動作や停止をする

- 重要データ, 生産品質, 人命などへの影響
 - ・ パソコン応用機器
 - ・ 工作機械
 - ・ 情報処理システム
 - ・ 医療機器

高調波が引き起こす障害

4. 電力機器の損失増大、寿命・効率低下

電流実効値が増えるため、電力損失が

$$P = I^2 \times R$$

で増加する
同時に発熱量も増大

- ・ 変圧器
- ・ 発電機 (モーター)
- ・ 送電線
- ・ 配電線

5. 波形歪みの影響

波形のゼロ点を基準にして制御 (位相角制御) する回路では、本来よりも多くのゼロ点を検出するなど、正常な制御ができない場合がある

整流型の測定器は誤差を生じる場合もある

高調波の実態

1. 高調波実態調査

電気事業連合会では、次項ガイドライン制定時より調査を継続実施

- ・ 電力会社の商品（電源の品質）の管理
- ・ 国内の高調波規格の有効性の検証，改定の基礎データ
- ・ 国際規格での審議に報告する実測データ
※下記のような状況にある日本は世界から注目されている

欧米では比較的高調波による障害は少ないらしい
日本では...

比較的大型の家庭用冷蔵庫，エアコンはかなりの割合でインバータ化されている
→非線形負荷多い

欧米では...

上記のインバータ化率は低く、蛍光灯の普及率も低い
→線形負荷多い

高調波の実態

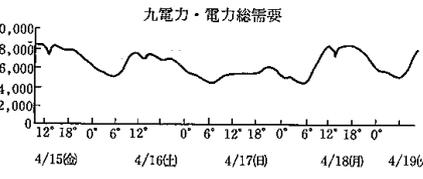
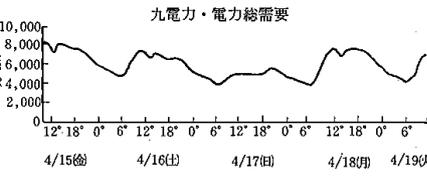
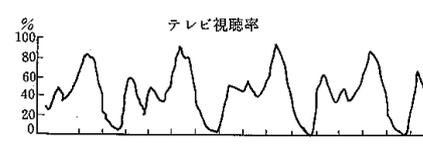
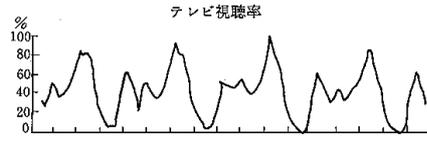
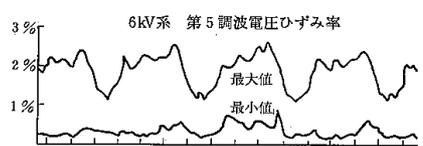
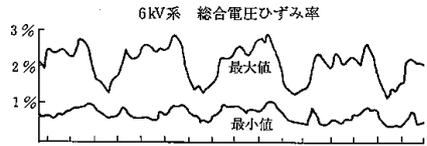
2. 実測データ

- ・ 毎年、全国各地において同じ時期に同じ場所で測定
- ・ 電圧歪み率（第3, 5, 7, 9, 11, 13, 15次含有率，THD）
注）障害発生時などに発生源，原因追求などの目的の場合は、電流測定なども必要となる

第5次高調波が支配的？

電力系統にはいろいろな電圧系統が混在しており、そのために変圧器が多数存在している。その巻線方式はΔ結線が多く、第3, 9, 15次などの3の倍数の次数の高調波電流は、そのΔ巻線内を循環する特性があるため、これらの次数の高調波電圧歪みは一般的に小さくなる
また、偶数次の高調波は正弦波を上下対称に制御を行っている場合は理論的に発生しない

欧州では三相4線式の配線方式を採用しており、各相の第3次高調波電流が全て中性線に合流するため、中性線で熱的な障害発生が懸念されており、第5次ではなく第3次高調波が注目される



総合電圧歪み率

第5次高調波電圧含有率

出展：電気協同研究第46巻2号「電力系統における高調波とその対策」（1990年6月）

高調波の実態

3. テレビ視聴率との相関関係

出展：電気協同研究第46巻2号「電力系統における高調波とその対策」（1990年6月）

- ・ 1988年当時は、テレビ視聴率とTHDとの間には強い相関が認められる
 - ・ 時刻，季節，場所などでも異なる
 - ・ しかし、2001年データではその相関は弱くなっている
- 高調波電流の発生源がテレビだけでなく、多様化している。また、ガイドラインによる対策効果がでていると見れる



高調波に関する規制・規格

1. 高調波環境目標値

特高系…総合高調波電圧歪み率=3%
 配電系… // =5%

障害発生状況やコンデンサなどの障害が懸念される機器の耐量、諸外国の状況から設定

2. 発生側の限度値

電流値で上限値を設定（公平性）
 →同じ発生量でも、接続される配電システムのインピーダンスで電圧は変わる

$$v = i Z$$

- ・ 需要家から発生する高調波
- ・ 電気，電子機器から発生する高調波

高調波に関する規制・規格

3. 国内（1994年より）

機器メーカ，電力あるいは機器利用者，電力会社が相互に協力し合い対策を行う考え方

- ・ 「高圧又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」
 電気主任技術者を擁する需要家では高調波流出量の管理が可能
- ・ 「JIS C61000-3-2」
 20A以下の電気・電子機器の高調波限度値（IEC61000-3-2をベース）
 ※旧 「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」
 上記のような管理が不可能で一般家庭などで使用される家電品などの製造段階での対策

高調波に関する規制・規格

4. 海外

- ・ 「IEC61000-3-2」 (国際規格)
16A以下の電気・電子機器の高調波限度値
→ 「EN61000-3-2」 などEU各国における法規制
(CEマーキング) が施行されている
- ・ 「IEC61000-4-7」 (国際規格)
高調波の測定法について規定

<メモ> 電力需要との関係

電力需要が多くなると発電機も比例して動作するが、その内部リアクタンス(並列に多数接続される)により、系統のインピーダンスが減少する
もし、高調波電流の発生量が同じならば、電力需要が多いとき(系統のインピーダンスが低いとき)は、高調波電圧歪み率は小さくなる

その他の電源品質パラメータ

1. 電源の品質を区分すると

- 「連続性」 …… 停電しない
- 「周波数」 …… 安定性
- 「電圧」 …… 安定性
- 「波形」 …… きれいさ

注) 電力品質に「停電」を含めるかどうかは議論の分かれるところ
需要家からみれば「品質の高い電力」は、まずは停電しない
安定した電力供給であり、「停電」を含めるのが自然か？

2. 挙動で分類すると

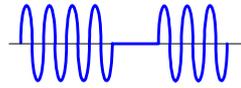


その他の電源品質パラメータ

3. 瞬停

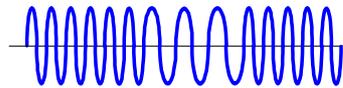
- ・電力の供給が完全に停止する
- ・送電線への落雷などによる電力会社の事故や各種遮断器による給電停止
- ・日本では長時間にわたる停電は稀
- ・海外では大規模停電に発展する事例もある（配電システムの違い等）

日本:放射状のネットワーク
アメリカ:メッシュ状のネットワーク



4. 周波数

- ・電源の周波数が一時的に増減する
- ・負荷が急激に増減することで、需給バランスがくずれ、発電機の出力（周波数）に影響がでる



2005-7

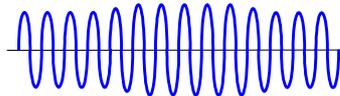
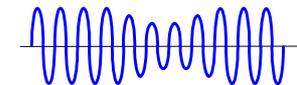
Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

31

その他の電源品質パラメータ

5. 電圧ディップ、電圧スウェル

- ・電圧が瞬間的に下降（ディップ）したり、上昇（スウェル）したりする
- ・送電線への落雷などによる故障や重負荷の接続/切り離しによって電圧レベルに影響を与える
※「故障」とは短絡、地絡などを言う
- ・0.07秒～2秒程度の電圧変化
- ・コンピュータ制御機器などが停止し、生産、業務に大きな影響を与える



<メモ> 電力会社の落雷対策

電源品質を悪化させる原因の多くは落雷であると言われ、各電力会社は各種の対策を施している。しかし、送電線への落雷自体をなくすことは不可能で、それによる故障点を短時間で切り離すまでの現象が電圧ディップ、電圧スウェルであるためこれもまたなくすことは不可能。この防止には、負荷機器側あるいは需要家側で行うのが、合理的とされている。各種、瞬低対策装置なども実用化されている。

2005-7

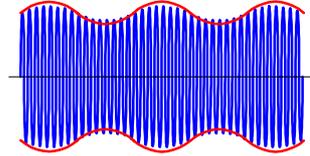
Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

32

その他の電源品質パラメータ

6. フリッカ

- ・ 大型の変動負荷により、電圧が周期的な微小変動を起こす
- ・ 照明機器が上記変動に合わせて明るさが変化（ちらつき）するため、人間には不快感を与える



<メモ> 日本とヨーロッパ

日本では古くからアーク炉等の大型機器による照明のちらつき問題がフリッカとして扱われてきた
 電気協同研究第20巻8号「アーク炉による照明フリッカの許容値」昭和39年あらゆる周波数の電圧変動を10Hzの電圧変動に正規化した、 ΔV_{10} を定め、 $\Delta V_{10} < 0.45\%$ として管理している(規格ではない)

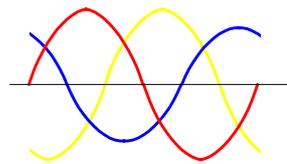
ヨーロッパでは、あらゆる周波数の電圧変動を统一的に扱う、IECフリッカ(PST値、PLT値)として管理している(IEC61000-4-15)

→日本でも、このIECフリッカの導入を検討している

その他の電源品質パラメータ

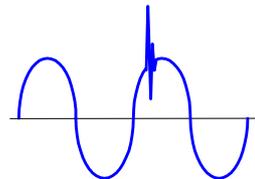
7. 不平衡

- ・ 三相交流において、各相の電圧の大きさが異なる、あるいは相間の位相差が120ずつになっていない
- ・ 接続される三相機器と単相機器の負荷バランスが悪い場合に発生
- ・ 三相発電機の過熱、騒音、振動などの影響がでる



8. トランジェントオーバ電圧

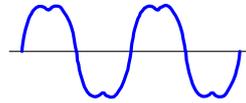
- ・ 電圧波形に急峻で大きなピーク電圧を持つ波形が重畳する
- ・ 配電線への落雷や、各種開閉器、遮断器のON/OFFなどで発生
- ・ 同一ラインに接続される機器にとっては過大入力となり、故障や誤動作に結びつく



その他の電源品質パラメータ

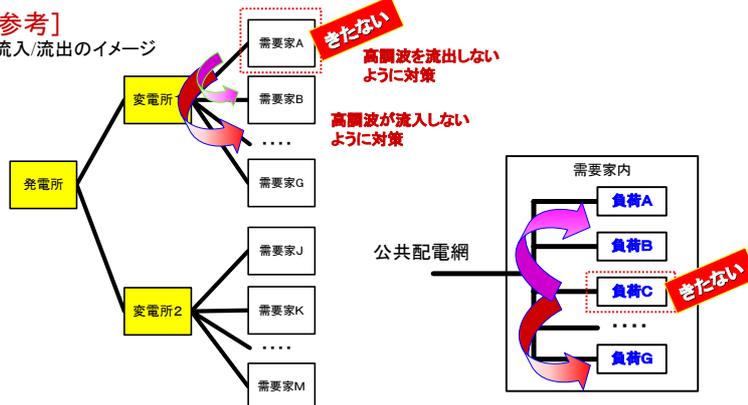
9. 高調波

- 電源品質パラメータの中でも古くから注目されポピュラー
本稿で説明しているため省略する



[参考]

流入/流出のイメージ



2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

35

高調波を測定するには

1. 電圧，電流を安全に検出
2. 検出した電圧，電流波形を各次高調波成分に分解
[フーリエ変換] …俗に言うFFT
3. 含有率や総合高調波歪み率などのパラメータを演算
4. 測定データ（レベル，位相，波形など）を表示
[数値，バーグラフ，時系列表示などの機能]
5. 一定時間ごとに平均値や最大値などの統計処理
6. 測定データをメモリに保存
7. 保存された測定データをパソコン等で表示、統計処理
およびレポート作成

・高調波測定器に関しては、IEC61000-4-7「高調波の測定法」があり、測定回路，測定原理，精度他について規定されている
測定の目的に応じ、この規格に適合した測定器を用いる必要がある
・測定の目的（長期間にわたるトレンド把握？ 障害探索？）によって、測定器を選択する必要がある

2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

36



HIOKI 3196
POWER QUALITY ANALYZER



HIOKI 3169
CLAMP ON POWER HiTESTER

参考文献

1. EMC : 「高調波実践講座」 監修 : 九州電力(株) 能見和司氏
2. オーム社 : 「自家用電気技術者 実務なぜ何故Why？」
3. オーム社 : 「高圧自家用需要家の高調波 障害・抑制対策事例」
4. 電気協同研究第46巻2号 「電力系統における高調波とその対策」
(1990年6月)
5. オーム社 : 「電気回路論 改訂版」

2005-7

Copyright(C) 2004-2005 HIOKI E.E. Corporation. All Rights Reserved.

05-07_02 37