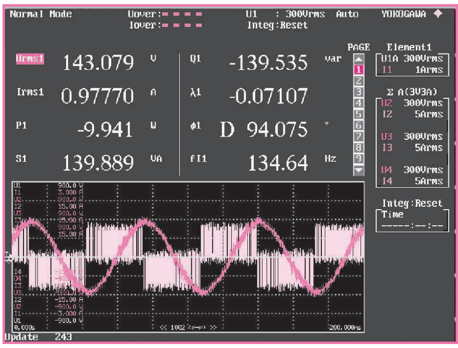
重点企画



高調波ひずみを含むアンプの有効電力の測定術

交流電力の基礎知識と電力測定器のしくみ

数見 昌弘/河崎 誠
Masahiro Kazumi/Makoto Kawasaki

近年，地球環境問題やエネルギ資源の有効活用の観点から，電子機器の省エネルギ化と，高効率化，小型化が進められています．これに伴い，スイッチング駆動の電力変換部をもち，複雑な電力制御を行う機器が増えています．

このような事情を背景にして，より広帯域で高精度に電力を計測する方法が必要になってきています．環境マネージメント・システム(ISO14001)の認定企業や省エネルギー法の規定により，消費電力量の管理も必要とされています．

スイッチング駆動機器の電源波形は高調波ひずみを含んでおり，省エネルギ技術の代表であるインバータの変調波形は複雑です．そのため，ひずみ波を含む交流信号の電力をいかに測るかが最近の課題となっています．

本稿では，電力の基礎知識と電力測定器のしくみを説明したうえで，インバータを例として測定に関するポイントを示します．

交流電力の基礎知識

電力とは，電圧と電流の積であることは皆さんも知っているとおりです．そのため，電圧計と電流計を使って，個別に電圧と電流を測定し，掛け合わせればよいと考えている人もいるでしょう．

しかし，電圧や電流が変動する信号や交流信号の場合には，エネルギーとして有効に活用できる電力は単純な電圧と電流の積ではなくなります．

そこでまずは，交流電力の基本を復習しましょう．

● 電力とは瞬時電圧と瞬時電流の積の時間平均

図1 に示すのは，負荷が抵抗，インダクタ，コンデ

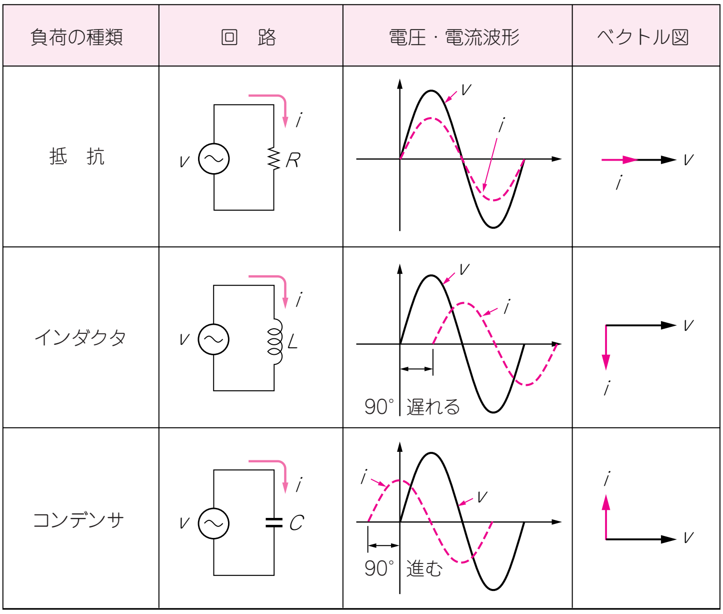


図1　負荷の種類と電圧，電流の位相差
交流では負荷によって電圧と電流の位相関係が異なり，有効にエネルギーとして活用できる電力は単純な電圧と電流の積ではなくなる

ンサの場合の電圧と電流の関係です．このように，負荷が容量性（コンデンサ）の場合や誘導性（インダクタ）の場合，交流の電圧と電流の間に位相差が生じます．

電圧の瞬時値 $v(t)$ と電流の瞬時値 $i(t)$ を次式で表される正弦波形とすると，

$$v(t)=\sqrt{2}\,V_R\sin\omega t$$

$$i(t)=\sqrt{2}\,I_R\sin(\omega t-\phi)$$

ただし，V_R：電圧の実効値，I_R：電流の実効値，ω：周波数（$2\pi f$），ϕ：電圧と電流の位相差［rad］

この交流信号の電力の瞬時値 $p(t)$ は次式で表されます．

$$p(t)=v(t)\,i(t)=V_m\sin\omega t\,I_m\sin(\omega t-\phi)$$
$$=V_R I_R\cos\phi-V_R I_R\cos(2\omega t-\phi) \quad\cdots\cdots\cdots(1)$$

ただし，ϕ：電圧と電流の位相差［rad］

式（1）に示すように，$p(t)$ は時間に無関係な $V_R I_R\cos\phi$ と，電圧や電流の2倍の周波数成分をもつ $-V_R I_R\cos(2\omega t-\phi)$ の和になります．

単位時間当たりの瞬時電力 P は次式のように導出されます．

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt=\frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)\,dt$$
$$=\frac{1}{T}\int_0^T\left\{V_R I_R\cos\phi-V_R I_R\cos(2\omega t-\phi)\right\}dt$$
$$=V_R I_R\cos\phi \quad\cdots\cdots(3)$$

ここで，負荷で消費される電力 P は，$p(t)$ を時間で積分して，周期 T で割った値ですから，$p(t)$ の交流分である $-V_R I_R\cos(2\omega t-\phi)$ の項はゼロになります．

周波数の異なる電圧と電流の積はゼロ

ひずみのない基本波周波数成分だけの正弦波電圧信号 $v(t)$ と，任意の高調波ひずみをもった電流 $i(t)$ の有効電力を求めると次のようになります．

$$i(t)=I_{m0}+\sum_{n=1}^{\infty}I_{mn}\cos(n\omega t+\phi_{In})$$

$$v(t)=V_{m1}\cos\omega t$$

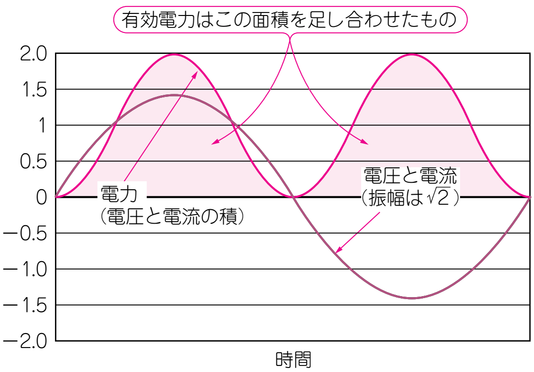
$$P=\frac{2}{T}\int_0^T v(t)i(t)\,dt$$
$$=\frac{2}{T}\int_0^T\left[V_{m1}\cos\omega t\left\{I_{m0}+\sum_{n=1}^{\infty}I_{mn}\cos(n\omega t+\phi_n)\right\}\right]dt$$
$$=\frac{2}{T}\int_0^T\left\{V_{m1}I_{m0}\cos\omega t+V_{m1}I_{m1}\cos\omega t\cos(\omega t+\phi_1)\right.$$
$$\left.+V_{m1}I_{m2}\cos\omega t\cos(2\omega t+\phi_2)+\cdots\right\}dt$$
$$=V_{m1}I_{m1}\cos\phi_1$$

ただし，V_{m1}：1次の電圧振幅，I_{mn}：n 次の電流振幅，ϕ_n：n 次の位相

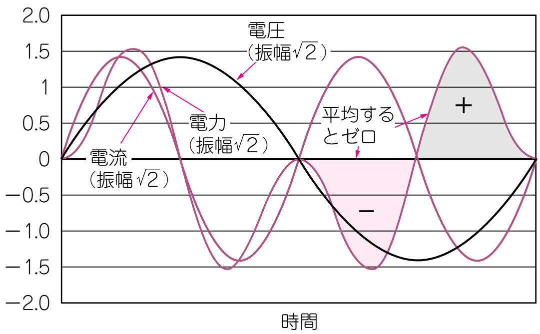
この演算式から，異なる周波数成分の積の項は積分するとゼロになり，電圧信号と電流信号に共通に存在する1次成分だけが有効電力に寄与していることがわかります．

これをより簡略的に表すと**図A**（**a**）のようになります．同じ周波数成分で振幅が $\sqrt{2}$ の位相差のない電圧と電流，そしてその瞬時の積（瞬時電力）が示されています．有効電力は，瞬時電力を1周期の間で積分しますが，これは1周期で単純平均をとることと同じになるので，この例では有効電力は1になります．

前例と同じで，振幅が $\sqrt{2}$ で，位相差のない電圧と電流の信号で，電流信号の周波数が電圧信号の2倍のとき瞬時電力は，有効電力はゼロになります．**図A**（**b**）にこのようすを示します．



（**a**）電圧と電流の周波数と位相が一致している場合



（**b**）位相差のない電圧と電流の信号で電流の周波数が電圧の2倍の場合

図A　周波数の異なる電圧と電流の積はゼロになる