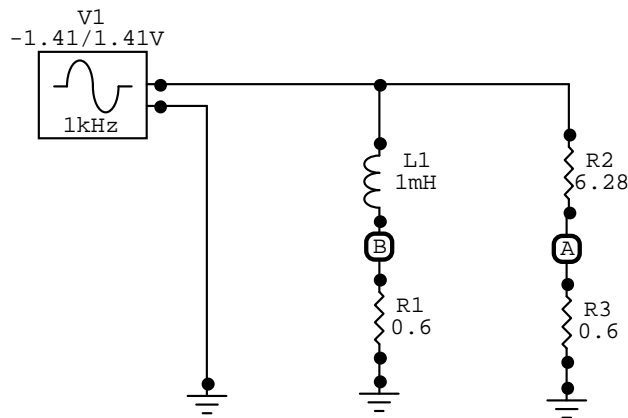


東京デバイス IW7901: 位相検波方式によるインダクタンス計測の原理

IW7901 はインダクタンスの測定を題材とした位相検波の実験モジュールです。位相検波方式は、小さな測定信号を、基準となる信号の位相に同期させる（ロックインする）ことで検出します。IW7901 は基準信号の発生、ロックイン、信号の増幅など、ロックインアンプの基本となる機能をマイコンに搭載しています。各フェーズの信号はマイコンのピンから外部に出力されているため、オシロスコープで波形を確認しながら、位相検波による L メータの仕組みを実験できます。

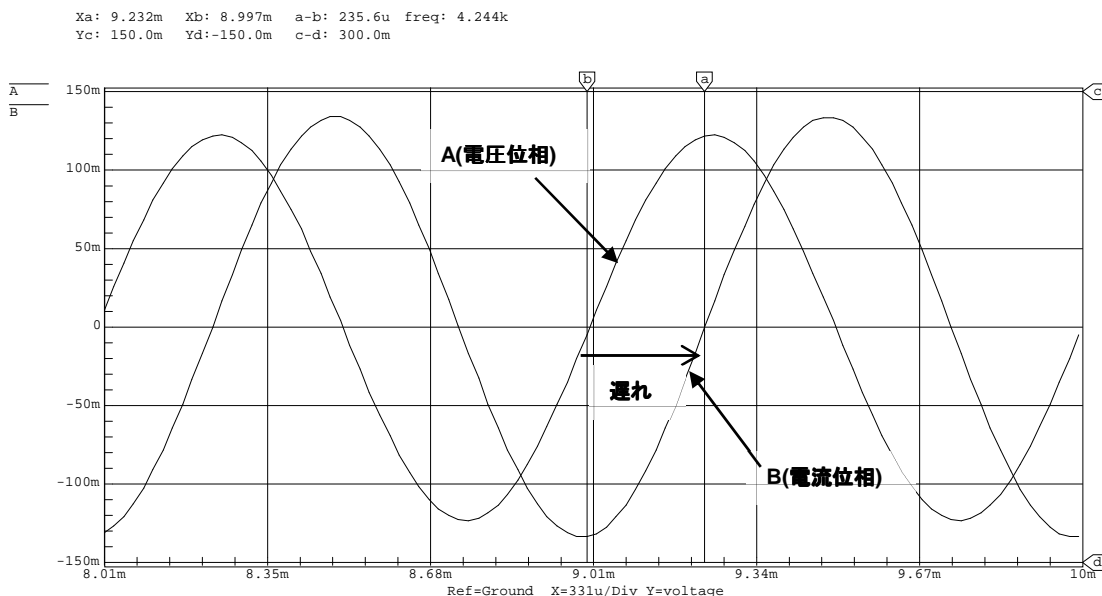
1 位相差

インダクタに交流電圧を加えると 90° 遅れた位相の電流が流れます。製作する L メータはこの現象を利用してインダクタンスを計測します。電流位相が遅れる現象を回路シミュレータで確認したいと思います。使用する回路を以下に示します。



電流波形を確認するために L1 に電流検出用抵抗 R1 を接続します。R1 の値は L1 のリアクタンス ($XL = 2\pi fL = 6.28 \Omega$) の 10%程度に設定します。入力電圧と同位相の波形を見るために R2 と R3 を使用します。

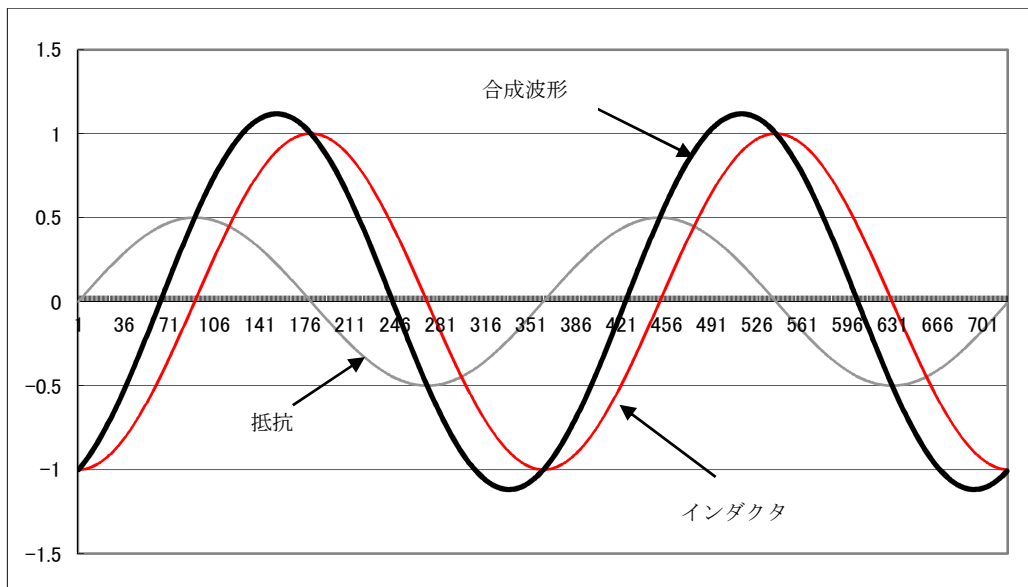
シミュレーションの結果は以下のようになります。A 点の電圧(=入力電圧の位相)に対して B 点の電圧(=L1 に流れる電流の位相)がおおよそ 90° 遅れていることが分かります。



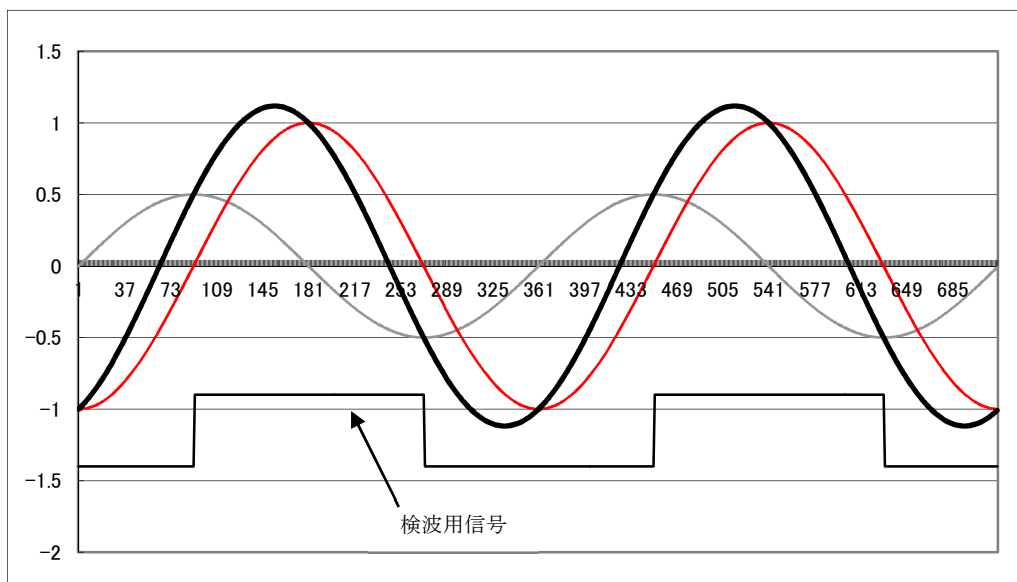
シミュレーションの波形を詳細に調べると遅れ時間は 236(usec)でした。周波数は 1kHz ですから約 85° の位相差になります。ここで生じた 5° の差は電流を観察するために使った R1 の影響により生じたものです。実際のインダクタも内部に抵抗成分を持っており、おおよそ L と R の直列回路になっています。

2 位相検波

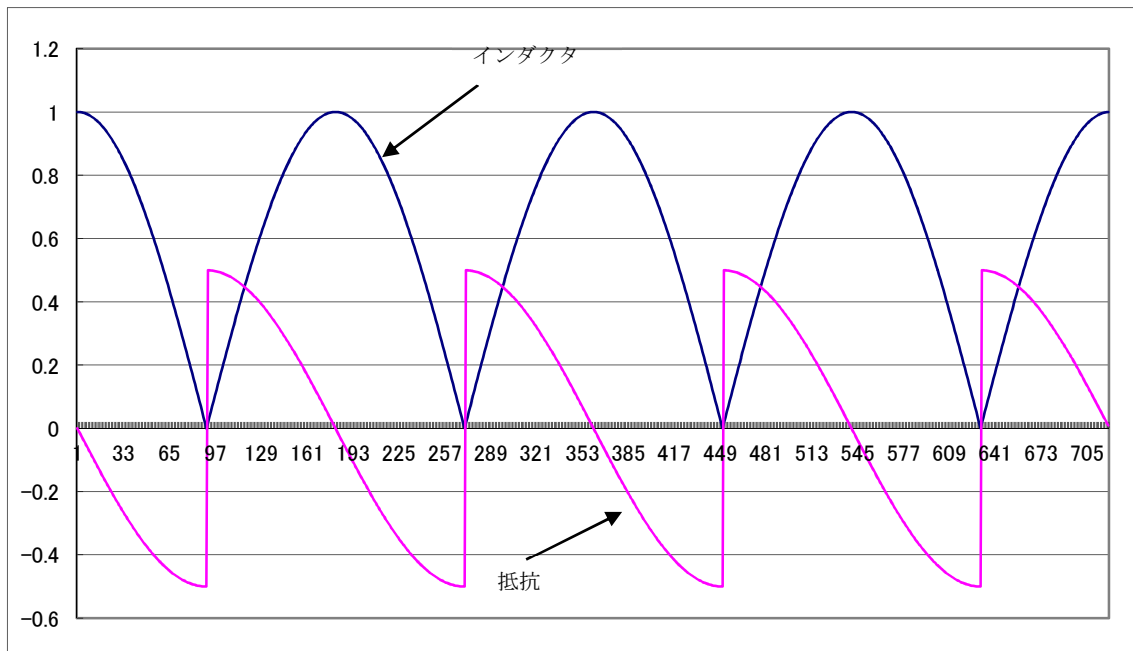
下のグラフを参照してください。多くの場合観測される波形はインダクタ成分と抵抗成分の合成波になります。合成波の大きさを計測しただけでは純粋なインダクタンスを知ることはできません。



合成波からインダクタンス成分を取り出すために位相検波を行います。



インダクタ成分と抵抗成分には 90° の位相差があります。そこで、インダクタ成分と同位相の矩形波を作り ON を 1、OFF を -1 と定義して掛け算します。



インダクタ成分は全波整流の波形になります。抵抗成分は土が相殺される波形になります。掛け算を行うことで抵抗の成分がキャンセルされますので純粋なインダクタ成分の大きさを知ることができます。

このLメータは位相の調整を行えば、少々の抵抗を追加しても計測されるインダクタンスは変わりません。

3 10Ω校正の原理

測定器を自作したときの校正は頭の痛い問題です。このLメータでは高価な基準インダクタや高精度な測定器を使わなくても簡単に校正が行えるように抵抗を使った校正としました。その原理を説明します。

測定回路では電圧電流変換回路を利用し一定の電流をDUTに加えます。負荷に発生する電圧を位相検波しインダクタ成分の大きさをAD変換します。この時のリアクタンスは測定電流が分かればオームの法則

($R = \frac{V}{I}$)で計算できます。しかし、微小な交流電流を計測することは容易ではありません。そこで、基準と

なる抵抗を用いて測定電流を得ることにします。

位相検波の説明でインダクタ成分と同位相の検波信号を使って抵抗成分をキャンセルできることを記述しました。同様に抵抗成分と同位相の検波信号を使えばインダクタ成分はキャンセルされ抵抗成分だけ抽出することができます。この原理を利用してPSoC内部のプログラムから検波信号の位相を切り替えることで基準抵抗から測定電流を求めることが可能になりました。実際の作業は決まった電流が流れるようにLCDを見ながら多回転ボリュームで電流を調整する訳です。

4 実際の測定電流は何mA?

原理は先の説明の通りなのですがプログラムで行っている計算はAD変換値が1Ωあたり何カウントあるかの係数を決めています。仮にこの係数をcalとします。単位は(adcs/Ω)でしょうか！？で、インダクタの計測では、 $XL = \text{測定値} / \text{cal}$ とするのです。

理屈上の測定電流の計算

1ΩあたりAD変換の値 cal = 10(adcs/Ω)

AD変換の精度 14bit

AD変換のリファレンス電圧 ±1.3V

AD変換1カウントあたりの電圧 $V_{res} = \frac{2.6}{2^{14}} = 0.159(\text{mV} / \text{adc})$

$I_{dut} = V_{res} \cdot \text{cal} = 0.159 \times 10 = 1.59(\text{mA})$

付録A. 理屈上の分解能

レンジ0	$XL = \frac{0.159 \times 10^{-3}}{160 \times 1.59 \times 10^{-3}} = 0.625(\text{m}\Omega)$ $L = \frac{0.625}{2\pi f} = \frac{0.625}{6283} = 0.099(\mu\text{H})$
レンジ1	$XL = \frac{0.159 \times 10^{-3}}{16 \times 1.59 \times 10^{-3}} = 6.25(\text{m}\Omega)$ $L = \frac{6.25}{6283} = 0.99(\mu\text{H})$
レンジ2	$XL = \frac{0.159 \times 10^{-3}}{12 \times 0.3975 \times 10^{-3}} = 33.3(\text{m}\Omega)$ $L = \frac{33.3}{6283} = 5.3(\mu\text{H})$
レンジ3	$XL = \frac{0.159 \times 10^{-3}}{3 \times 0.099375 \times 10^{-3}} = 533(\text{m}\Omega)$ $L = \frac{533}{6283} = 84.8(\mu\text{H})$

企画・開発：



Web: <http://corp.tokyodevices.jp/>

2012/4/2 1.0版