



アプリケーションノート

目次

1. 基礎	..... 2
1.1 ログスキー電流測定器とは？	..... 2
1.2 ログスキー電流測定器はどのように機能するか？	..... 2
1.3 ログスキー電流測定器の利点は？	..... 3
1.4 ログスキー電流測定器と一般的電流測定器との違いは？	..... 3
2. 周波数応答—サイン波形、疑似サイン電流、パルス測定	..... 4
2.1 ログスキー電流測定器の特有な周波数応答とは？	..... 4
2.2 どのようにログスキー電流測定器の高周波数(-3dB)帯域幅を測定するか？	..... 4
2.2.1 kHz~MHzからのサイン電流の位相変動と減衰	..... 4
2.2.2 高速スイッチング過渡現象測定 (sub μ s)	..... 6
2.3 どのようにログスキー電流測定器の低周波数(-3dB)帯域幅を測定するか？	..... 7
2.3.1 位相変動、小電流、低周波ノイズ	..... 7
2.3.2 ロングパルス電流(ms~100's ms)と垂下効果測定	..... 8
3. 精度	..... 10
3.1 PEM社はどのように測定器の目盛りを検査（調整）し、何を基準にしているのか？	..... 10
3.2 直線性	..... 11
3.3 位置精度	..... 11
3.4 ログスキーループの外部電流と外部電圧の効果	..... 12
3.5 温度	..... 12
4. ピーク電流、過重電流(過電圧)、飽和	..... 13
4.1 ピーク電流	..... 13
4.2 RMS電流	..... 14
4.3 ピーク di/dt	..... 14
4.4 絶対最大値 di/dt (ピーク)	..... 14
4.5 絶対最大値 di/dt (rms)	..... 14
5. ケーブリングと負荷出力	..... 15
6. PEM社はログスキーコイルの電圧絶縁をどのように に評定しているのか？	..... 16
6.1 ログスキーコイルを連続的に高電圧で使用するにあたってのアドバイス	..... 16
7. データシート—用語解説集	..... 17

Power Electronic Measurements Ltd

日本総代理店 株式会社トランシー

本データシートに記載された内容はPower Electronic Measurements Ltdの公式な英語版データシートを翻訳したものです。翻訳により生じる相違及び誤りについては責任を負いかねます。正確な内容の把握には英語版データシートをご参照ください。

1. 基礎

全ての計測器には制限があります。このアプリケーションノートはこれらの制限の説明と、エンジニアの方々に PEM 社のログスキー電流測定器の利点を最大限に利用していただく為にあります。

1.1 ログスキー電流測定器とは？

ログスキー電流測定器は電流を測定する為に使われています。電流に比例した出力電圧を（例：1mV/A）提供します。時間の変化と共に、電流を追跡するので、オシロスコープやどのタイプのデータレコーダー上にも電流波形を模写することができます。

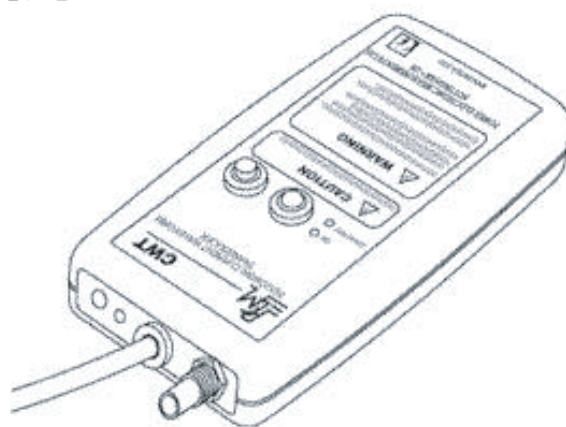
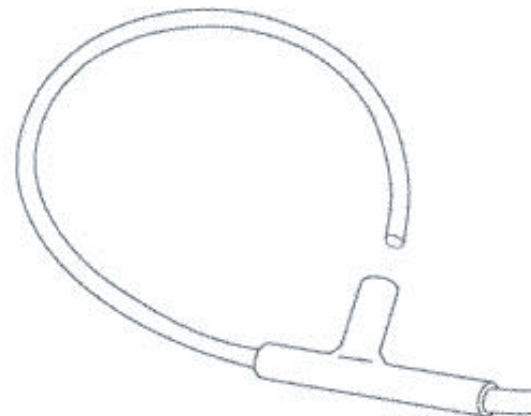
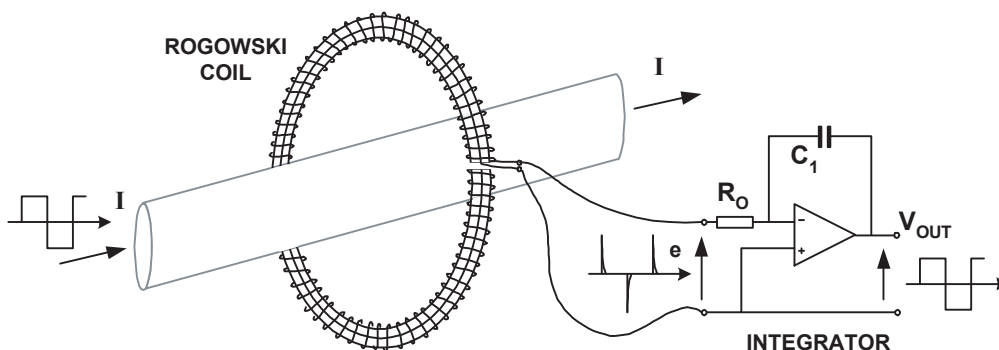
その他にも、RMS 電流を読み取る為にデジタル電圧計（DVM）に出力電圧を繋げることができます。PEM 社は、数百 mA' s から何百キロアンペアまでの電流を測定する為に、一連のログスキー測定器を作り出しています。それぞれの測定器は、図のように同軸ケーブルによって電子式積分器に繋がったログスキーコイルから構成されています。

コイルは回状の十字型部分の細いプラスチックチューブに綿密に巻かれて絶おり、縁体に取り囲まれています。コイルは計測する為に電流を流す被検体や装置の周りをループで囲みます。コイルの一つの末端は接続ケーブルに常に取り付けられています。もう一方の末端は固定されてなく、通常はケーブルコネクションに隣接したソケットに差し込まれています。しかし、その固定されていない末端は、コイルが被検体の周りをループで囲めるようにする為にプラグから抜くことができます。固定されていない末端は、正確に計測する為にフェールにしっかりと取り付けられなければなりません。

コイルはフレキシブルであり、綿密に取り付けられて接近が制限されている被検体や装置の間に差し込むことができます。そのループは円状である必要はありません、また電流を中心に位置する事や、ループの中で均一に分布する必要もありません。

1.2 ログスキー電流測定器はどのように機能するか？

ログスキーコイル内で誘導された電圧は、コイルループで閉じ込められた電流の変化率に比例しています。従って電流に比例した電圧を作り出す為にコイル電圧を集積する必要があります。



コイルは均一で一定のクロスセクションエリア $A \text{ m}^2$ の非磁性型に $N \text{ turns/m}$ で巻かれています。閉ループの形になったら、コイルの中で誘導された電圧 e は下記方程式で与えられます。

$$e = \mu_0 n A \frac{di}{dt} = H \frac{di}{dt}$$

$H \text{ (Vs/A)}$ はコイル感度で、 I はループを通りながら計測される電流です。

ループは円状である必要はなく、 e はループの中での電流位置とは無関係です。オシロスコープに表示できたり、または DVM を使って数値で表わしたりする事ができる測定シグナルとして、電流波形を模写する為には、 $T_i = R_o C_1$ と $R_{sh} = H/T_i$ が (mV/A) で変換感度である $V_{out} = I/T_i \int e \cdot dt = R_{sh} \cdot I$ であるように正しくコイル電圧を集積（統合）する方法が求められます。

1.3 ログスキー電流測定器の利点は？

PEM 社のログスキー電流測定器とは・・・

- ✓飽和させずに大電流を測定する事ができます。
ログスキーコイルのサイズは、必要とされる電流のサイズによって左右されません。
これは電流規模が増加するにつれて大きくなる他の電流変換器とは異なります。
ログスキー測定器より優れた電流計測器はございません。
- ✓簡単に使用できます。
コイルは細くフレキシブルなので簡単に装置の周りを取り付けられます。
- ✓煩わしい事はありません。
測定する電流を流している主回路から電力を引き出しません。主回路に注入されたインピーダンス（電気抵抗）は、たった数ピコヘンリー（pico-Henries）！
- ✓通常 $0.1\text{Hz} \sim 17\text{MHz}$ に広がる広帯域幅を持っています。
計測器で急変化する電流を計測したり、波状を模写したりする事を可能にします。
（例：数千 $\text{A}/\mu\text{s}$ ）非常に不便な同軸分路を例外として、ほとんどの他の電流計測器は約 100kHz の大帯域幅限度があります。
- ✓グラウンド電位で隔離した測定をできます。
他の電流計測器と同様です（同軸分路以外）。すなわち、主回路に直接的な電気接続はありません
- ✓ラージ DC に重ねあった AC シグナルを計測する事ができます。
計測器は直流を計測しない為、結果としてラージ DC の小さな AC 電流を計測する事ができます。
- ✓ $40,000\text{A}/\mu\text{s}$ ほどの速い電流変化も計測する事ができます。

1.4 ログスキー測定器と一般的電流測定器との違いは？

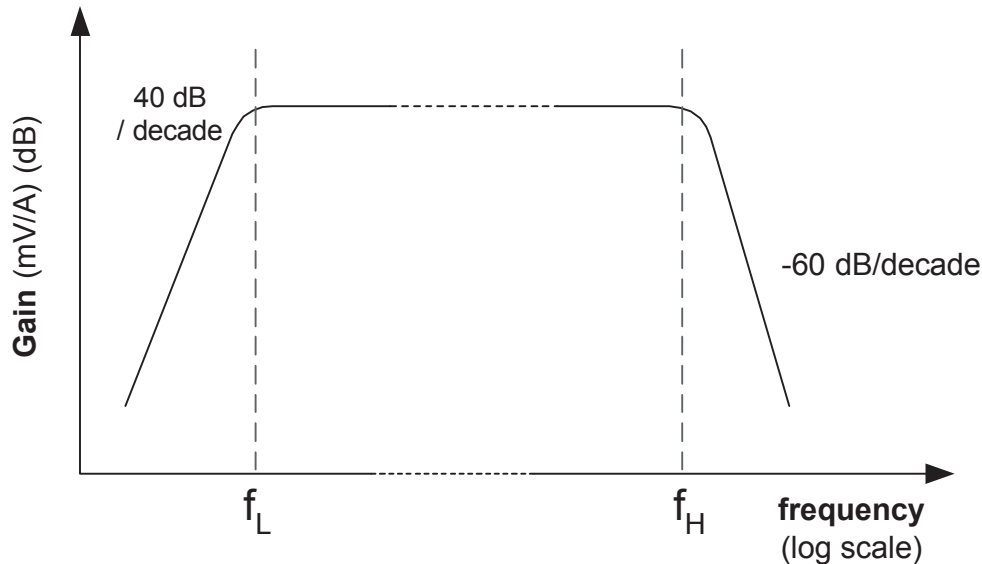
変換器と共通しての主な特徴は、ログスキー計測器は直流を計測せず、交流のみ計測します。しかし、一般的な計測器とは違って PEM 社のログスキー電流波形変換器は・・・

- ✓磁気飽和に悩まされません。
- ✓ダメージなしで大電流過負荷を取得することができます。（ di/dt 定格は超えません。セクション 4.2 と 4.5 に注目）
- ✓計測器サイズに関係なく大電流を計測する事ができます。
- ✓（特定の専門 CTs にも言えるのだが）大帯域幅を持っています。
- ✓・・・そしてもちろんケーブルはフレキシブルで細く、巻き付けるだけ。取り扱いがとても簡単です。

2. 周波数応答—サイン波形、擬似サイン波形、パルス測定

2.1 ログスキー電流測定器の特有な周波数応答は？

サイン電流にとって、計測は下のグラフが示すように、帯域幅といわれる $f_L \sim f_H$ の周波数帯域にわたった特定感度 3dB の範囲内になるでしょう。



PEM 社は幅広い電流を計測する為に、0.1Hz から数 MHz の周波数帯域を含むサイン電流、擬似サイン電流やパルス電流の計測を可能にする数種類のログスキー電流測定器を販売し続けております。

2.2 どのようにログスキー電流測定器の高周波数 (-3dB) 帯域幅を測定するか？

指定帯域幅 (-3dB) に近づいたり、指定帯域幅 (-3dB) を越したりする周波数での計測器動作は、非常に複雑になっております。それは (違う特徴のインピーダンス (電気抵抗) を持つ) コイルと同軸ケーブルの両方とそれらのターミネート (終端) の分布されたインダクタンスやキャパシタンス (電気容量) に関係しており、積分器の為に使われているオペアンプ IC の周波数増幅率の特徴にも関係しています。帯域幅 (-3dB) までは変化が小さいとは言え、ループ内の電流位置によって異なります。

PEM 社はログスキー型測定器の高周波挙動に関するいくつかの出版物を出しています。

これらは <http://www.pemuk.com/publications> からダウンロードすることができます。

PEM 社によって製造されたログスキー型計測器の典型的な高周波帯域幅 (-3dB) は関連性のある仕様書にリストアップされています。これらは、<http://www.pemuk.com/products> からダウンロードすることができます。また電流と見なされた数値は円状コイルループ内の中心で分布されます。

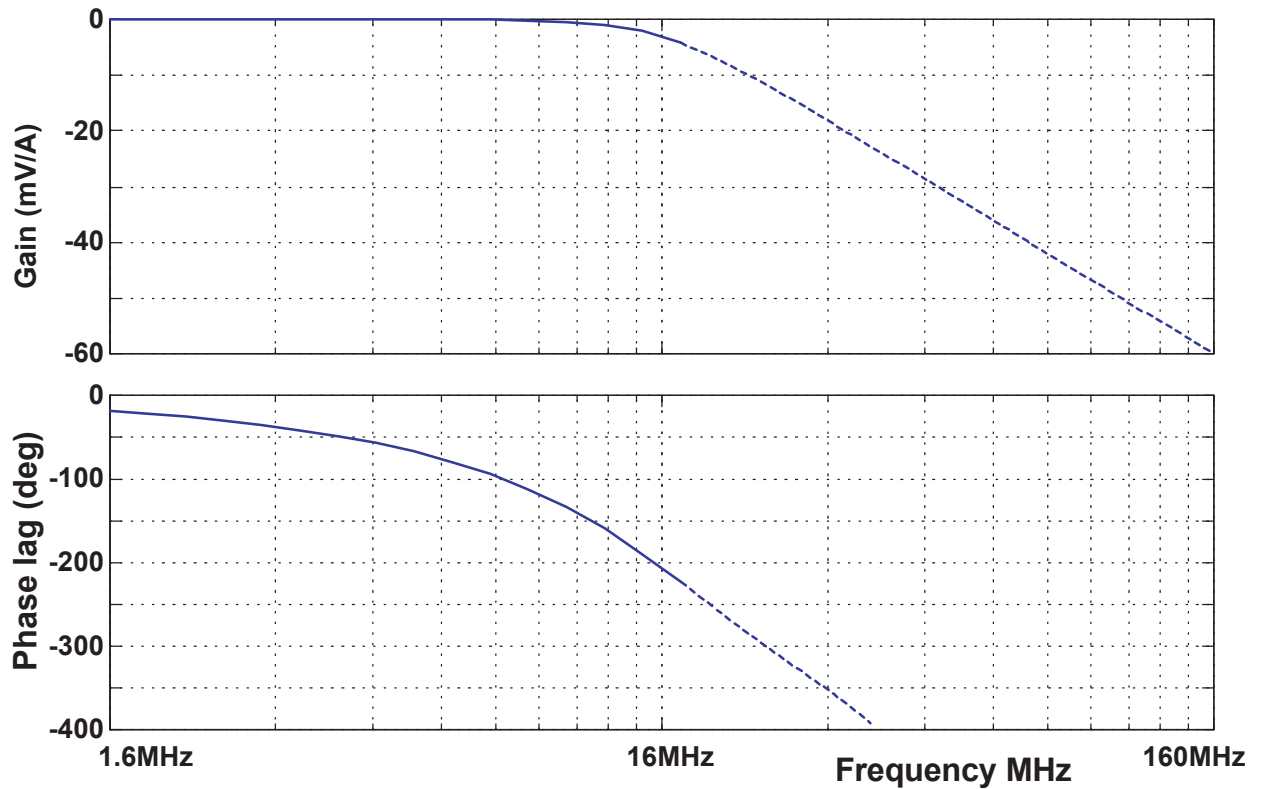
2.2.1 kHz ~ MHz サイン電流の位相変動と減衰

特定の帯域幅に近づく周波数でのサイン電流にとって、測定増幅率 (mV/A) は低減し、位相遅延が増加します。

PEM 社はコイルケーブル積分器システムの詳細にわたるコンピューターシミュレーションをし、(例えば与えられた周波数での位相変動など) どんなパルスや波状のタイプの測定パフォーマンスを予測する事ができます。もし、特定の計測器の高周波挙動に関して質問等ございましたら、ご連絡ください。

下のグラフは CWT6B/2.5/300 (CWT6 の 300mm コイルと 2.5m ケーブル) での高周波パフォーマンスの模擬実験になります。

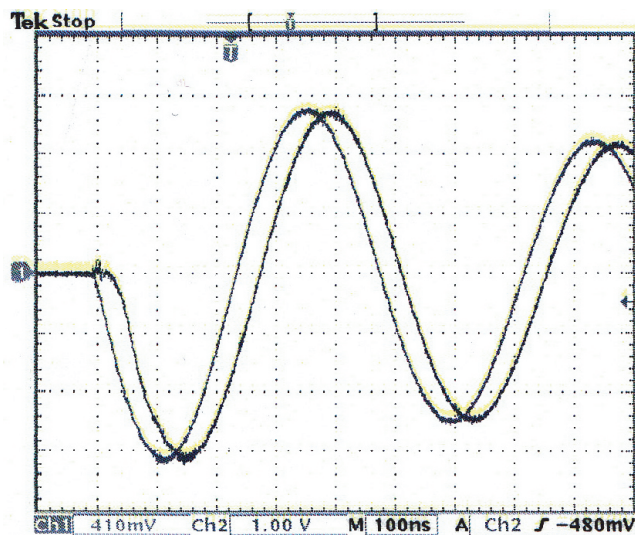
下のグラフは CWT6B/2.5/300 (CWT6 の 300mm コイルと 2.5m ケーブル) での高周波パフォーマンスの模擬実験になります。



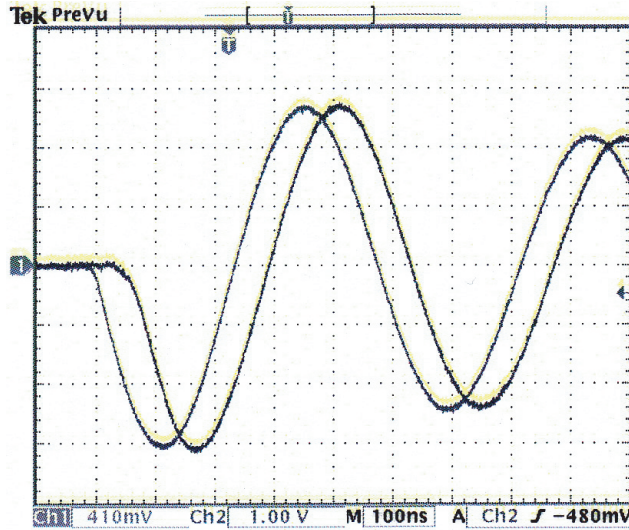
図の破線は -3dB 制限を越える理想的応答を示し、周波数が増加するにつれてパフォーマンスはさらに電流位置次第になるため、破線は理想的です。2.5m ケーブルはかなりの割合の位相遅延を作り出しています。(MHz につき 4.5 度)

例として、下のグラフと次のページのグラフは、CWT6 with $f_H(-3dB)=16MHz$ と、CWT6LF with $f_H(-3dB)=6.5MHz$ 、 $50MHz$ の同軸分路間を比較しています。

CWT6LF は、より低い高周波数帯域幅を持ち、微かな歪みと CWT6 を超えて遅延を強めている事を表しています。



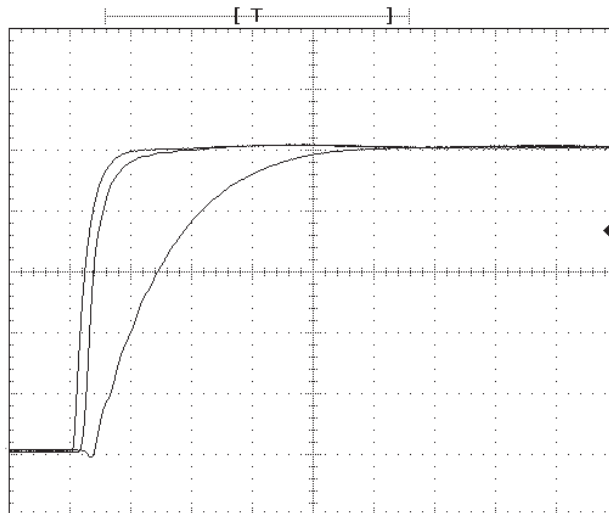
2MHz 減衰サインタイムベースの測定 =100ns/div -300mm コイルと 2.5m 接続ケーブルの CWT6 対同軸分路



2MHz 減衰サインタイムベースの測定=100ns/div -300mm コイルと 2.5m 接続ケーブルの CWT6LF 対同軸分路超高周波帯域幅が必要とされ、低周波のパフォーマンスが犠牲にされる場合の時、PEM 社は受動の集積化を盛り込んだ特注設計のロゴスキー電流計測器をカスタムプロデュースすることができます。http://www.pemuk.com/products/custom.htm をご覧ください。

2.2.2 高速スイッチング過渡現象測定 (sub μ s)

測定者は MHz のサイン電流の測定とあまり縁がなさそうですが、実際には電流パルスまたは Hz 幅にわたる調和成分を含む高速転換（開閉）エッジでの電流波状を測定することができます。このようなパルスやスイッチング過渡現象は形状のゆがみを受けたり、測定器の帯域幅と接続ケーブルの長さによって 20 から 200ns の辺りで測定遅延が生じます。



高速スイッチング過渡現象の測定—時間べーは 250ns/div-10A/div (CWT3 の場合 100A/div)

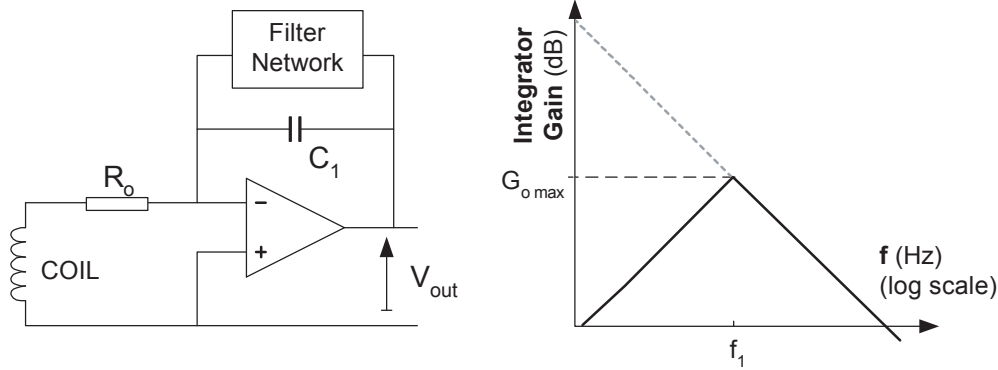
CWT03LF (200mm ミニチュアコイルと 4m 接続ケーブル)

CWT3 (500mm コイルと 2.5m の接続ケーブル)

高性能電流測定器—70MHz—0.1V/A

2.3 どのようにログスキー電流波形測定器の低周波数 (-3dB) 帯域幅を測定するか？

積分器の増幅率は、周波数が低減するにつれて増え、理論上、周波数がゼロに近づくにつれて計り切れなくなります。積分器の帯域幅は、制限されていなければなりません。さもなければ、超低周波での増幅率と dc ドリフトは超過してしまいます。その制限は積分コンデンサと並列接続な低域通過フィルターの設置によって決定します。下の図表は、パフォーマンスの制限を説明するのに十分な積分回路の簡易化されたバージョンを表しています。



全体的な測定器の増幅率—周波数関連はセクション 2.1 の通りに示されています。通常 (-3dB) 帯域幅 f_L はフィルターブレイク周波数 f_1 よりおよそ 20% 大きくなります。

低周波 (-3dB) 帯域幅の設定は、以下の間での折衷案 (の結果) になります。

- ・ 低周波での小電流を測定する測定器の能力
- ・ 位相シフトと垂下の最小化
- ・ 良い高周波帯域幅の維持

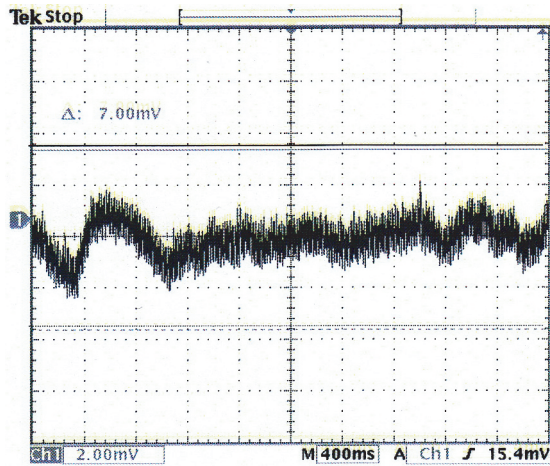
2.3.1 位相変動、小電流、低周波ノイズ

ログスキー型計測器は、簡単に低周波での大電流や高周波での小電流を測定する事ができますが、低周波 (例: 50Hz) の弱電流 (例: 10mA) の測定には適していません。このセクションでは、その理由を説明いたします。

積分器オペアンプは、積分器増幅率が最大限での低周波帯域幅に広がる低周波ランダムノイズ ($1/f$ ノイズ) を起こします。このノイズの絶対値は、 H がコイル感度である $1/f$ $1H$ に比例します。それぞれ測定器の最大ノイズ数値は、ピークとピーク間の電圧として仕様書に載っています。CWT15 の低周波ノイズ例は、次のページで予測されたノイズ (7mVp -p) の絶対値が、オシロスコープトレース (跡) 上にカーソルバーによって示されています。

ノイズを最小限にする為に、低周波帯域幅は縮められますが (すなわち f_L は増加)、低周波での位相ひずみの増加をもたらします。その代わりに、 H が高数値であるコイルを使用できますが (コイルインダクタンスを増やすので)、計測器の高周波帯域幅までも縮めてしまいます。

測定器が 50Hz (通常は $1\sim 2^\circ$) で小位相の進みを持つように大半の PEM 社の定器は最大ノイズの数値と低周波帯域幅での間の解決策を見いだしています。



CWT15 の時間ベースから測定された低周波ノイズは 400ms -2mV/div

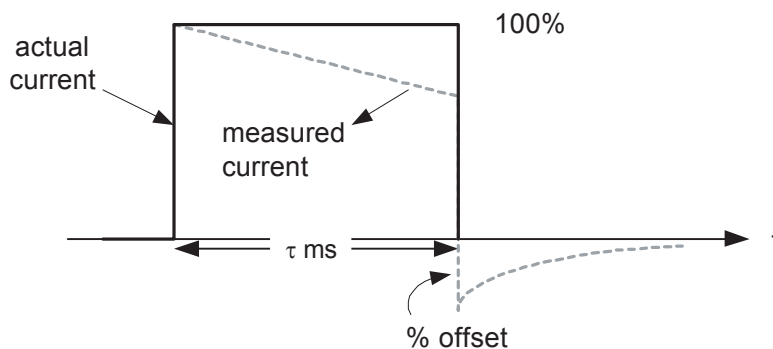
CWT (200mV/A \sim 20mV/A) の積分器増幅率は高感度範囲のため比較的高く、低周波帯域幅は、許容レベルにノイズダウンを保つために縮められなくてはなりません。例えば、200V/A の感度と 30A のピーク電流の CWT015 は、150Hz の f_L 帯域幅を持ちます。

反対に、CWT15LF は広範囲にわたる低周波帯域幅を持つので、低周波での小電流の測定に適しています。

例えば、 $f_L=0.8\text{Hz}$ での CWT15 と比べると、CWT15LF は $f_L=0.11\text{Hz}$ を持ちます。これに達するため、高 H 値でのコイルは使用され、高周波帯域幅を縮めます。

2.3.2 ロングパルス電流 (ms \sim 100' s ms) と垂下効果測定

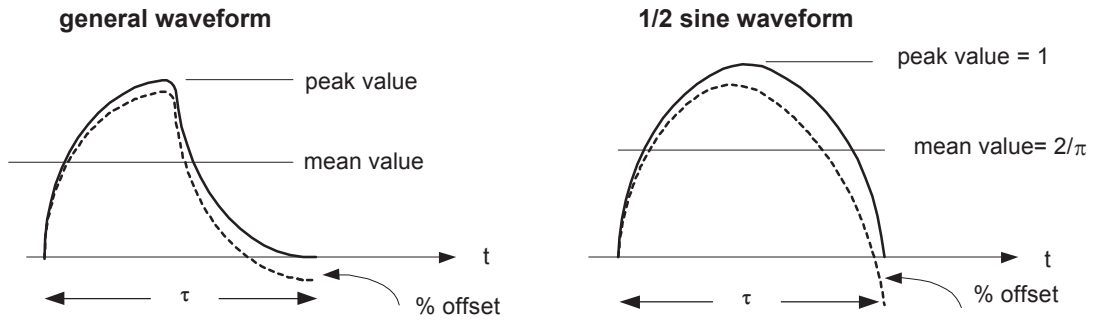
(改造電流や整流電流などの) サイン電流ではない波状にとって、低周波での位相変位の影響は、波状のゆがみの原因になります。これは比較的長期の電流パルスにも当てはまります。このゆがみは垂下 (droop) と呼ばれ、その影響は下の図に表されています。



出力はやがてユニットの低周波帯域幅によって測定された時定数 T とともにゼロにまで減衰します。

PEM 社は各計測器の直角パルス垂下値を $\%/ \text{ms}$ で定義します。特定のユニットの垂下値は、関連の仕様書に明記されています。

下の図表は、与えられたパルス TIME DURATION τ (where $\tau \ll T$) の % オフセットがどのように与えられた直角パルスの垂下値を計算する事ができるかを表しています。



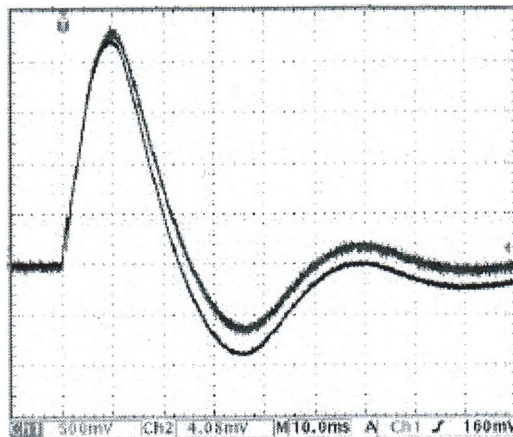
通常の波状

$$\% \text{ オフセット} = \tau \times (\text{平均値} / \text{ピーク値}) \times (\% / \text{ms での垂下})$$

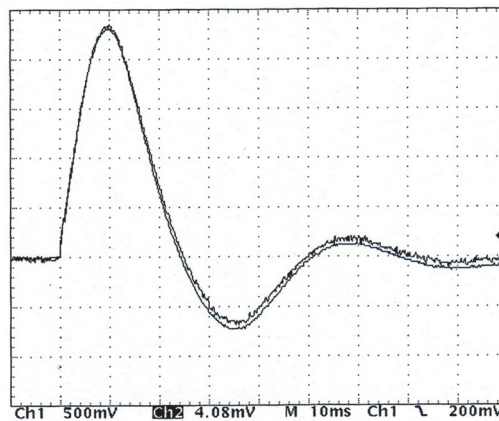
例：1/2 サイン波状

$$\% \text{ オフセット} = \tau \times (2/\pi) \times (\% / \text{ms での垂下})$$

下の2つのオシロスコープトレースは、CWT6、CWT6LF、同軸分路による計測間の特定比較を表しています。このシャントはドロップがありません。またCWT6LFは、CWT6のfL=1.0Hzと比べて下位のfLが0.27Hzなので、とても改善された垂下パフォーマンスになります。



コンデンサの放電時間の測定 =10ms/div -100A/div -CWT6 対同軸分路



コンデンサの放電時間の測定 =10ms/div -100A/div -CWT6LF 対同軸分路

3. 精度とキャリブレーション

3.1 PEM 社はどのように測定器の目盛りを校正し、何を基準にしているのか？

感度 $\leq 10\text{mV/A}$ の場合

測定器は、ほぼループの中心でコイル面と垂直である 50Hz 試験電流で校正されています。測定器定格に応じて、50Hz で 400A、1000A、2000A、4000A の RMS 電流を使用されています。

試験電流定数を 0.2% 以上に保つ Ac 電流コントローラーは、改良されてきています。

UKAS は 4000:1 電流測定器を測定し、負担抵抗器は変換器測定値との比較の為に使われています。

変換器積分増幅率は、変換器にとって特定の発電量（出力）の 0.2% 以内の測定値を与える為に整えられます。

積分器の増幅率は高い安定性によって整えられるので、時間が経つにつれての変換器感度やコンデンサはほとんど変化しません。

数年間ご使用になられますとキャリブレーション（周波数の校正）と、1% 未満の調整が必要となっています。

AC 電流コントローラーはパワーエレクトロニクス会議（1999 年 ヨーロッパ）で、会議論文のテーマでした。

詳細は <http://www.pemuk.com/publications> からダウンロードできます。

感度 $\geq 20\text{mV/A}$ の部分

測定器は（ループの中心の電流に近づく方法で）コイルの外周周りに広がる 2kHz の試験電流で測定されます。

範囲 10A ~ 100A の RMS 電流は測定器定格（評価）によって使い分けています。

正確な信号発生器と広帯域幅の増幅器は試験電流を起こします。広帯域幅 CT を測定する UKAS は、比較目的のために使用されます。

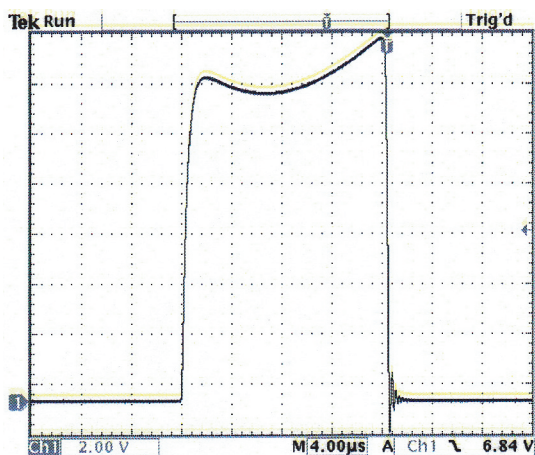
積分増幅率は、測定器にとって特定出力電力の 0.2% 以内の測定値を与える為に整えられています。

高周波パフォーマンス

高周波パフォーマンスは、コイル感度に応じて約振幅 150A、300A か 1500A の 17 μsec パルスを使ってチェックされます。

パルスは下の図（最大 7000A/ μs までの di/dt）のように高速上昇落下エッジを持っています。

そのパルスはロゴスキー測定器と比較の為に 20MHz のピアソン CT によって計測されています。



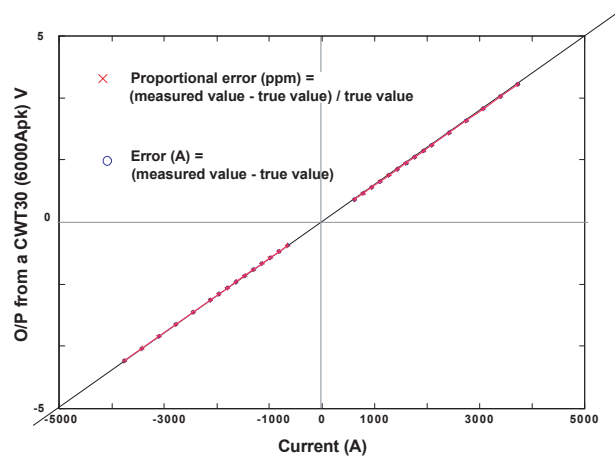
時間ベース = 4.0 μs

3.2 直線性

直線性誤差は実際の電流値 I と計測値 V_{out}/R_{sh} (計測器の感度が R_{sh} の時) は異なります。固定周波位置と固定電流位置のため、直線性誤差は計測器の定格範囲にわたり電流最大値によって変化するでしょう。

ロゴスキー電流波形測定器は磁気物質を含まないので、電流最大値に関する飽和あるいは非線形効果がない為、まさに直線であると言えます。

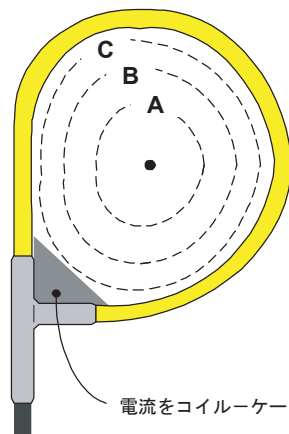
例えば、CWT30 ($R_{sh}=1.000mV/A$ そして定格の $6kA$ のピーク電流) を使ってテスト致しました。50Hz 電流は定位置でキープされ、コイルループの中心であり、ゼロから規定値まで $200A$ ずつ増加しました。極大差は ($3600A$ 電流で) $1.7A$ であり、最大比例誤差は $930ppm$ ($1400A$ 電流での誤差 $1.3A$) でした。したがって直線性は最大測定限界の 0.05% より多いか、または実際の測定値の 0.1% であるという事が分かりました。電流を測定する正確さは、誤差と同じ状態だったので、直線性はこれより実際よいかもかもしれません。



3.3 位置精度

巻線密度とコイル断面積の小さな変化が原因で、測定器出力はコイルループ内の電流位置によってわずかに異なります。スタンダードコイルにとって、電流ループの周りの被検体を動かすことに関係しているエラーは、通常較正值の $\pm 1\%$ になり、ミニチュアコイルだと通常 $\pm 2\%$ になります。

下の図はコイル中の精度の変化を表しています。一番精度が衰える箇所は、接続ケーブルとコイル接合部に位置する箇所になります。ここでのエラーは通常 4% になります。ほとんどのアプリケーションの中で電流はコイルループ内の至るところに広がるので、測定値は較正值にかなり近くなるでしょう。



スタンダードロゴスキーコイルの位置精度 - 点電流源とエラー%

Type	A	B	C
Miniature Coil	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 3\%$
Standard Coil	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$

電流をコイルケーブル接合部 (影の部分) に近づけないでください。この部分のエラーは最大です。

3.4 ログスキーループの外部電流と外部電圧の効果

エラーは近くの電流の存在が原因で発生することもあります。ログスキーコイルループの外は理想的にも測定値を出しません。しかしながら、コイル脇に近い絶対値 100A の外部電流は、最大 ±2A の測定値を出すでしょう。このエラーは外部電流がよりコイルから離れるにつれてかなり減少するでしょう。

もし（コイルループ外）外部電流が（コイル内の）計測されている電流より大きいと、エラーは大きな影響を与えるでしょう。もし外部電流がマルチターンコイルのすぐ近くに流れ込むと、これは特に直接的に関係します。

同様に、もしコイルと接近する高電圧の面があり、その電圧が高い変化率（例：数 100V/ μ s）、または MHz 範囲での高周波振動になりやすいと、コイルとの容量結合（静電結合）の為、障害が起こります。

外部電流あるいは電圧の効果チェックとして、使用者は、目的とする電流を測定するのに使う位置とほとんど同じ位置にログスキーコイルを設置するべきです。しかし目的とする電流にループを巻きつけてはいけません。

理想的には、そこに測定信号はあるべきではありません。

もし障害があるなら、その同じ障害は測定される時、電流波状に重なり合うでしょう。

また、測定を解釈する時、これは考慮されます。

3.5 温度

全体のログスキー型測定器の感度は、定格温度の範囲を超える為、温度によって変化します。

- ・ コイル感度は、主にコイルのプラスチック形成（巻型）の拡大が原因で、温度の上昇で減少します。
- ・ 積分時定数をセットする受動部品数値データ（value）は、温度でわずかに移動します。

これらのエラーの原因は、低膨張係数のプラスチック形成（巻型）と高い安定性コンデンサと抵抗器の使用によって最小化されています。

下の表は、それぞれの製品タイプの温度効果概要になります。

Product Type	Rogowski coil		Integrator	
	Temperature range (°C)	Thermal coefficient (ppm/°C)	Temperature range (°C)	Thermal coefficient (ppm/°C)
CWT	-20 to 100	-150	0 to 40	±100
CWT Mini	-20 to 100	no data	0 to 40	±100
RGF	-20 to 70	-200	0 to 50	±120
IRF	-20 to 70	-200	-10 to 55	±120

4 ピーク電流、過重電流（過電圧）、飽和

4.1 ピーク電流

計測器は定格ピーク電流の 6V を出力する為に設計されています。もしピーク電流がその定格を上回ると、積分器は飽和状態になり、測定された波状は（出力波形が単に切り取られた増幅部と違って）完全に崩れるでしょう。

上回った定格ピーク電流は、 di/dt 定格を備え付けた計測器を傷つけません。過電流が通り過ぎた後、正常動作に戻ります。

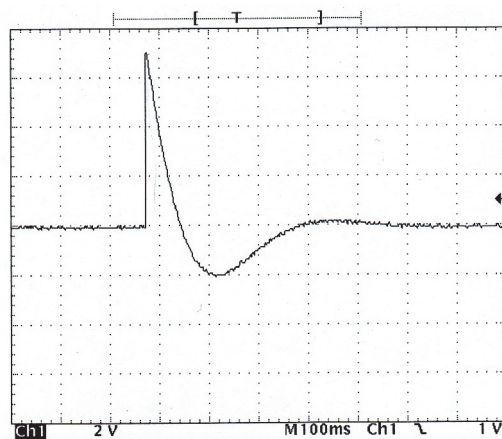
計測器が一度サージを過ぎ、正常動作に戻るまでにかかる時間は、ユニットの低周波帯域幅によって決まります。

例えば、次のオシロスコープ波形は、CWT03 と CWT03LF の飽和からの回復を表しています。二つの測定器には、飽和の原因になりうる十分な 100A の dc 電流を意図的に流しております。

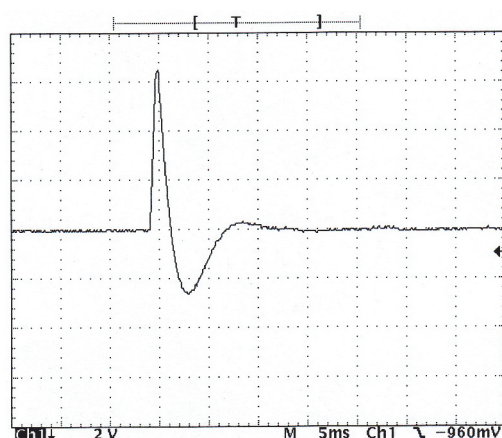
（定格ピーク電流は、6V の出力電圧に対応する 60A です。）

CWT03LF は伸びた低周波帯域幅 $f_L=2.2\text{Hz}$ を持ち、飽和から回復する為に約 350ms を必要とします。

一方で CWT03 は、 $f_L=105\text{Hz}$ を持ち、約 13ms のうちに飽和から回復しています。



CWT03LF- $f_L=2.2\text{Hz}$ ー時間ベース 100ms



CWT03- $f_L=105\text{Hz}$ ー時間ベース 5ms

4.2 RMS 電流

rms 電流へのリミットはありません。

4.3 ピーク di/dt

ピーク di/dt は測定器が電流を正確に測定出来る最大値を示す数値です。
数値データは、仕様書に載っています。

4.4 絶対最大値 di/dt (ピーク)

測定器はコイルで発生した電圧が原因で過度の di/dt によってダメージを受けます。
仕様書には、それぞれの測定器の上回ってはいけない di/dt の絶対最大定格が載っています。

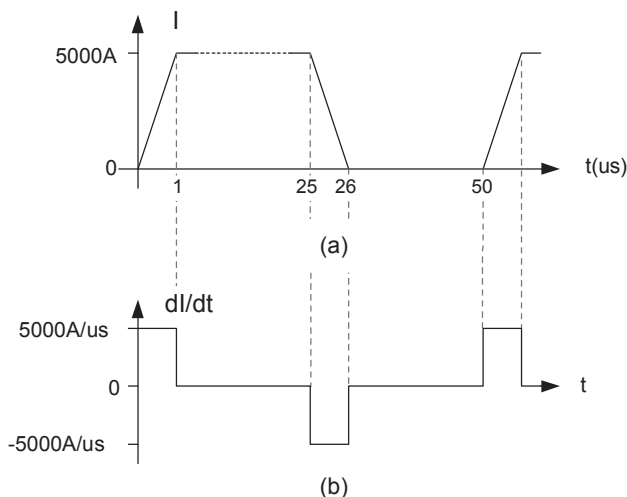
4.5 絶対最大値 di/dt (rms)

ピーク di/dt 定格は上回ってなくても、測定器は高い反復性の di/dt によってもダメージを受けます。
減衰抵抗器は、測定された波状に現れる反射（高周波減衰振動として見られる）を防ぐログスキーコイルとケーブルの正確な末端を作り出す為に使われています。高反復 di/dt は、抵抗器で浪費される過度のパワーの原因になるでしょう。

サイン波状の rms di/dt の計算は、直線的になります。

$di/dt_{rms} = 2\pi f I_{rms}$ (f が測定された周波数になり、I rms は測定された電流の rms 数値になります)

パルス波状の di/dt rms 計算は下記になります。



グラフ (a) で示されている電流波状 (20kHz の反復周波数) と、グラフ (b) は対応する di/dt 波状を表しています。

Rms di/dt は $5000 \text{ A}/\mu\text{s} \times (1 \mu\text{s}/25 \mu\text{s}) 0.5 = 1 \text{ kA}/\mu\text{s}_{rms}$ によって出されます。

とても高い di/dt 定格を必要とされ、低周波パフォーマンスが犠牲になる場合は PEM 社が特注設計を致します。
もしくは抵抗しない集積化のログスキー電流測定器ご参考下さい。(製品をご確認ください)

5 出力ローディングとケーブリング

ロゴスキー測定器の IRF 範囲を除いて、測定器に繋がっている計測装置（オシロスコープ、DVM、パワーレコーダーなど）にとっての最小入力インピーダンス（電気抵抗）は、定格精度の為に 100k Ω またはそれ以上でなければなりません。

IRF は、定格精度の為に少なくとも 10k Ω の入力インピーダンス（電気抵抗）を必要とします。IRF は装置に常設型であり、低めの入力インピーダンスは、データ収集装置の広範囲と整合させます。

全ロゴスキー電流波形測定器の出力インピーダンスは、約 50 Ω あります。計測器の出力をデータ収集装置と結びつける為のケーブル（0.5m のユニット付の同軸ケーブルよりも長い物）は、個々に 50 Ω 遮蔽同軸ケーブルであるべきです。

今のところ 0.5m より長いケーブルは、イミュニティテスト（電磁波耐性テスト）には含まれておらず、

RF 雑音排除性（ノイズイミュニティ）を減少させるだろうが、PEM 社はノイズ観点から問題がある延長ケーブルの使用を考慮しません。PEM 社は、25m 延長を使ってテストを行い、

測定された電流信号の認識できる減衰は発生しませんでした。予想通り、5ns/m の測定遅延の増加があります。

PEM 社のロゴスキー電流波形測定器は 50 Ω インピーダンス内で終端処理することはできません。積分オペアンプは、50 Ω ロードを動かす為の出力電力キャパシタを十分に持っていません。

6. PEM社はロゴスキーコイルの電圧絶縁をどのように評定しているか？

ロゴスキー電流波形測定器のCWTとRGF幅は、計（測）器の使用を対象としており、装置への常設向きではありません。これらの測定器のピーク電圧絶縁定格は、測定器が継続的に高電圧で使用されるものではないという事実を反映しています。（絶縁性を保てる最大の定格電圧値）

PEM社が提供する全てのロゴスキーコイルは、ピーク電圧絶縁定格を与えられています。定格は、次のテストから導き出されます。

コイルは、50Hzで60秒間のAC試験電圧(kV) = $(2 \times \text{ピーク定格電流} + 1) / \sqrt{2}$ (kV) でテストされています。例として、5kVピーク絶縁コイルは、1分間8kVrms (11kVピーク) 50Hzでの試験を受けました。

利用者（ユーザー）は、ロゴスキーコイルとケーブルの絶縁損傷の点検を使用する度に行うべきです。全てのロゴスキーコイルは少なくとも2つの巻線を覆う絶縁の層を持っています。これらは簡単に、絶縁の完全性視覚検査ができるよういつも違う色を使っています。

安全の点では、ユーザーはBNCコネクタを必ずアースに接地して下さい。（過度の電圧定格または機械的損傷が原因で）コイルでの絶縁破壊の場合、故障電流路は接地したBNCケーブルへ同軸ケーブルを通して存在します。

“流動的なオシロスコープ（振動吸収装置の有るもの、電源に接続されていないもの）”の接続はご使用にならないで下さい。

6.1 ログスキーコイルを連続的に高電圧で使用するにあたってのアドバイス

プラスチック（絶縁体で覆っている物）素材の物を測定いたしますと、PEM社のロゴスキーコイルはコロナ放電にさらされる事によってダメージを受けます。

CWTとRGFのロゴスキーコイルは、PEM社が指定したピーク電圧より大きくない電圧での断続的な使用の為に設計されています。それらの条件の為、コロナ放電の影響は小さく、そしてコイル絶縁の低下は、ごくわずかです。しかも、コイルを使用する度に絶縁へのダメージを検査する事ができます。

IRFは簡単に取り付け可能な設計になっております。3kVピーク未満の対地電圧（例：サイン電圧の2kVrms）にとって、コロナ放電の影響はごくわずかであり、連続使用も認められています。

3kVピーク以上の対地電圧のために、コロナ放電がコイル付近で起こらないような絶縁体とコイルは絶縁体高圧被検体を使い、コイルを装置より十分に遠ざけお使い下さい。鋭角付近ではロゴスキーコイルを使用しないで下さい。なぜならコロナ放電が起きやすい鋭角付近では、ロゴスキーコイルの高電圧構造体上では避けるべきです。PEM社は、お客様がどのようにロゴスキーコイルをインストールするかを管理できない為、HV環境での作動継続的長寿命責任はお客様にございます。

製造中に全てのコイルに適用するPEM社の1分間瞬間テスト（引火点試験）を実施し、発送時にコイル絶縁体の完全性を証明します。そして1分間瞬間テストは、高電圧被検体 / 装置がコイルに至近距離か接触している時、3kVピークを超える電圧への連続的露出に適合する事を目的としていません。

7. データシート—解説用語集

データシートは、・CWT スタンダード範囲・CWT ミニチュア範囲・CWT LF 範囲・RGF 範囲・IRF 範囲に応じる事ができます。データシートは、範囲内でのそれぞれの変換器の様々な性能パラメーターを明記します。下に簡単に要約されています。更なる詳しい説明はアプリケーションノート内にあります。

- ・感度 (mV/A) — 出力電圧と特定の周波数範囲のために測定された電流との瞬間的な関係。
- ・帯域幅限界に近づくにつれて、感度は減少します→セクション 2.1 を参照
- ・LF (3dB) 帯域幅、fL (Hz) — 感度が規定値の 70.7% まで減少する低周波数限界→セクション 2.3 を参照
- ・HF (3dB) 帯域幅、fH (Hz) — 感度が規定値の 70.7% まで減少する高周波数限界。
- ・コイルの長さが増すことで fH は減少します→セクション 2.2 を参照
- ・ピーク電流 (kA) — 測定する事のできる AC 電流の最大瞬時値→セクション 4.1 を参照
- ・ピーク di/dt (kA/s) — 測定できる電流最高変化率→セクション 4.3 を参照
- ・di/dt の絶対最大値 (kA/s) — もし限度を超えると変換器にダメージを与えるピーク di/dt と rms di/dt の数値→セクション 4.4 と 4.5 を参照
- ・垂下 (%/ms) — 一定振幅の電流パルスの測定が時間とともに減少する率→セクション 2.3.2 を参照
- ・ノイズマックス (mVp-p) — 変換器出力で現れるランダム低周波ノイズの最大ピークトゥピーク変動。
ノイズは主に LF 帯域幅周辺の周波数で分布されます→セクション 2.3.1 を参照

50Hz での位相の進み (deg) — 50Hz サイン電流の出力測定の位相関係。もし、50Hz での進みが 2 度 (程度) より大きければ、進みがおおよそ 2 度 (程度) の高周波化に向かって位相の進みが起こります。

与えられた位相の進みは小さい時、他の低周波数 f (Hz) の値での位相の進みは、下記関係から得る事ができます。

$$F \text{ での位相の進み} = 50\text{Hz での位相の進み} \times (50/f)$$

- ・直線性 — コイルとの関連で定位置内の電流にとっての電流量変動での感度の変動→セクション 3.2 を参照
- ・精度 — コイルとの関連で電流位置の変動での感度の変動→セクション 3.3 を参照
- ・ピークコイル電圧分離 — 断続的な使用の為、コイル表面上またはその近くの最大安全電圧。
コロナ放電が長時間にわたってコイルにダメージを与えない事を常設のために保障しなければなりません。
コイルと高圧被検体の間に追加の絶縁体と / 又は空間が必要になります。
又は、低い安全電圧でのオペレーション (操作) が必要で→セクション 6 を参照

製品に関するお問い合わせは

PEM 社日本総代理店
株式会社トランシー
〒150-0002
東京都渋谷区渋谷 1-6-7 ICI ビル 2F TEL 03-3486-7211 FAX03-3486-7214
e-mail info@trancy.com URL www.trancy.com