MIJD16-027

AC 抵抗ブリッジ 対 DC 抵抗ブリッジ: いろいろな説明

精密な抵抗校正を実施する上で抵抗ブリッジを活用することは、この何十年も間で一般的になっています。抵抗ブリッジを運用する上で“DC と比べて AC の方がいい”、“ AC と比べて DC の方がいい”とか、いろいろな報告がありますが、この報告では、いろいろな質問に答える、Q＆A方式で説明させていただきます。なお、この内容は温度計測に適用することを前提に、この個々のブリッジの仕様、技術から優位性、弱点を説明します。

質問 1. AC ブリッジは、DC ブリッジと比べ、計測の安定性、精度で優っていますか？

いいえ。ACブリッジ、DCブリッジともに、抵抗値を比較するキーになる部品としてトランスを使用しています。トランス自体は入力電圧に比例した信号を出力するだけです。両方のブリッジとも、計測した比率信号は（ランダムノイズを除いて）トランスの巻線比に従っています。さらに両方のブリッジとも、部品の経年変化や計測環境の変化によりドリフトや精度変化を発生することもありません。よって差はありません。

質問 2. DC ブリッジは寄生熱起電力の影響を受けやすいですか？

これはある意味、正しいです。ただし一般的には、いいえです。一般的な DC ブリッジは、その計測電流の極性を計測の都度、切り替える機構を内蔵しているので、寄生起電力の影響をうけにくい構造になっています。なお計測全体で発生する不要なトラブル要因は極力、排除するよう注意することは重要です。

一般的な DC ブリッジでは、不要な熱起電力を除去するための配慮として良質な銅コネクタの活用と、ドリフト対策としてコネクタ部のシールドカバーを設けています。。

質問 3. ペルチェ素子で温度制御することは、DCブリッジでの計測に誤差要因になりますか？

いいえ。ペルチェ制御電力は、熱起電力にセンサ計測電流を掛けること求めることができます。ペルチェ素子では10μV以下の熱起電力があります。1mAの計測電流を流すと消費電力は 10nW 以下になります。ジュール熱で比較すると、25Ωの SPRT で 1mAの計測電流を流すと25μW に相当します。ペルチェ素子の制御電力はセンサの自己加熱の消費電力の数桁以下のレベルで、計測不可能なレベルです。よって、ペルチェ素子の制御動作が DC ブリッジの計測誤差の要因にはなりません。

質問 4.　AC ブリッジの電源ラインからの対ノイズ特性は DC ブリッジより大きいですか？

いいえ。AC ブリッジは近接する電源ラインからの影響、特には分数高調波や非同期のノイズがあると、影響を受け易くなります。そのため AC ブリッジを使用している標準室は定点実現装置に直流電源の温槽を使用される傾向があります。

質問 5.　AC ブリッジの計測回路のノイズは DC ブリッジより小さいですか？

条件によります。多くの標準室で 25Ωの SPRT を AC ブリッジで計測した場合、10μK のオーダのノイズを確認しています。彼らは温槽の加温するヒータに直流電源を使用し、電源系からの雑音やリアクタンスからの影響を少なくするよう配慮しています。そのような配慮なしに AC ブリッジを使用すると、50μK 程度の計測ノイズを確認してしまいます。我々の標準室は DC ブリッジを使用していますが 15μK 以内のノイズです、これは AC ブリッジを使用した場合のノイズ 50μK よりは良好であると云えます。ただし、この追加説明をさせて頂きますが、上記の結果で我々の標準室の温槽では交流ヒータを使用しており、電源系からの誘導ノイズ等の雑音が計測結果に入ることを排除するような配慮は意識的にはしていません。

質問 6.　AC ブリッジの処理速度は DC ブリッジより速いですか？

正しいです。殆どの技術者は『AC ブリッジは計測条件が安定化し、計測動作を行う時間が DC ブリッジより速い。』ことに同意します。殆どの高精度 AC ブリッジは 20 秒以内に安定化し、10 秒毎に計測することは、通常の運用条件です。 設定条件を粗くすると、2 秒毎に計測することも可能でしょう。一方 DC ブリッジでは、最高速度、最高精度の設定で、最初、1分程度の時間で安定化し、6 秒から 10 秒毎に計測することが可能です。この計測間隔は、粗い条件に設定することで、2 秒毎まで速くすることも可能です。よって計測速度が要求される、あるいはプロセス制御に適用する場合は、AC ブリッジに優位性があることは正しいです。速度が重要な事例の適用には、廉価な DC 計測器が適用できます。この廉価な計測器では極めて短時間の安定待ち時間、短い計測間隔で計測できます。これら廉価な DC 計測器は AC 計測器より処理がかなり速く、二次レベルの PRT の校正に適し、複数のセンサを使った、高速計測が必要なプロセス制御の適用先に向きます。

質問 7.　DC ブリッジのウォームアップ時間は AC ブリッジより長い時間が必要ですか?

たぶん正しいです。DC ブリッジでは精度保障するための推奨ウォームアップ時間を約 10 分としています。ただしブリッジは可搬型の計測器として想定していないので、これは重要な問題ではないのかもしれません。つまりブリッジはある計測環境に継続して設置し、通電状態を維持しているからです。よって、短時間で運用開始が可能だからです。

質問 8.　AC ブリッジの計測誤差の要因はセンサ素子、リード線、抵抗器に含むリアクタンス成分によるものですか？

通常は、そうではありません。理由はACブリッジの内部処置で、計測中に発生するリアクタンス誤差は除去しているからです。殆どの SPRT（温度計測用）や標準抵抗器では、このインダクタンス成分を最小化するよう設計しています。更に、AC ブリッジの運用でインダクタンス、リアクタンス成分を最小化する策として以下の配慮をしています。

低リアクタンス同軸ケーブルと一緒に使用し、さらに現用の AC ブリッジで計測電流の周波数は 25Hz、30Hz と、かなり低周波であること、AC ブリッジは特別な直角位相のバランス回路を使用してリアクタンス成分を除去しています。しかしながら、次のような計測条件では DC ブリッジのニーズが出てきます。つまり計測する抵抗値が極めて小さい、あるいは大きい、温度計の製造品質が良くない、温度計素子が高インダクタンス成分をもっている、計測リード線がかなり長い、計測リード線の品質が良くない、かなりのインダクタンス成分、キャパシタンス成分をもっている場合です。これらの条件があると、AC ブリッジに比べ、DC ブリッジは良好な結果を得られるでしょう。

質問 9.　計測にAC信号を使用する上での誤差要因は誘電損失、あるいは誘導電流によるものですか？

多分、そうです。

どのような周波数の信号でも、交流信号で計測すると、量はかなり小さいのですが信号電力は損失します。その結果、計測誤差になります。SPRT、リード線、抵抗器に組み込まれた絶縁物での誘電損失と、近接する配線に発生する誘導電流です。殆どの SPRT、抵抗器は AC ブリッジを使用する上で、誤差を発生する要因を極力、小さくするように製造されていますし、内部配線にも検討した配線を使用しています。なお信号の AC 周波数は非常に低いので、その影響はかなり小さいです。

SPRT の計測は抵抗比の計測を基本にしています。絶対抵抗値ではありません。計測回路に含まれる一定の抵抗値、例えば抵抗器やリード線の誤差要因ですが、これらはキャンセルできます。このようにして、かなりの高精度な計測はACブリッジで実施する事は可能になります。これまでの研究報告で、AC 損失の量は高温 SPRT を使用した場合に、はっきり分かりますが、ほとんどの SPRT で問題にならないようにしています。ただし品質の劣った PRT、抵抗器、配線のリード線を使用する場合は、この誤差は重要なトラブル要因になる可能性があります。二次レベル、あるいは工業用 PRT を使用して計測すると、0.1℃ぐらいの AC 損失誤差が出ることも通常の事象です。よって、二次レベルあるいは工業用途の温度計測にも、抵抗計測と同じで、DC ブリッジを使用されることをお勧めします。前記の AC ブリッジの運用には、特別なAC／DC標準抵抗器と一緒に使用されます。DC標準抵抗器と比較すると、AC／DC抵抗器はあまり一般的でなく、高価な場合もあります。さらに、校正やトレーサビリティをする上で、新たな課題を生む可能性もあります。

質問 10.　多くの国研の標準室は AC ブリッジを使用しているが、どんな理由か?

最初に使われ出した自動ブリッジが AC ブリッジであった為です。その後、何年も経過し、良好な自動 DC ブリッジが使われ出しました。その理由から最初に多くの標準室は AC ブリッジを使って計測システムを構築しました。その結果が素晴らしい内容であったことから、ブリッジを変更する必要性はありませんでした。それが理由です。DC ブリッジのユーザが増えつつある現在でもなお、校正技術者の中には、計測結果が素早く得られるとの理由で AC ブリッジを使っています。一方、AC ブリッジでの計測で良好な計測結果を得られないことから、DC ブリッジを使って良好な結果を得ている事例も出てきています。なお抵抗校正の標準室では例外なく DC ブリッジを使用しています。それは広範囲の抵抗値の標準器を校正する必要があり、大きな電流を流すことも可能だからです。

結論

要約すると、いくつかの適用例で、あるタイプのブリッジは優位性があるし、他の例では優位性がないことになります。次の表は、二つのタイプの抵抗ブリッジの優位性、弱点があることを、示しています。'+' は良い選択であること、'o' は不毛な議論、 '–' はブリッジの弱点を意味しています。

検討内容	AC	DC
精度	+	+
計測分解能とノイズ	+	+
寄生熱起電力による雑音排除の検討	O	+
AC 電源からの計測回路への干渉	–	+
計測速度	+	–
過大なリアクタンス成分がある場合	–	O
広い計測範囲	–	+
一次の温度計測	+	+
抵抗器と白金温度計 PRT の計測	–	+
価格	–	+

参考文献：
http://us.flukecal.com/literature/articles-and-education/temperature-calibration/papers-articles/ac-versus-dc-truth

以上