

原点から考え、NDMに貢献する。

Non-Destructive Measurement

Imaging Supersonic Laboratories Co.,Ltd.

Home-page:<http://www1.kcn.ne.jp/~isl/> or <http://www.i-sl.co.jp>

(有) アイ・エス・エル

〒631-0063 奈良市帝塚山中町1 2-7

+81-742-40-2345 FAX:+81-742-40-2346

Email:isl@kcn.ne.jp

高電圧(電流)パルサー使用上の注意

2013/7/18

2014/1/28 修正

高電圧パルサーの使用上の注意点は、3つです。高電圧による人の感電。ケーブルなどの放電。高電圧で負荷に大きな電流を流れる事です。また、低電圧でも負荷のインピーダンスが低いと大電流が流れ高電圧と同様の注意が必要です。

感電：

感電による事故を避ける為多くのパルサーは人体モデルで2mA以下の電流に成るように設計しています。感電を避けるにはゴム手袋を使うと良いでしょう。濡れた手などは危険です。0.1mAの電流が心臓を通過すると心室細動、心停止に成る確率が上がると言われています。心臓に流れない経路を考えながら作業すると良いでしょう。

人の致死電流は50~100mAと言われ、弊社製品は2mADCを設計基準にしています。が、2mAでは探触子に供給する電流が小さくなるので、バッファ・コンデンサーで蓄えた電荷を励振時に流すようにしています。バッファ・コンデンサーの容量は40~100nFで、機種により異なります。このコンデンサーに溜まった電荷が振動子に流れる事になりますので、負荷が重い(振動子の容量が大きな)場合、段々出力電圧が下がります。バースト励振では波数で段々電圧が下がります。PRFが高いと次の送信タイミングまでにバッファ電圧が十分上がりません。PRFを変えても変化が少ない事で、十分充電されている事を確認することができます。

放電：

探触子ケーブルやコネクタそれ自身は1kV程度の耐圧があります。絶縁性の材料の直流耐圧は非常に高く、数十kV/mmあります。気体は耐圧が低く絶縁個体の1/10程度です。大気中では3kV/mmと言われています。尖った部分では電荷が集中するので、1kV/mmと言われます。ケーブル端やコネクタ内部で正負の電圧が空気で繋がっている部分があります。一般的にこの部分の耐電圧が低いです。沿面放電と言って、表面を伝わる放電が起きるので実質空気の半分程度の耐圧と考えた方が良いでしょう。コネクタは高耐圧用のコネクタを使うのが無難です(LEMOは高耐圧型です)。配線が大気と触れない様にコーティングがモールドをすると耐圧が上がります。絶縁体でも誘電率が大きいと、反対側に誘導電荷が発生して、他の部分との耐圧が下がります。注意が必要です。また、高周波電流電圧では絶縁体=誘電体は電気を良く通します。周波数が高いほど良く電気が通るのが絶縁体と考えてください。コネクタの抜き差しを繰り返すと、コネクタの金メッキの粒

子が飛散し、絶縁体の表面に付着し、表面抵抗が下がったり、沿面放電しやすくなります。接触媒質が濡れても同様な現象が起きます。非破壊検査では比較検査で微妙な波形の歪は検査には影響しません、実験研究の目的では注意が必要です。

電流：

電圧が高いと負荷に大きな電流が流れます。大きな電流は大きな電磁界を発生します。付近の導電体に誘導電流を発生します。大電流は小さなインピーダンスに流れても大きな電圧を発生します。探触子ケーブルのシールド側のインピーダンスは低いのですが、大電流ではそのわずかなインピーダンスで電圧が発生します。探触子ケースを機器に接触すると、電流が流れる事になります。GNDの系統を良く考えて、機器間の接続を考える必要があります。探触子とパルサーの両方を一台のオシロスコープで計測しようとする、大電流がオシロスコープに流れ破損の危険があまします。差動プローブを使ったり、電圧測定基準点を何処にするか検討する必要があります。(チャンネル間が分離しているオシロスコープの機種もあります。

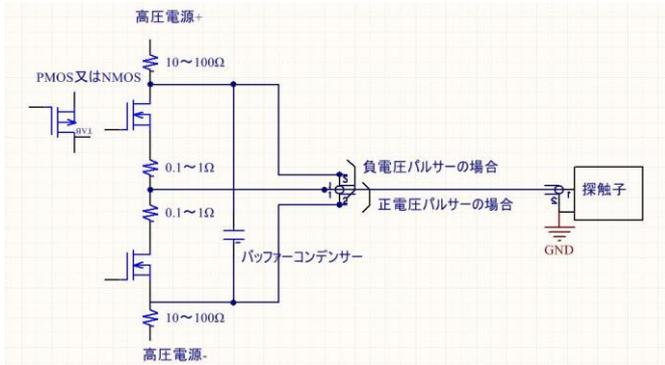
高電圧パルサーの等価回路と接地

以下に高電圧パルサーの等価回路を示します。パルサーのケースは高圧電源の+又は-に繋がっています。高圧電源は電流制限回路付で、電圧にもよりますが、2mA以下、電力で15W以下に設計しています。(クラスIの機器の安全規格の単一故障状態電流は3.5mA)

高電圧電源から過度電流がFETスイッチ回路に流れないようにパルサー回路は10~100Ωの抵抗を通して接続されています。抵抗の先にはバッファ・コンデンサーがあります。このコンデンサーに溜まった電荷を小さな抵抗0.1~1Ωを通して探触子に流すこととなります。FETの高電流は、配線の浮遊容量、インダクタンス、バッファ・コンデンサーや探触子の容量などの間で電気共振を起こします。この共振振幅がそれほど大きく成らない様に0.1~100Ωの適当な値を選んでいきます。負荷によりもっと大きい必要もあります。大きすぎると振動子の基本波が出なくなるので余り大きくしない事が肝要です。

バッファ・コンデンサーは40~100nFです。この溜まっている電荷は励振毎に消費され、高圧電源からはユックリ充電されます。探触子の容量が市販一般の値1000pF程度ですと、バースト数回では出力電圧変化は少なく、無視出来ます。高音圧出力用の振動子の場合は容量が可なり大きいので急速に振幅が減ります。バッファ・コンデンサーを大きくすることもできますが、ショート時の破損や危険は容量に比例して大きくなります。例えば4kVの電圧で40nFには640mJのエネルギーが溜まっています。一般に感電時に安全と言われる350mJを超えています。

大電流が流れると導線の僅かなインピーダンス特に(インダクタンス成分)でも電位が発生します。何を測定するかで接地方法が異なりますが、非破壊に於いては非検査材と探触子の振動子前面側を同じ電位にして、下図の様にパルサーのケースは浮かす方法を勧めます。



PC の USB へのノイズ

大電力のパルサーは制御する PC の USB ケーブルにノイズを混入させます。USB の信号レベルは 0.3V と小さいので、シールド付の短いケーブルを使ってください。また、ノイズが入る場合は USB ハブを何個か直列に挿入するのも良い方法です。ノイズが各ハブに分散されます。オーディオ用に USB ノイズ対策製品も販売されています。これを使ってみるのも良いでしょう。効果は状況により異なります。

測定機器の接続

基本的に電源を切った状態で接続と取り外します。電源が入っていて、高電圧が発生している状態での接続や取り外しは危険です。繋ぐ手順を間違えると高い電圧が計測器に印加し、計測器とパルサーにダメージを与える事があります。動作中にどうしても観測したい場合は、基本的に以下の手順によります。オシロスコープのプロープの場合を例にします。

- 1) 接続する場合：装置からの電圧を切った場で、プロープの GND をパルサーや探触子ケーブルの GND 側に接続します。次にプロープ先端を測りたい部分に確実に接触します。GND、先端とも不安定な接触は放電の危険が伴います。
- 2) 外す場合：装置からの電圧を切った場で、プロープ先端を先に外します。GND は後です。オシロスコープ・プロープなどの耐圧はその仕様書を確認ください。DC では耐圧があても高周波では耐圧が低くなります。パルス波では連続波より耐圧余裕がでます。バースト波などでは連続波に近づきます。
- 3) 500V を超える場合は、オシロスコープのプロープは入力容量の少ないものを使うか、接続した状態でパルサーの電源を入れた方が事故になる可能性が低くなります。多くのオシロの汎用のプロープは入力容量が 20pF 前後です。僅か 20pF でも、例えば 5kV では 0.5mJ のエネルギーが瞬時にプロープを流れる事になります。プロープの入力インピーダンスは 20pF の純粋コンデンサーではありませんが、直列内部抵抗とインダクタンスがあって、仮に 10Ω とすると、瞬間 500A が流れる事になります。暗い部屋で高圧の回路のあちらこちらをプロープで探ると、触る度に火花やその放射音が観測されます。プロープの接続、開放時は、電圧が無くなっている事が重要となります。