

音波のよもやま話 (その10)

各種パルサーと探触子からの音 (3)

Sound form transducer excited by various pulsers(3)

(補)アイ・エス・エル 宇田川義夫

◆はじめに

今回は市販肉厚測定や欠陥検出に使用される超音波機器の各種パルサーの駆動方式と発生音に関して述べる。

◆市販肉厚計のパルサーの方式 (1)

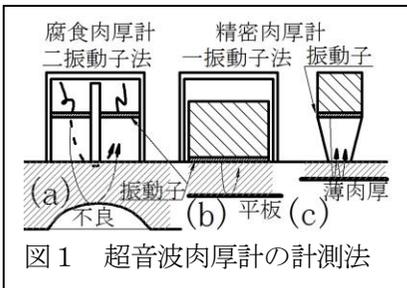


図1 超音波肉厚計の計測法

市販の超音波肉厚計には大きく分けて2種類ある。腐食肉厚計と精密肉厚計である。後者は次項で述べる。腐食肉厚計は配管の内部腐食部を外部から検査するものである。腐食検査が主なる目的であるが、単なる板厚の計測、或いは剥離検査など他の目的にも使われる。例えば、鑄込んで作った鍋の底の中央の厚さなどノギスやキャリパーでの測定が難しい場合などでは本来の肉厚計機能が使われる。二枚の板の完全剥離（隙間）、鑄物の内部の大きな巣欠陥の簡易検査では、肉厚測定値が小さく表示される事を不良検出に利用する。多くは図1 (a) の様な二分割型振動子が使われる。二振動子法の為、探触子を出た送信音が直ぐに受信側に点線の様に廻り込み計測に邪魔であるが、その音圧強度は僅

かである。薄肉での受信音圧強度は僅かなので、薄肉測定には向かない。

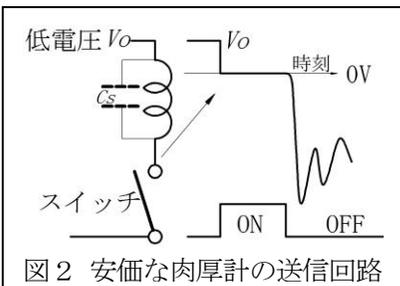


図2 安価な肉厚計の送信回路

送信は単に強い超音波を発生するために、高電圧を発生すればよく、どんな音圧波形でも時間測定計測精度に大差ない。図2に送信回路例を示す。通常 MOSFET のスイッチを閉じてコイルに電流を流し、ある電流に達した瞬間 MOSFET を OFF させ、コイルに流れる電流を切る。コイルを含むインダクタンスは、自身に「流れている電流を変化させない」と言う基本性質がある。急にスイッチが切られると、流れている電流を維持しようと、高い電圧を発生する。理想理論上は無限の電圧が発生するが、実際はコイルには並列に浮遊容量 C_s があるので、一定の電圧以上発生しないし、この容量と自己インダクタンスや内部抵抗による減衰振動も起き相当音が発生する。

腐食肉厚計のパルサーの多くは、図3に示す自動車のイグニション・コイルと同じ方法である。イグニション・コイルでは鉛バッテリー 12/24V から着火に必要な 20kV 以上を発生している。ポイント（接点）保護の意味からもインダクタンスはトランスの一次側を用い、巻き線数の多い二次側をイグニション・プラグ

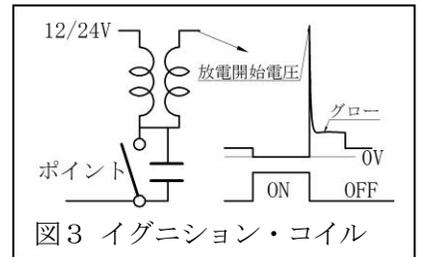


図3 イグニション・コイル

に繋いで高電圧放電している。1980年頃まではポイントは機械接点であったが、今は半導体が多い。超音波肉厚計の場合、イグニッション同様の方法で数Vの電池電圧から、振動子に必要な100~400Vのパルスを発生している。スイッチとしては、米粒程度のごく小さなMOSFETが使われ、パルサー回路部の費用はワンコインで収まる。

図4はその実測例で、省電力の為、一秒に数回しか超音波測定しない様になっている。ケースシールド蓋を開けての測定なので外来電気ノイズも観測される。送信側振動子の電圧が(1)で負の100Vのパルスが振動子に印加されている。感度を要求する機種では負の400Vを発生しているものがある。振動子反共振周波数6MHz相

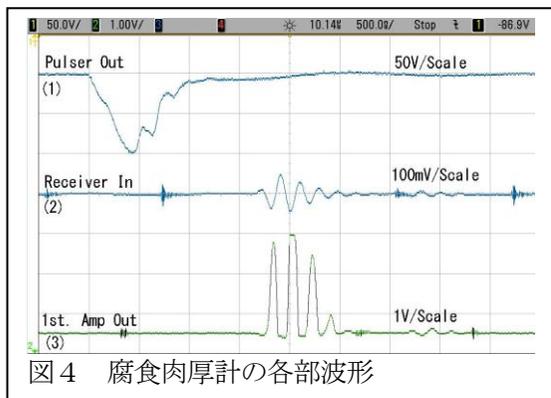


図4 腐食肉厚計の各部波形

当周期の、探触子内部音の厚さ方向往復に伴う歪電圧の凸凹も観測される(電気屋はキックバックと呼ぶ)。5mm厚さ鋼の底面反射信号を(2)(3)に示す。図中(2)(3)は(1)に対して10 μ s遅延を掛けた。(2)は受信振動子端子電圧で100mVの振幅がある。この肉厚計は約30倍のアンプが3段構成で、初段の出力を(3)に示す。入力信号の負の側のみ増幅する方式を取っている。受信電圧信号の負の立下りのみ計測するので、同様の方法は多くの腐食肉厚計に採用されている。後段のアンプ出力は、更に増幅され矩形波のデジタル的波形となる。音の拡散減衰などがある場合でもエコー先端初動が確実に検出できるように感度は設計されている。

腐食肉厚計は二振動子法で、図4の様に受信振動子で受信された波形の先端、それも負の電圧側しか使わない。時間のみ測定したいので、受信振動子で受信した信号を増幅するのに直線性の良いアンプは必要ない。単に増幅すればよい。探触子を出た音波が回り込んで直ぐに受信される信号が計測されないレベルになる程度の飽和増幅している。アンプでなく、デジタル用のゲート回路ICをアンプとして使うなどコスト優先で設計している。図1(a)の点線の回り込み信号が測定可能最小肉厚の制限となり、一つの探触子である程度厚いものも測る前提では一般的に0.5mm以下の厚さ寸法測定は困難である。伝搬時間と音速を掛け算して厚さを求めるが、超音波の往復経路が傾斜する為、肉厚が薄

いほど誤差が大きくなるので、内臓のMCP(マイクロプロセッサ)で三角関数計算して補正している。



図5 高精度超音波肉厚計の波形

◆市販肉厚計のパルサーの方式(2)精密

精密肉厚計は腐食肉厚計とは異なり、図1(b)(c)に示す様に、一振動子法を用いる。(b)の探触子で厚い材料、(c)の探触子で極薄い材料を測定する。精密肉厚計では、1 μ m分解能のものが1970年頃からあった。当時でもアナログ積分型ADコンバータにより現在と変わらない精度で測定していた。鉄で1 μ mは往復伝搬時間が0.3nsである。現在は、数百MHzのクロックで時間測定しているが1回の計測では分解能が0.3nsにならないので多数計測し平均化処理している。測定最低厚さは0.1mm以下が多く、非測定対象により性能の異なる探触子を交換する必要もある。金属用の探触子の周波数は30MHzを超える事もある。一部の機種では観測波形の周波数分析をして、波形が分離しない場合でも厚さを測る方法を取っているが、その為には広帯域が必要になる。アンプはリニアアンプで、振幅を一定にするAGC回路が組み込まれている場合が多い。飽和すると、アンプが歪み結果時間測定も誤差が大きくなる。分解能の良い、高い周波数まで対応できるパルス音を発生する為、送信回路には、主にアバランシェ・トランジスタを用いたスイッチング回路が使われる。最近ではFETの性能UPに伴い、高速FETも代用される。鉄板の厚さで50 μ m程度から測定できる。

図5は高精度肉厚計の遅延付き一振動子法(図1(c))探触子のコネクタ部分で測った振動子励振波形で、(2)は(1)より遅延厚さ往復時間相当の8 μ s程度遅延してある。(1)は時間軸を広げている。縦軸感度も変えている。

図5(1)の送信励振パルスは電圧が負の200V強で電圧立下時間が2.2nsと計測されている。負荷は50Ωの場合で、以降も明記無きは負荷は50Ω。オシロスコープとそのプローブの総合周波数特性 $f \leq 250\text{MHz}$ なので、測定器側の立下時間は

$$\tau = \frac{0.35}{f} = \frac{0.35}{250\text{MHz}} = 1.4\text{ns} \quad \text{式(1)}$$

となる。この1.4nsを考慮すると、実際のパルサーの電圧立下時間は

$$t = \sqrt{2.2^2 - 1.4^2} = 1.7\text{ns} \quad \text{式(2)}$$

となる。アバランシェ・トランジスタが非常に高速で動作している事が判る。肉厚計付属の標準ケーブルを使ったが、より短いケーブルを使うと1ns近くに成る事が多い。肉厚計の内部回路配線等で立上り、立下りが悪くなる。アバランシェ・トランジスタ素子自体は1ns以下で動作している。なお、パルサーの電圧立下りは始めゆっくりで、段々加速する。アバランシェは雪崩の英語で、雪崩と同じく、アバランシェ現象では、小さなきっかけが段々増幅して大きく成っていく。図5(1)で初めの約4nsはユックリ立下り、その後急に傾斜を強めているはこれを表している。

0.5mmの鉄板にこの遅延付き探触子を接触させて鉄板からの反射信号を増幅した波形が(2)である。表面のS波は綺麗な波形ではないが、高周波成分が多い。この高周波成分が多い事が測定精度を上げるノウハウとなる。波形は多少汚くても良い。後に続く、裏面反射の鋭い(高周波部分)立上りの間隔を測る事で高い精度を確保できる。図ではこの高周波成分は探触子の公称周波数の2倍以上ある。機種によっては5倍の周波数成分を多く含む。20MHzの公称周波数探触子では分離できないと思われる薄い材料でも高い周波数成分により計測可能となる。周波数分析により膜厚を測る超音波多層膜厚計では、更に薄いものまで判別できるようになる。戦前1MHzの水晶振動子の高調波成分を用いて100MHz超え相当の測定もされていた。肉厚計

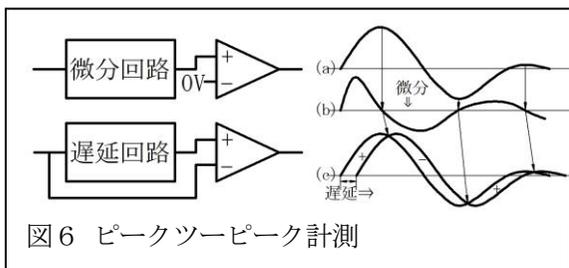


図6 ピークツーピーク計測

で、波形のどの点を測定するかというと現在では図5(2)の場合ゼロ電圧を上へ突っ切る点を測定する方法が一般的である。ゼロクロス法と呼ばれる。熱雑音や回路ノイズなどベース・ノイズが多くゼロクロス点のSNが悪い場合は、一定の高さの点を測るスレッシュホールド法やピークツーピーク法が用いられる。ピークツーピーク法と明記してある機種でも、中身は図6のような方法がとられている。図上の微分回路を使う

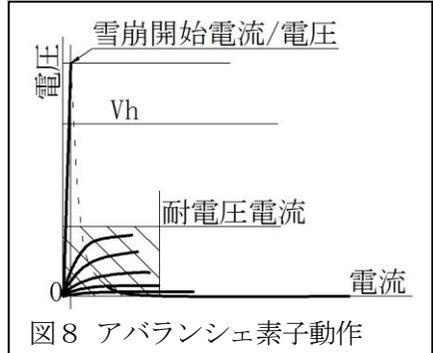


図8 アバランシェ素子動作

と波形(a)のピークは0Vの点となる。0Vをクロスする方向で正負どちらのピークは区別できる。図下の遅延法では、波形を僅かに遅延させ、元波形と比較して、差が0Vの時がピーク相当となる。正負のピークの区別は前述同様である。

これ以外にもピークの測定回路があるが、他は余り使われない。

一般に探触子とプリアンプの入力特性の為

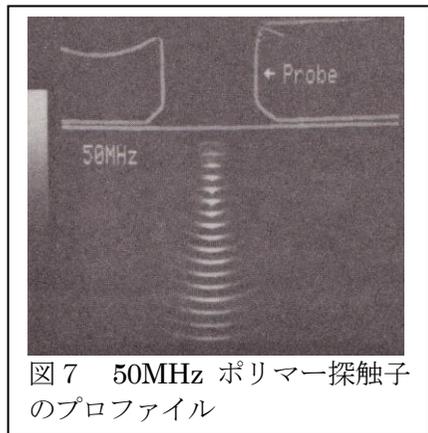


図7 50MHz ポリマー探触子のプロフィール

に時間間隔計測回路に伝わった段階では、受信音圧波形が多少微分された様な波形になっている事が多いので、実際には探触子で受信された音波波形のピークツーピーク法を図の回路で測っているとは限らない。それも周波数で状況が異なる。あくまで増幅されたアンプ出力電気波形をピークツーピーク法で処理している意味である。探触子と時間計測回路の間の電気的歪は各製品で異なるので、同じピークツーピーク法とカタログに書かれていても、メーカーによりその意味は異なることになる。

アバランシェ・トランジスタはどの製品もスイッチング電圧は 300V 程度である。短い電圧立下り時間と高電圧出力のパルサーが必要になる事がある。図7は筆者らが 1995 年にアバランシェ・トランジスタによる 250V2ns パルサーを 3 段組み合わせで作った 750V4ns のパルサーで 50MHz のポリマーフォーカス探触子を励振し、超音波可視化装置で観測したものである。負荷が軽い場合はパルサーを多段にして高電圧パルスを発生する方法が耐電圧の低かった昔は良く用いられた。FET が開発されていない半世紀前に、後述するアバランシェ・ダイオードと言う半導体を数本繋げて、高い電圧の高速パルス発生し、超音波探触子を励振していた。このダイオードは現在では一般的に使われなくなったが、高感度な光センサー APD (アバランシェ・フォト・ダイオード) として同じ原理が今でも使われている。

アバランシェ・トランジスタは特殊なトランジスタであるが、昔は製品としては無く、通常のトランジスタの中からアバランシェ (雪崩) 現象を起こしても壊れない素子を探して使っていた。大半のバイポーラ・トランジスタ (一般にトランジスタと呼ばれる) 更には電界効果トランジスタ (FET) もアバランシェ現象でスイッチング動作する。が、殆どは直ぐに壊れ寿命が短い。昔は長期間使えるものを探し出して使っていたのである。図8はトランジスタの一般的出力電圧電流特性図で、カタログには左下の小さな斜線部のみが載っている。通常この範囲で使ってほしいと言う保証された範囲だ。電圧を徐々に上げていくと、ある電圧、即ち放電開始電圧で雪崩放電 (アバランシェ) する。この時のスイッチング速度はカタログ値より遙かに早い。またカタログ値の何十倍もの電流を

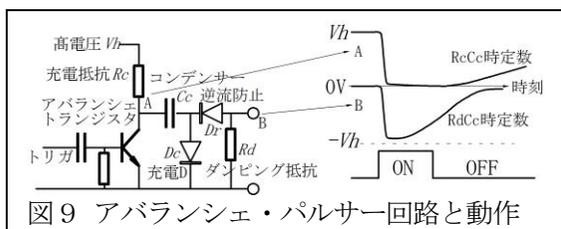


図9 アバランシェ・パルサー回路と動作

流せる。具体的なアバランシェ・トランジスタを使ったパルサーの回路は図9である。雪崩崩壊電圧より少し低い電圧 V_h から抵抗 R_c を通してコンデンサー C_c を V_h に充電する。 V_h がトランジスタに加わった状態で、ベースからトリガ電流を加えると、瞬時スイッチングする。

コンデンサー C_c に蓄えられていた電荷を負荷に流し、負電圧パルスを得ている。米粒の大きさのトランジスタが 1ns 以下の速度で瞬間 100A を超える電流を流せる。

◆探傷器用パルサー

前述の様に肉厚計用のパルサーはコストを気にする場合と高速スイッチングを重要視する場合がある。超音波による探傷となると、少し事情が異なる。探傷器と探触子に関する規格があり、これを考慮する必要があるし、より小さな傷を高い SN 比で検出する必要がある。探傷器で色々な検査をしていて、感度余裕が無くなる事は滅多に無い。最大感度で使う事は皆無に近い。それより、超音波ノイズが多く、どれが欠陥だかわからない事が多い。

原子力用の燃料シース管は、初期は米国製であった。同じ材質の管は国産も作れるのだが、超音波探傷検査できない。日本製管を超音波検査すると粒界からの散乱ノイズが多すぎるのである。国内メーカーも改良を加え粒界サイズを小さくし、散乱ノイズが少ない、超音波探傷が出来る管を開発し、その後国産シース管に置き換わった。それでも探傷器は米国製で無いと駄目だった。国産の探傷器では SN が悪いので、米国製を調べると、アンプは殆ど性能同じであるが、パルサーが異なっていた。パルサーの出力にインダクタンスを入れて、技とパルサーからの信号の電圧立下り時間を悪くしていたのである。

アバランシェ・トランジスタによるパルサーは高周波の探触子や強力な超音波を発生させる場合は良いのだが、探傷目的では不利になる事がある。その場合は以前の回でお話した様にパルサーの出力に直列にシリアル・ダンピングと呼ばれる抵抗を入れて送信パルスの立下りを緩やかにする。探触子の中には、SN を高める為に、この抵抗を内部に組み込んだ探触子もある。目的によっては振動子容量との間で中和して感度も同時に上げられるインダクタンスの方が良い場合がある。探傷に於いては、電圧の立下り時間が短い事は必ずしも良くないのである。

◆スパイク型パルサー

さて、実際の探傷器用パルサーの話に入ろう。真空管時代は、振動子は水晶が使われていた。水晶の圧電感度は現在使われているセラミック振動子に比べ約 1/5 程度と悪い。送・受信それ

それぞれで 1/5 と悪いので送・受信総合で 1/25 になってしまう。そう言う振動子しかなかった時代には送信パルス電圧を高くして、感度を稼ぐしかない。送信パルス電圧 1kV を超えていた。3kV 程度の製品が多かった。半導体と異なり、真空管は P 型、N 型と言った 2 種の正負逆電圧で使えるものが無い。N 型半導体相当のみである。半導体は電子と電子の不足する空乏で動作されるので、N 型と P 型が作れる。真空中に寿命の長い正電子を発生する事は出来ないので、負電子でのみで働くものしか作れない。

動作電圧は、半導体では電池電圧 20V/24V 程度が主である。今では PC のプロセッサは内部では 1V 以下で動作している。低い電圧ほど高速な動作が可能となる。が、真空管では 100V を超え、多くは 200V である。真空管は電子を放出しやすくする為、ヒータで温めるが、そのヒータ電圧でさえ 6.3V/12.6V である。

主に強力なパルス発生に使われたのはガスで封入したサイラトロンとその仲間である。

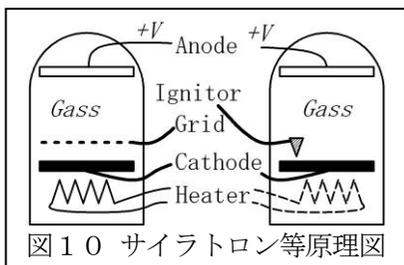


図 1 0 サイラトロン等原理図

大気圧中放電耐圧は 1mm 当たり 2kV と言われる。図 1 0 の様な Anode と Cathode 電極間電圧を放電開始するギリギリにしておいて、何かの刺激を受けると雪崩放電し、瞬時に (大) 電流が流れる。水素、キセノン、ネオンで低い気圧でガラスに封じて作ったのが、サイラトロンである。カメラのストロボ球も似た構造で、その高速タイプのキセノン・フラッシュランプも発光を無視すれば高速強力なパルスの発生に使える。実際フラッシュランプ球に圧電振動子を並列に繋ぎ、出来れば放電コンデンサーを外して動作させると、強力パルス超音波送信回路として十分機能する。

サイラトロンではカソード、グリッド間の電圧を同じとして気体をイオン化しない状態から、グリッドに電圧を加えてイオン化して、トリガとしている (図 1 0 左)。

前述のアバランシェ・トランジスタでは同じ様な現象が個体中で起きているのである。

サイラトロンはパルス・レーダ、X 線発信やテスラ・コイルなどに応用された。

これを用いて数 kV の超音波用のパルサーが民生用に作られた。回路ブロックを図 1 1 に示す。充電抵抗 R_c を通してカップリング・コンデンサー C_c に電源から充電する。電源電圧 V_h に充電できた時に、スイッチを ON すると、A 点の電圧は 0V となり、カップリング・コンデンサーの他端 B は $-V_h$ となる。振動子へはカップリング・コンデンサーを通して、電圧を加える。振動子は実質コンデンサーなので、カップリング・コンデンサーに貯めた電荷を振動子に移すと言っても良い。B 点の電圧は放電抵抗 R_d を通して駆動直後の負電圧から徐々に 0V になる。このパルスを振動子に加えるが、振動子が繋がった場合はその影響で多少波形が変化するが、当時の水晶振動子の場合、数十 pF と僅かな負荷でキックバックは弱く、ほぼ図に示す波形になる。一方 A 点は充電抵抗を通してゆっくり V_h 上がる。

カップリング・コンデンサー C_c を通さなくても A 点を直接振動子に繋いでも同じような音が出る。しかし、数 kV と V_h 電圧が高いので、間違って手に触れると感電する。その為、カップリング・コンデンサー C_c で直流分を切っている。 C_c は人の等価容量代表値約 100pF に比べて小さい容量なら、また電圧が低いなら感電しても人は感じない。冬場に絨毯を歩くと 10kV 以上が帯電する。電源電圧 V_h が 10kV なら C_c を 100pF 以下、電源電圧 V_h が 1kV なら C_c を

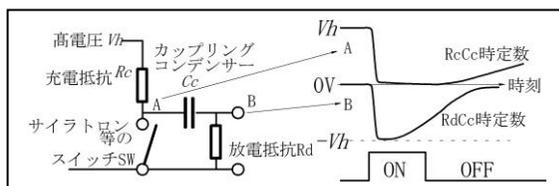


図 1 1 真空管時代のパルサー

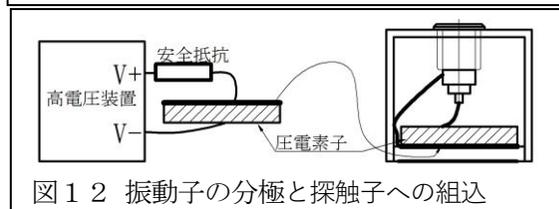


図 1 2 振動子の分極と探触子への組込

1000pF 以下とするのが妥当な安全設計値である。

実際真空管時代の C_c 容量は 100pF 程度以下が多かった。パルス・エネルギーとして C_c の値を切り替える形式もあった。負荷になる探触子は、例えば 2.25MHz25mm φ の水晶探触子は

30pF 程度で、駆動するのに 100pF もあれば十分である。強力な超音波が必要ない場合は図 11 のスイッチは一般的真空管でも良かった。

真空管を使って、安全を考慮し C_c を使うと必然的に出力パルス電圧は負となる。これが現在にも引き継がれている。水晶振動子は結晶構造自体が自発分極している。セラミック振動子は、圧電体として機能しない高誘電体のセラミックを分極操作により人工的に分極させて使う。その為、分極電圧相当を逆に印加すると脱分極して単なるコンデンサーになってしまう。振動子の種類によっては高温でしか分極できないものもあるが、通常使う感度の高い振動子は常温で脱分極を起こす。その為、真空管時代のパルサー出力電圧極性に合わせて、分極する時に正の電圧を加えた電極を探触子の表側に配置し、裏は負の電圧を加えた電極が同軸ケーブルの芯線に繋がる様に探触子は作られる様になった。図 12 に分極状況をその振動子を探触子に組み込んだ時の電極方向の関係を示す。

1960 年後半から、半導体が出始めると、アバランシェ・ダイオード、更にはサイリスタがスイッチとして使われるようになった。最近のアバランシェ・ダイオードは定電圧動作させるのが目的だが、当時は異なり、アバランシェ＝雪

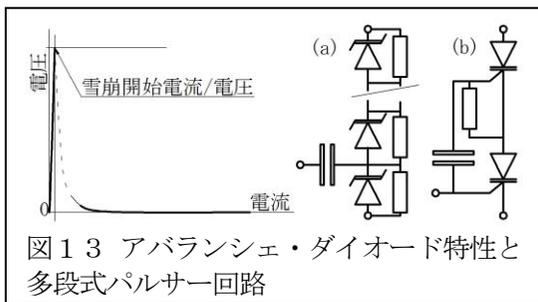


図 13 アバランシェ・ダイオード特性と多段式パルサー回路

崩動作させるダイオードである。雪崩電圧を超えると短絡し、図 13 左の様に大電流を流せる。このアバランシェ・ダイオードの耐圧は低いので 4~7 個ダイオードを直列に繋いで大きな電圧パルスを発生した。雪崩電圧は 5 個直列に繋いで 500V 程度と記憶している。サイリスタ (SCR) で高速なものが出回り始めたが、耐圧が 600V と低い為、水晶振動子を十分駆動できない。そこで 2 段のサイリスタで -1200V のパルスを発生する探傷器が発売された。名器と言われた独逸クラウトクレーマー社の USIP11 である。5MHz 前後での探傷では今でもこれ以上の性能は出せていない。このアンプの初段はニュービスタと呼ばれる小さな真空管が使われた。

当時の電氣的ノイズが少ない半導体は、入力飽和電圧が低い為である。-1200V と可なり高い電圧にしたのは、水晶も使われている時代の為である。セラミック系振動子を使うと大きな信号が戻ってくるが、半導体では入力が飽和し、小さい傷も大きい傷も区別できない。その為もあってダイナミックレンジの大きなニュービスタ真空管が使われた。

1990 年代に東北大学において超音波可視化装置で沢山の画像を取った。この時 USIP11 が用いられた。他の探傷器が 500V と低い電圧であった時代にただ一機種 1kV を超えていて、これを用いて良好な画像が取れたのである。電圧が倍違うと可視化像の輝度は 4 倍違う。

<http://www1.kcn.ne.jp/~isl/libj.html> に当時の沢山の超音波可視化像がある。

耐圧が数百 V しかないセラミック振動子が一般的になると、パルサーの駆動回路には多段方式は使われなくなった。振動子の端子電圧は受信条件が揃うと送信電圧の 1/5 程度の電圧が発生することがある。その為、現在は昔に比べ 1/10 の -200~-500V が一般的である。駆動素子には MOSFET が使われ回路は図 11 の真空管時代の回路とほぼ同じである。繰り返す周波数 (PRF) を高くしやすい図 9 の様な回路になった。同図の D_r は高感度なセラミック振動子に供給したエネルギーがパルサー回路に逆流するのを避ける為である (キックバック阻止)。感度の悪い水晶では不要であった。

◆スクエア型パルサー

MOSFET が主流になり高耐圧高速の MOSFET が出回ると、スイッチは FET に交換された。それでも、今でも高い周波数の振動子を励振する場合などはアバランシェ・トランジスタが使われる。

MOSFET の性能が上がり、寿命が長くなり、振動子の感度が上がり送信電圧が低くなると、安全対策上の図 11 の C_c などが不要となり、スクエア・パルサーが米国パナメトリック社か

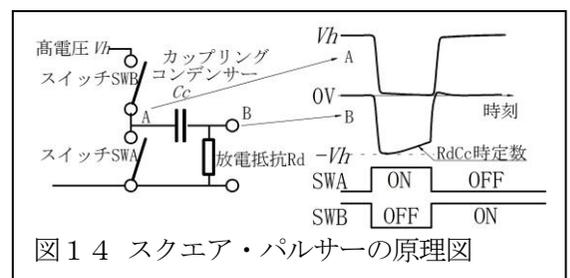


図 14 スクエア・パルサーの原理図

ら発売される。初期のスパイク・パルサーでは Cc が負電圧発生の際、又は安全性の為に組み込まれているものもある。

図 1 4 の様に充電抵抗に代わりにスイッチを設けたものだ。スイッチ SWA には N 型 MOSFET、スイッチ SWB には多くは P 型、一部 N 型 MOSFET が用いられた。初期の 600V 耐圧の FET のスクエア・スイッチング動作速度は遅く、OFF 状態から ON して再び OFF するのに 100ns を超えた。完全にスイッチ A が OFF する前に無理やりスイッチ B を ON する状態であった。5MHz を駆動するのが限界に近かった。

振動子を単純コンデンサーと等価と考えると電圧が変わらなければ電力の移動は無く、電圧が変わった時に電流が流れ電力の移動がある。

スパイク・パルサーは電圧の立下りで振動子に電力を供給する。一方スクエア・パルサーは電圧の立下りと立ち上りの 2 回電力を供給するので、振動子からパルサーへの電力の逆流が無ければ 2 倍の電力が振動子に供給される。

初期のスクエア・パルサーは振動子からの逆流によりそれほど送信感度が上がらず、スパイク方式と大差なかった。寧ろ FET の性能、特に出力インピーダンスが下がった分、新規開発パルサーの性能が上がったと言うのが実態だった。

最近のパルサーの多くは、逆流を考慮している。

図 1 4 に MOSFET の制御の方法を示す。スイッチ A、B 共に短時間 ON するのである。半周期と ON 制御時間の比をドライブ・デューティ *Duty* と呼ぶ。

$$Duty = \frac{2t}{\lambda} \quad \text{式(5)}$$

時間幅 t を探触子の周波数に抛らず一定の時間にする機種や、*Duty* を一定にするもの、探触子周波数と内部 FET の性能から適切な値にするものなど色々な方法がある。

最近の 600V 系 MOSFET は OFF-ON-OFF スwitching 動作の合計時間が 50ns 程度以下になっており、900V 系 1200V 系でも 50ns を切るものが出てきている。その為こう言った制

御が出来る様になった。同じ電力を振動子に供給するなら、短時間の方が、送信音圧がより上がる事は判っている。半周期間 FET を ON しておくと、振動子内の音の移動で歪電した電荷がパルサーに戻ってきてしまう。リードインダクタンスも含め上手く制御すると、実測で 20~30% の送信音圧アップが確認されている。バースト波などで大電力を発生したい場合に、パルサーに戻ってくる電力が減る分パルサーの発熱が抑えられ小型化でき、小型化により高い周波数の駆動の出来るパルサーが設計出来るメリットとなる。

なお、MOSFET は原理上アバランシェ・トランジスタと同等の高速動作が可能だ。が、設計者や使用者の取り扱いが難しくなるので、技と動作速度を抑えていて、高速動作品は少ない。その方が一般用途では電磁ノイズの発生が減り、米国の FCC 規格も通りやすい。

◆あとがき

今回は市販機器のパルサーに付いて書いた。バースト・パルサーに関しては書かなかったが、スクエア制御の繰り返しなので、以上の議論から十分推測できると思う。

◆今回知った事

- (1) 超音波肉厚計には大きく分け、腐食肉厚計と高精度肉厚計がある。
- (2) 腐食肉厚計のパルサーは車のイグニッショントランス同様のインダクタンスのキックバックを使った方式が多い。
- (3) 高精度肉厚計はアバランシェ・トランジスタによる高速スイッチングで励振し、探触子公称周波数より高い周波数成分を含む音を発生している。
- (4) 高周波成分を使う事により、基本波の波長では分解できない肉厚まで測定できる。
- (5) ピークツーピーク法は必ずしも受信音波波形のピークツーピークではない。
- (6) オシロスコープで高速波形の立下り、立上り時間を測定する場合は補正が必要。
- (7) 同じ「ピークツーピーク法」の超音波肉厚計機種間でも、その意味合いは異なる。
- (8) 探傷に於いては、電圧の立下り時間が短い事は必ずしも良くない。
- (9) パルサーの出力電圧は負が標準なのは真空管時代の安全設計による。

- (10) 真空管時代の送信電圧は数KV あった
- (11) スパイク・パルサーは電圧の立下りで電力を振動子に供給する。
- (12) スクエアパルサーは電圧の立下りと立ち上がりの2回電力を振動子に供給する。
- (13) パルサー回路と常時振動子が繋がった状態だと、振動子の歪電効果の電力の一部がパルサーに逆流し、その分送信電力が減る。
- (14) スクエアやバースト・パルサーではこの逆流の制御が重要。
- (15) 同じ電圧で振動子を駆動するならドライブ・デューティが小さい方が、送信電力/音圧は上がる。

<参考文献>

超音波技術入門—発信から受信まで(2015/04初版2刷、日刊工業新聞社)

- ・
- ・