

電磁近接センサのリングング回路方式

深 谷 義 勝

Method of Ringing Circuit for Electro-Magnetic Proximity Sensor

Yoshikatsu FUKAYA

In the rapidly development of automatic control systems over all the kind of industrial societies, electro-magnetic proximity sensors have been provided for the very important roles. It will be reported in this article that we want to propose the damping oscillation type, using a ringing circuit, has more merits and better features compared with than the well known high frequency oscillated types.

In the system, the damping coefficient varies with according to moving the distance, which will be detected the difference of the positions of two ones, i.e., the detected target and the sensor coil used in it.

Just for the above mentioned reasons, that system is quite suitable for a digital signal processing, because the slop coefficient of the envelope of the damping form in the damping oscillation, may be easily converted into the pulse numbers.

Furthermore, using the system, we have made them practice those, which are 1) to expand the range of operations, 2) to have the expandable sensitivity and 3) to make the possibility of construction of simplified circuits using a PUT device. After all, we will report the experiments and the consideration of the above described materials in this paper, below.

1. まえがき

高度な自動化、省力化や高速化などの設備を有する各種産業界においては、自動制御機器の進歩発達に負う所が大きい。それらの制御部品、中でも、リミットスイッチ、マイクロスイッチと近接スイッチは、特に重要な要素になっている。近接スイッチに関する変換検出部、すなわち、センサ回路には高周波発振形あるいは同停止形の電磁近接センサが広く用いられている。高周波発振形の発振回路には、一般にハートレ回路、コルビッツ回路の反結合発振回路を用いて、その発振用コイル自体をセンサコイルに決める。従って、コイルは持続正弦波の高周波電流が流れて、被検出体の近接による磁気エネルギー変化を回路動作に変換する。このため無接触で高速応答が可能になる。

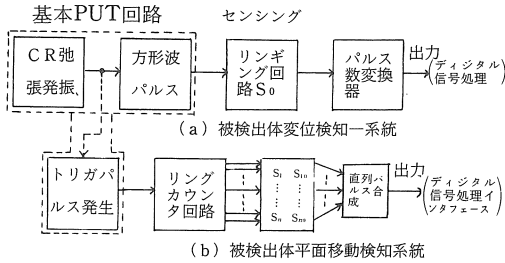
本報告は、センサコイルに与える高周波電流をパルス波励振による断続減衰振動電流にするリングング方式を提唱する。そしてこの方式が非線形素子PUTを用いる回路構成により、極めて回路の単純化を可能にし、かつ感度向上やパルス数変換から信号処理に最適である点など述べている。

2.1 (A) センサ回路構成

素子PUTはUJTと類似の素子であって、弛張発振回路が基本となっている。従って、リングング回路方式においても基本発振に弛張発振を設けて、これから同期方形波パルスを発生することにした。この複合機能化回路において両者の相互作用、負荷効果のない回路が作られる。この発生パルス電圧は、センサコイル(L)を持つリングング回路の励振源とする。だから、リングング(減衰振動)がパルス電圧のステップで起動して、断続減衰振動波列を形成する。すなわち、バースト・リングング波は、センサコイルへ被検出体から反応を受けて、減衰振動の減衰係数が異なったものとなる。結局一つのリングング波の時間内に、被検出体の変位変化を区分した検出を行なう変換法である。

第1図(a)は、この方式による変位検知の一系統を示すものであり、いまリングング波は一定レベル以上の成分をパルス数変換することでデジタル信号処理を可能にした。従来の近接スイッチ動作も、パルス数検知法で制御回路に直結が可能であるが本方式はより有利である。

なお、(b)図は、センサコイルを複数個平面上に並べ被

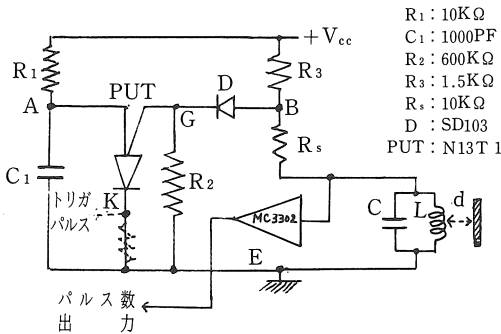


第1図 リンギング回路方式構成図

検出体がその平面上を多方向移動する場合、その移動方向や変位距離の検知する目的使用の構成図を示す。センサコイルを隣接、特に平面上に密着設置するならば、各コイル相互間に磁力線の鎖交とか誘導による干渉が生じて正常動作ができなくなる。この対策として(b)図のように、トリガ同期によるリング・カウンタの方形波パルスで、各コイルを一定順序、かつ回転励振を行なう。この結果得られたリンギングは、パルス数変換して、直列パルス数列の群を出力にする。信号処理は、出力パルスに同期信号を含むので検出側と同期状態で行なうことができる。従って、被検出体の移動模様はインターフェースを附加することにより、マイクロコンピュータと組合せて画像表示が可能である。

2.2 (B) PUT弛張発振と方形パルス

PUTはNゲートコンプリメンタリSCRとも言われ、P、N半導体の4層構造体である。AK間にピーク電流(Ip)以上流せば、PUTはターンオンする。谷電流(Iv)において端子のダイナミック・インピーダンスが零(約3Ωは持つ)になり、大きい直流が流せるスイッチング作用がある。従ってAK間においてCR回路と組合せると容易に弛張発振動作ができる。(第2図参照)また、一方、ゲート電流(Ig)は谷電圧Vvとピーク電圧Vpとで逆転するため、抵抗分圧回路を接続して節点において方形波パルス電圧が得られる。この様に、弛張発振に同



第2図 電磁近接センサ実験回路

期したパルスを相互に影響なく発生する。さらにKE間に抵抗を接続すれば(第2図破線)同期状態でトリガパルス電圧が得られる。基本弛張発振周波数はR1、C1の値で決定される。つぎの関係式が求められる。

$$V_C = (V_{CC} - V_V) \{1 - \exp(-\frac{1}{C_1 R_1} t)\} + V_V$$

$$V_P = \eta V_{CC} + V_T \quad \dots \textcircled{1}$$

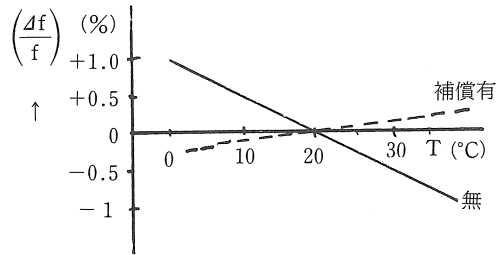
ただし V_T: オフセット電圧
η: スタンドオフ比

いまV_C=V_Pとおき周期を求めると、

$$T = C_1 R_1 \ln \left\{ 1 - \left(\frac{\eta V_{CC} + V_T - V_V}{V_{CC} - V_V} \right) \right\}^{-1}$$

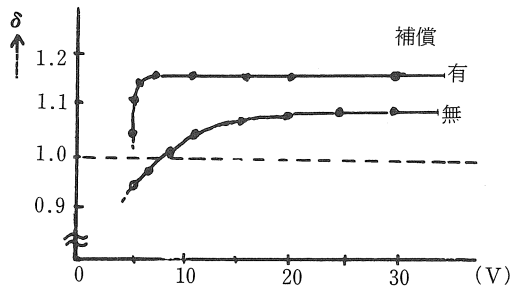
$$= C_1 R_1 \ln(1 - \eta_0) \quad \dots \textcircled{2}$$

②式からV_{CC}、その大きい程、Tは他のパラメータの影響を受けないことが解る。しかしV_TやV_Vは負の温度係



第3図 Δf/f - T特性

数をもち温度に敏感である。この温度補償として、ダイオード(D)とR₂を接ぐのみで効果があげられる。そのことは、I_Gの方向がV_pとV_vで逆転するので、電流方向を定める方法である。実験結果は第3図に示されて、補償の有無による効果は顕著に特性に現われている。また電源電圧V_{CC}の変化に伴う発振周波数の変動について、第4図に示している。この場合も補償を施した場合、V_{CC}の広範囲の変動に対して、安定な弛張発振を行なっているが、低い電圧で急に補償効果ができなくなってくることを表わしている。

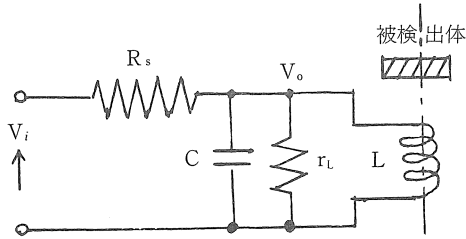


第4図 f - V_{CC} 特性

$$\left(f = \frac{1}{CR} \delta, \eta = 0.62 \right)$$

2.3 (C) リンギング（減衰振動）とパルス数変換

PUT回路のB点（第2図参照）における方形パルス電圧は、センサコイル(L)とキャパシタ(C)のリングング回路の励振源とする。いま、この部分回路を第5図に示し、複エネルギー回路のステップ応答として考える。r_Lで示したのはコイルの損失抵抗成分であり、R_sも含めてパルスの正ステップでリングング現象を起すべく、各素子を設定する必要がある。第5図の回路方程式について示す。



第5図 リンギング回路

$$\text{出力 } V_o(s) = \frac{S V_i(s)}{R_s C (S + \alpha)(S + \beta)} \quad \dots \textcircled{3}$$

いま、 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$, $R = r_L \parallel R_s$,

$$k = \frac{1}{2\omega_0 C R}$$

とおくと、 $\alpha, \beta = -\omega_0 k \pm \omega_0 \sqrt{k^2 - 1}$

リングング条件は、 $0 < k < 1$ であることから、出力電圧対入力電圧比を求める。

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R_s} \cdot \frac{2k}{\sqrt{1-k^2}} \cdot e^{-\omega_0 k t} \cdot \sin \omega_0 \sqrt{1-k^2} t \quad \dots \textcircled{4}$$

④式から、減衰振動の包絡線を考え、振巾の最大電圧値を $|V_{o1}|, |V_{o2}|, \dots$ とすると

$$\frac{|V_{o1}|}{|V_{o2}|} = \frac{|V_{o2}|}{|V_{o3}|} = \dots = \frac{|V_{o(n-1)}|}{|V_{on}|} = e^{\omega_0 k T_0} \quad \dots \textcircled{5}$$

⑤式について、対数減衰率 $\delta_L = \omega_0 k T_0$ 、さてパルス数変換のために、 $|V_{o1}| \times 1/e^3$ までの振動振巾をパルスに変えるものとする。t=0からN番目の振巾ならば、 $N \cdot T_0$ の時間を要する。

$$\delta_L \cdot N = 3 : N = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\pi k} = \frac{T}{T_0} \quad \dots \textcircled{6}$$

ただし $N = 1, 2, 3, \dots$

T : 正ステップパルス巾

⑥式の各関係式が得られる。

しかし弛張発振の復帰時間のため、パルス負ステップ巾（休止期間）が存在する。この場合にも上記の関係のような振動が生ずる。その振巾が大きいため、必ず出力パルス数として計数される。センサ動作においても出力に加わるので、信号処理の同期パルスとして利用するか、計測パルス数から差引くか、応用の方法を考えるべきも

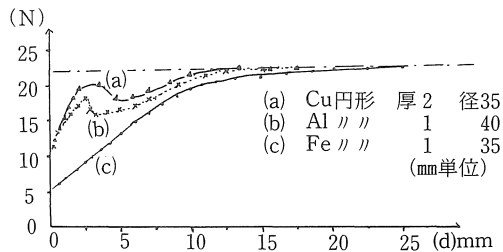
のである。

3. 実験と考察

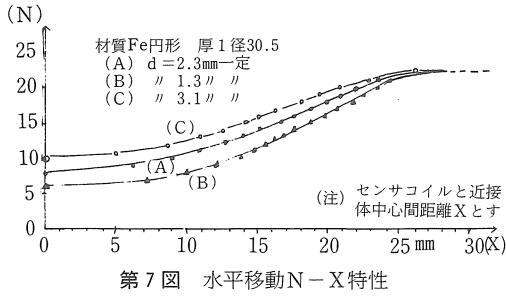
電磁近接センサは検出媒体が磁界であるから、被検出体の材質に金属を選ばなければならない。センサコイルについては、扁平丸形（一般に検出ヘッドという）に作り、対向する被検出体も円形（Al, Fe）板として、近接反応動作の実験を行なった。（第2回実験回路）回路の各測定値を下記に示す。

- センサコイル { 内径：9.8, 外径：26, 厚さ：4.0 (単位 mm), インダクタンス：450(μH), 直流抵抗：3.6(Ω)
- 周波数 { 弛張発振 : 3.21 (kHz)
リングング : 83.3 (kHz)
リングング周期：12.0 (μs)
- 方形波パルス { L レベル：0 (V), H レベル：+12 (V), パルス巾：0.29 (ms), 休止期間：12.0 (μs)
- パルス数変換スレシホールド：0.2 (V) (計算上0.26 (V))

検出ヘッド面に被検出板が垂直方向から接近する場合、出力パルス数(N)と近接距離(d)の特性は第6図に示した。この特性曲線から解るように、被検出体が非磁性金属では、 $d = 2.4\text{mm}$ 附近において山形が生ずる。これは電気的性質（材料）から回路的に共振状態になるのではないと思われる。何れにしても、非磁性金属導体を検出対象物に選ぶことは不適當と思われる。一方この現象は、材質検査の方面において応用の途はある。被検出体に鉄板を用いた場合、 $d = 0 \sim 25\text{mm}$ 範囲では、理論計算式を求めることは困難であるが、指数関数的特性を持つことは明らかとなる。なお、 $d = 0$ で $N = 5$ を示すのは、励振方形波パルス休止期間中に、ダンピング振動が存在して、そのパルス数を計測しているためである。これはPUT素子の物性的性質が主となるから、回路的にはこれを小さくすることはできないと思われる。



第6図 垂直面对向N-d特性



つぎに、被検出体の d を設定しておき、水平移動時の特性を第7図に示した。動作領域は前者と殆んど同じとみなされる。センサコイルと被検出体との対向する面積の関数関係を持つと考えてよい。というのは、センサコイルから空間に拡がる磁界は、コイル周辺で割合一様性があるから、 $N-X$ 特性が直線的になっている。本方式では、一般近接スイッチに生ずる特性の復帰距離とか応差の距離は、ないことが実験から確かめられる。この実験では被検出体の厚みの検討が不十分である。しかし、動作距離は 0.1mm 以上の厚さにおいて大きな動作距離の相異がないことは周知になっている。

4. むすび

リング回路を用いる減衰振動電流をセンサコイルに流す電磁近接センサを提唱した。このための回路構成は、PUT素子回路が最も適当であって、センサ回路を非常に単純化し調整も容易なシステムが得られる。そし

て、被検出体とセンサコイルの距離は、出力としてパルス数変換を行なっているので、距離とパルス数が対応される。これは、制御目的により違ってくるにしても、デジタル信号処理が非常に容易にできる。いま、複数個のセンサコイルを平面上に並べて、被検出体の運動変位状況を立体的に掴む場合を考える。まず、センサコイル間の相互干渉の問題があるが、各個別に順序励振によって、動作を回転させる（同期信号も含めて）方法が本方式により可能になる。さらに、パルス数を多く取ることによる精度向上が得られる。

参考文献

- 1) 山本外史：パルスとデジタル回路，5，理工学社，東京，1978
- 2) 赤松博夫：省力化自動素子，75—117，日刊工業新聞社，東京，1974
- 3) 深谷，紫藤：電磁形パルス数変換変位検出用UJT回路，352，電学東海連大，1977
- 4) 日本電気㈱，PUT技術資料APP No.U5—4，13—14，5—15，東京，1977
- 5) J. D Sensenbaugh, Proximity Detector, 2230, I B M Technical D, B; vol 13, No. 8, 1971
- 6) Bohdan CARNIOL, Inductive Flaw detection by evaluate damped oscillations, TESLA Electronics, 112, 1973

(受理 昭和56年1月16日)