あるアナログ・デジタル変換器の試作*

榎木 義一**, 明石 一***, 岡田 剛****

Construction and Test of an Analog-Digital Converter

by Yoshikazu SAWARAGI, Hajime AKASHI and Tsuyoshi OKADA

Summary; This paper reports on the test results, their data and also circuit elements of an Analog-Digital converter, constructed in our laboratory. This converter is a device which converts the *d-c* voltage to the binary code signal. The pulse counting method is applied and the converting process is as follows.

(1) A sawtooth voltage is generated in the device. (2) The *d-c* voltage is compared with the sawtooth voltage. (3) The elapsed time between the starting point of the sawtooth and the point where it coincides with the *d-c* voltage is measured by chronometric pulses. (4) These pulses are digitized by the binary counter.

This converter is of an all electronic type and we obtained rather satisfactory results.

1. 緒 言

最近自動制御が発達して来て、高級な制御を行うのにデジタル技術を使用するようになって来た。

それはアナログ量によって制御を行う場合に比較し、精度、信頼度も高く、かつ記憶、伝送、計算が便利であるからである。デジタル計算器を使用する自動制御系のブロックダイアグラムの一例として第1図のようなものがあげられ、これによって相当複雑な制御を行うことも可能となって来た。

このようなデジタル自動制御系に使用されるのがアナログ・デジタル変換器であって、これは与えられた値を数字の信号（主として2進法またはその変形したもの）で表示するための変換装置である。通常制御量を検出するのに電圧値かまたは軸位置等によって表わす場合が多く、これらの値から、アナログ・デジタル変換を行う方法としては、

- (1) パルス数を算出することにより求める方法。
- (2) デジタル符号板を未知量に応じて回転させ、その角度を直接読みとる方法。
- (3) 既知の階段的な電圧値の列と順次比較して、その間の関係より求める方法。

があり、ここに試作したものは(1)に属するもので、直流電圧値より2進法のデジタル符号に変換する全電子管方式の変換器である。本試作によりこの変換器の各回路の定数を定めることができ、かつ特性も好結果を得ることができた。

第 1 図

第 2 図

* 昭和 32 年 10 月 25 日 創立 60 周年記念地方第 5 区(広島)講演会において講演、原稿受付 昭和 32 年 12 月 23 日。

** 正員、京都大学工学部(京都市左京区吉田本町)。

*** 正員、立命館大学理工学部。

**** 正員、京都大学工学研究所。

第 3 図

2. 原 理

この方法の原理は、第2図に示すごとく、未知電圧 B の値を知るために、装置内部より発生するのこ歯状波 A と比較し、 A と B が等しくなった点 C までの時間、すなわち $t=0$ より $t=t_1$ までの時間をパルスで測定し、これを2進法で表示することにより、入力電圧をデジタルの符号に変換するのである。

本装置のブロックダイアグラムは第3図のごとくなる。この歯状波発生装置からのこ歯状波を比較回路に送り込む。比較回路において未知の入力と比較を行う。両電圧が等しくなるときまでは比較回路の出力は高い電圧を出しているが、両電圧が等しくなった瞬間から出力電圧は低くなる。ゲート回路には常時標準パルス発生装置からパルスが送られていて、比較回路から送られて来る電圧が高い間はパルスを出力回路に通過させ、低くなると通過させなくなる。すなわち、これによって $t=0$ より $t=t_1$ までの間だけパルスを通過させることができる。ここを通過したパルスはパルス計算装置によって2進法で表示され、更に読取り装置によって読取られる。これが出力となって現われて来る。読取りが終了とパルス計算装置をリセットする。そして再び次のこ歯状波を発生させる。以上のような過程を制御するのが計時装置およびこれに関連するゲート装置である。この歯状波の発生は計時装置より送られる正のパルスによって行われる。この繰返しの周期がサンプリングの周期となる。この周期の前半をパルスの計算に使用し、後半の前半で読取りを行う。7けた2進法の場合、第1番目のパルスより第128番目のパルスまでの間でパルスの計算を行い、第128番

目より第192番目のパルスの間で読取りを行い、第192番目のパルスのところでリセットを行う。更に第256番目のパルスのところで次のこ歯状波のトリガーを行うこととなる。したがってこの場合分解能は128となる。標準パルス発生装置に10kcの発振器を使用したのではこの歯状波の繰返しは10kc/256となる。なお2進法のけた数を上げて行けば精度はそれだけ向上することになる。

3. 回 路 説 明

3.1 この歯状波発生回路

この歯状波の発生回路は第4図に示すごとくである。

T_1 に示す 6AS6 という真空管は第1格子と第3格子の両格子で制御を行うことのできる真空管である。第4図において第3格子は通常シャ断状態に保たれている。そのため T_1 の陽極には電流が流れずに、主として第2格子に流れている。いま C_2 を通って正のパルスが与えられると、 T_1 は導通を開始し、陽極電位が降下する。これに伴い T_2 の陰極電位が降下し、 T_1 の第1および第2格子電位が降下して第3格子電位以下となる。その状態が繰返し続いて、陽極電位は次第に下り、 R_1, C_1 による時定数によって第1格子電

第 4 図

第 5 図

第 6 図

位が復帰するまで降下特性を示す。かくて出力に第 4 図に示す波形が得られる。 T_2 は波形の、また T_3 は大きさおよび間隔の調整に効果がある。間隔 T の必要な値に対してあらかじめ R_1 , C_1 の値を定め、多少の調整を可変抵抗で行うと、求める波形をうることができる。本回路では出力端子で通常約 60 V (D.C.) を保っており、パルスがはいることによって約 50 V より約 8 V まで直線的な降下特性を示す。

3.2 比較回路 比較回路は第 5 図のごときものを使用する。 T_1 は通常流れていて、陰極電圧は高くなっている。比較電圧が陰極電圧より低く、断状態にある間は T_2 は非導通状態で T_2 の陽極電圧は高くなっている。この

歯状波に従って T_1 の格子電圧が次第に下がって来るに従って T_1 は流れなくなり、陰極の電位はこの歯状波と同じように降下する。ある点まで降下すると T_2 は導通を開始し、陰極は再び上昇を始め、 T_1 は導通しなくなり、 T_1 の陽極電圧が上昇し、これが C_1 を通って T_2 の格子に加わるので、この瞬間再生状態となって、 T_2 の陽極電位は降下する。この波形は第 5 図に示すごとくである。

両電圧が一致して出力が急激に下降するときの既知電圧と比較電圧との関係は第 6 図に示すごとく、10～60 V の間は直線的となる。

この歯状波発生回路で発生するこの歯状波は第 4 図に示すごとく下向きに降下特性を有するために、比較回路において比較電圧とこの歯状波が一致して出力電圧が急激に低下するのは、比較電圧が低い場合の方がおそく、比較電圧が高い場合の方が早くなる。そのためにゲート回路を通過するパルスの数は比較電圧の高い場合の方が少く、低い場合の方が多くなって不都合を生ずる。それで比較回路の入力の前段に第 7 図に示す直流電圧の逆転回路を使用する。これは入力電圧が高くなれば陽極電流が増加して陽極電圧が下降するので入力と出力が逆の特性となる。出力側は比較回路の 10～60 V 間の直線的な特性部分を使用するように適当に分圧する。また入力側は入力電圧の性質によって適当に合わせられるように調整が可能である。この逆転回路によって入力電圧の高いときパルスを多数通過させ、低いときパルスの通過する数が少くなるようになった。

3.3 ゲート回路 ゲート回路は第 8 図に示すごとく 2 段のゲートより構成されている。先に述べたようにパルスの計算はサンプリング周期の前半で行われる。この前半(すなわち第 1 番目のパルスから第 128 番目のパルスまでの間)のみ電圧が高く、他の期間は電圧が低いという信号が、計時装置より送られて来

第 7 図

第 8 図

第 9 図

る。この信号と比較回路より送られて来た信号の両方が同時に高いときのみ高い電圧を出し、両方が低い場合、もしくは片方が低い場合には低い電圧を出すようになっているのが前段のゲートである。後段のゲートは 6AS6 を使用し、前段のゲートより送られる信号を第 3 格子に、また標準パルス発生装置より送られるパルスを第 1 格子に入れる。陽極の出力側には、前段のゲートの出力電圧が高いときのみパルスを通し、低くなるとパルスを通さなくなる。以上の回路によって、 $t=0$ より $t=t_1$ までの間に相当するパルスをパルス計算装置に送り込むことができる。

3.4 パルス計算装置 2進のパルス計算装置には第 9 図に示すフリップ・フロップ回路を使用する。いま T_1 が導通しているとすると、 T_1 の陽極電圧は低くなっている。したがってこの電圧を分圧している T_2 の格子電圧が低くなって T_2 側は非導通の状態となっている。いま入力端より負のパルスが与えられ、両側の格子電圧は一瞬下がるが、 T_2 側より T_1 側の方がより低く降下するために、今度は先に T_2 側が導通を開始し、 T_1 側が非導通状態となって安定

する。このように T_1 と T_2 とは負パルスのはいるごとに交互に導通状態となる。今 T_2 側の出力端に出て来る負のパルス数を数えると入力パルスのちょうど $1/2$ となる。本回路の設計基準は、

E_B = 電源電圧

E_{pK} = 陽極-陰極間電位差 (ただし導通時)

I_p = 陽極電流 (ただし導通時)

$E_{KE} = I_p R_5$ = 陰極電圧

$E_{pEH} = E_B - I_p R_1$ = 非導通側陽極-大地間電圧

$E_{pEL} = E_B - I_p (R_1 + R_2) = E_{KE} + E_{pK}$

= 導通側陽極-大地間電圧

$E_{GEH} = E_{pEH} \times R_4 / (R_3 + R_4)$

= 導通側の格子-大地間電圧

$E_{GEL} = E_{pEL} \times R_4 / (R_3 + R_4)$

= 非導通側格子-大地間電圧

E_c = カットオフ格子電圧

とした場合

$$E_{GEH} \geq E_{KE}$$

$$E_{GEL} \leq E_{KE} - E_c$$

以上より

$$I_p \cdot R_2 [R_4 / (R_3 + R_4)] \geq E_c$$

$$E_{KE} \leq \frac{E_{pK} [R_4 / (R_3 + R_4)] + E_c}{1 - [R_4 / (R_3 + R_4)]}$$

上式において真空管を 12AU7 とし、 E_{pK} を定めると I_p , E_c が定まり、 R_3 , R_4 を R_1 , R_2 に比較して大きく取り、 $R_4 / (R_3 + R_4)$ を適当に定めると、第 9 図の値が得られる。

いまこの回路の出力パルスによって、次の段の同じ回路を働かせると、2 段目より出て来る出力パルスは 1 段目の入力パルスの $1/4$ となる。このようにして同じ回路を続けて行くと、 $1/2$, $1/4$, $1/8$, ..., $1/128$ という具合にパルスが減じて来る。この関係は第 10 図のごとくなる。同図の写真は 1 段目の陽極電圧と 2 段目の陽極電圧との関係を示すもので上側が第 1 段目、下側が第 2 段目である。第 1 段目の陽極電圧が、高い方から低い方に変化するときのみ、第 2 段目の電圧が変化する。そのためにちょうど $1/2$ となる。いま各段を $A, B, C, \dots$ とすると、 $A, B, C, \dots$ の陽極電圧の関係は第 10 図 (b) のごとくなっている。したがってある時期において $A, B, C, \dots$ の回路の電圧の関係をみるとちょうどそれまでに第 1 段目の入力端に入ってきたパルスの数を 2 進法によって表示した結果となる。かくして $t=0$ より $t=t_1$ までの間に通過したパルスを 2 進法によって表示できた。

なお本回路をリセットするには片側の格子に、抵抗およびコンデンサを通してパルスを与えることによ

第 10 図

で行った。また本回路を、次に出て来る読取り装置でも使用したが、その場合には陽極回路に接続されているネオンランプがパルスを吸収するので、トリガーはコンデンサを通して両格子に同時に与える方法によって行った。

3・5 読取り装置 上記パルス計算装置によって求められた2進信号は回路別になっているため、これをある一定時間間隔の信号として取り出し、1チャンネルで伝送できるようにしたのが本装置であって第11図に示すとき回路を使用した。同図に示すA, B, C, D, … は前項のパルス計算装置の各段の陽極を示す。したがってパルスの計算によってここには回路別に2進法の値が現われている。また同図a, b, c, d, … は別のフリップ・フロップ回路で各陽極回路にネオンランプが接続されている。したがってaとbは必ずどちらか一方の電圧が高く、他の側が低くなっている。cとd, eとfも同じく一方が高く一方が低い。通常はb, d, fの電圧が高い状態で静止していて、A, B, C, D, … のどの回路をも選択していない。パルスの計算が終わって読取りの期間が来て始めて左側のフリップ・フロップが働き始める。まず第一に、a, c, eの電

圧が高くなる。そのためにa, c, eに接続されているネオンランプが点火する。したがってR₁, R₂に電流が流れてa', c', e'点は電圧が高くなる。一方b, d, f回路は電圧が低いためにネオンランプは点火せず、R₁R₂に電流が流れないので、b', d', f'点は0電位となる。A, B, C, … 回路のうちどこか1個所でもb', d', f'にネオンランプを通して回路が接続されていると、そのネオンランプが点火して、そのために電圧降下を生じて出力回路にはなんらの作用も与えない。A, B, C, … 回路とa', c', e'点とがネオンランプを通して接続されている所は、a', c', e'の点の電圧が高いために、そのネオンランプは点火せずにそのまま出力回路に現われて来る。第11図の場合、b', d', f'点とネオンランプで結ばれていないのはA回路だけである。もしA回路の電圧が高ければ出力に高い電圧が現われて来る。次にb, c, eの電圧が高い場合は、a', d', f'の電圧が0となって、これに接続する回路は電圧が低くなってしまふ。したがってB回路のみが選択されて出力となって現われて来る。以上のごとく、電圧の高い組合せがa, c, e, b, c, e, a, d, e, b, d, e, … という具合に変わって行くにつれてA, B, C, D, … と順次に回路を選択して行くことになる。いま、この出力をゲート回路 6AS6 の第3格子に、またフリップ・フロップを働かせるパルスと同期しているパルスを第1格子に与えると、ゲート回路の出力パルスは第11図(b)のごとく、A, B, C, D, … という順序で、かつA, B, C, D, … 回路の電圧に応じた信号となって現

第 11 図

第 12 図

第 13 図

われて来る。かくして時間的に配列された2進法の符号に変換されたわけである。なお本回路のフリップ・フロップを働かせるパルスは、読取りの期間中にちょうど8個はいるように、すなわちパルス計算装置で計算を行うパルスの1/8周期のものを使用する。

3.6 計時装置およびゲート装置 計時装置はパルス計算装置に使用した回路と同じ回路を使用し、第1番目から第128番目のパルスの間 高い電圧を出す回路、あるいは第256番目のパルスを出す回路がで

きる。次に読取りの期間は第12図に示す回路によって行った。すなわち第128番目の正のパルスを受けて、ある一定時間だけ高い電圧を出す単発マルチバイブレータである。この回路は T_2 側は通常導通していて出力電圧は低くなっている。いま入力に正のパルスがはいると T_1 側が今まで非導通であったものが導通を始め、 T_1 の陽極電圧が降下する。そのため、 T_2 側の格子電圧が降下して T_2 側が非導通となり出力電圧は高くなる。

R_1 , C_1 の時定数によってある期間だけ出力電圧は高く自動的に元に復帰する。 R_1 , C_1 の値を適当に選んでちょうど第128番より第192番目までの間だけ出力電圧が高くなるようにして、読取りの期間をうることができた。また本回路が復帰するところから負のパルスを取り出して、パルス計算装置および読取装置をリセットするのに使用した。またこの計時装置から直ちに読取り装置を働かせる1/8パルスを出すことができる。

4. 結 び

本装置はできるだけ簡便に、かつ精度を失わないようにくふうした。結果は第13図のごとく、入力電圧と出力パルス数との関係が直線的特性を示し好結果を得た。更に十分選択された部品などを使用すれば、更に安定した実用的なものが得られるものと思う。

文 献

- (1) Millman & Tanb, *Pulse and Digital Circuits*, (1956).
- (2) George G. Bower, *Control Engineering*, 4, 4 (1957), 107.

通産省外国技術導入再検討

通産省は新政策の一つとして国産技術の育成を図るため、外資法にもとづく外国技術導入の方法について再検討をはじめた。

現行の外資法は外国技術との接触が断たれた戦時中のわが国技術の空白を急速に埋める必要から25年に作られたもので、外国会社に対し技術輸出に伴う配当やロイヤリティの送金を長期保証することなどにより、外国技術の積極的な導入を期待するというねらいをもっている。

同法ができてから昭和32年3月までの7年間に行われた技術援助契約(甲種)は、電気機械関係143件、輸送用機械関係48件、一般機械関係148件、金属関係63件、化学関係146件、紡織関係37件、その他77件合計662件で、対価支払額は8400万ドル(約300億円)に達している。

また外国かわせおよび外国貿易管理法による技術援

助契約(乙種)800件、対価支払額65億円にのぼっている。

導入された技術は立遅れていたわが国の技術水準を飛躍的に向上させ、大きな成果をもたらしたが、最近では企業の営業利益の増大を図るため、ブランドを買うなどの安易な考え方で外国の技術を導入し、国内の研究努力を等閑視する傾向も生じ、国内各企業の競争から多くの企業が同一種類の技術を導入するという事態さえももたらしている。

そこで通産省では国内過当競争の防止という方針で抑制策を考えているが、一方科学技術庁では国内技術研究の促進の立場から国内研究投資と対価負担との採算比較などの見地より、また大蔵省では年々増加する一方の外貨支払を防ぐという見地より、それぞれ外資法の改正について検討をすることになった。

(服部敏夫)