

ケーブルウインチ用 デジタル表示ユニットの開発

関東職業能力開発大学校 西 島 俊 治
 中 嶋 俊 一
 久保山 寿 一
 池 田 愛 彦
 野 口 亮 一
 先 崎 康 裕
 川 端 広 一
 (株) 廣澤製作所 根 本 和 彦

Development of a Digital Display Unit for Cable Winch

Toshiharu NISHIJIMA, Toshikazu NAKAJIMA, Toshikazu KUBOYAMA, Yoshihiko IKEDA
 Ryouichi NOGUCHI, Yasuhiro SENZAKI, Hirokazu KAWABATA and Kazuhiko NEMOTO

要約 製作した表示ユニットは、データの入出力や演算等を行うインタフェース基板と液晶表示器などが配置されている表示ボックスから構成されている。インタフェース基板は、単相交流電圧100V からリレー、IC などに必要な直流電圧を生成する電源回路、電流入力変換回路、モータ出力回路、通信回路等で構成されている。モータ電流に対する牽引力の関係は、実験により特性関数を求め、マイクロコンピュータプログラムに使用した。この表示ユニットを使用することにより、ウインチモータの始動、停止、液晶表示器によるケーブルの牽引力等リアルタイム表示ができる。また、オーバーロード時には、モータを停止し、アラームブザーが鳴る。パーソナルコンピュータに接続した場合、現在の牽引力等の値をディスプレイ上のグラフにプロットされ、ビジュアル的に把握でき、必要に応じデータの保存もできる。最後に、試作した表示ユニットをケーブルウインチに取り付け、動作等の確認試験を行った。

はじめに

半導体製造技術の急速な発展により、IC やマイクロコンピュータなどの電子部品の開発は日進月歩である。一方、このような急速な開発に伴って従来からある IC 部品が製造中止になるケースがあり、電子回路の再設計を行う必要が生じている。中小企業では、多くの人材を抱える余裕がない中、自社製品の優位性やユーザの要望に迅速に応えるため、効率的に付加価値を付ける必要がある。

このような状況下で、ケーブルウインチの電流表示をデジタル化したいとの要請が広沢グループ関連企業から当大学にあり検討してきた。その結果、ケーブルウインチ用表示ユニットを職業能力開発事業で研究開発することとなった。

ケーブルウインチは、ケーブル施設工事をスムーズに行うためのツールである。この機械は、ケーブルを引きたい箇所に、予めロープ等の予備線を配線し、水平に置かれた巻き胴に取り付け、モータの回転によりこのロープを巻き取ってロープの終端に結んだ重い

ケーブルを牽引するものである。

本論文は、開発した表示ユニット各部の回路構成とウインチモータの特性および計測プログラムについて報告する。

表示ユニット回路と構成

図1は、製作した表示ユニットで、データの入出力や演算等のインタフェース基板と液晶表示器などが配置されている表示ボックスから構成されている。表示ボックス上には、NFB(配線用遮断器)、電源ランプ、液晶表示器と6個の入力スイッチ(運転/停止用スイッチ、最大牽引力設定用UP用、DOWN用スイッチ、電流/牽引力の表示切り替え用ロータリスイッチ、モータの回転スピードの切り替えスイッチ、リ

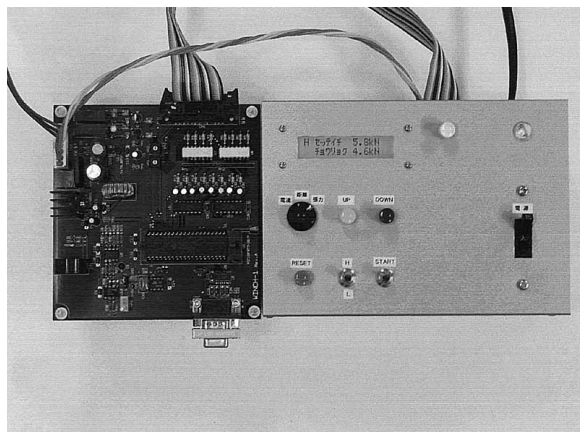


図1 製作した表示ユニット

セット用スイッチ)を配置した。

図2は、設計したインタフェースの全体回路図である。同図は、制御用マイクロコンピュータ(マイコンと略す)を中心とし、交流電圧を直流電圧に変換する電源回路、スイッチ入力回路、CT二次整流回路、モータ、アラーム出力回路、液晶出力および通信回路から構成されている。マイコンは、マイクロチップテクノロジー社のPIC(RISC型の8ビットワンチップマイコン16F877)を使用した。このICは、14ビットワード8k(1命令14ビット幅×8k語)のフラッシュプログラムメモリ(電氣的に書込消去ができるFLASHタイプ)、5個のI/Oポート、10ビットA/D変換(アナログ-デジタル変換)モジュールおよびUSART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)シリアル通信機能などを持っている。本システムでは、A/D変換器の入力用としてAポート、スイッチ入力用としてBポートを割り当てた。また、液晶表示器用としてDポート、モータおよび警報器用としてCポートのC0、C1、通信用としてC6、C7をそれぞれ割り当てた。発振子は、セラミック発振子20MHzを使用した。

図3は、電源回路およびモータ出力回路を示している。電源トランスは、入力電圧AC100V、出力AC9V2A、AC9V0.1Aの2巻線タイプを使用した。一次側に入力されるAC100Vの電圧を二次側で9Vに降圧し、ブリッジダイオードで全波整流してDC12Vを生成している。その後、シリーズレギュレータIC

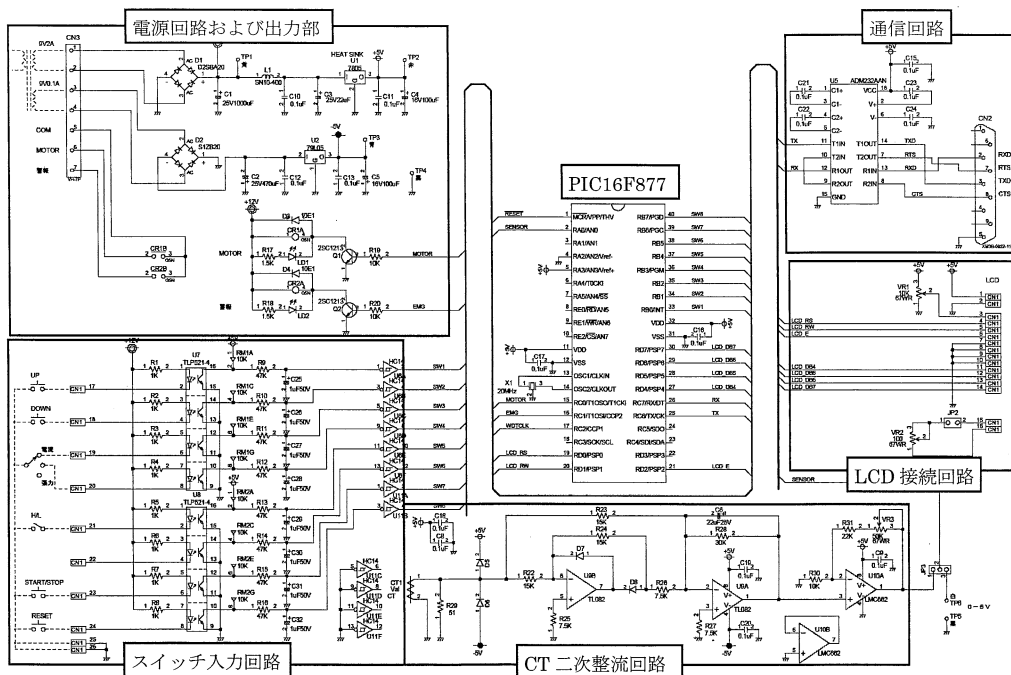


図2 インタフェース回路

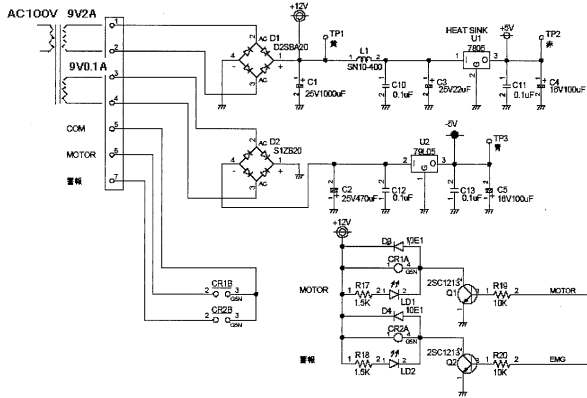


図3 電源回路およびモータ出力回路

7805を用いてDC 5Vの安定化した電圧を得ている。脈動分を抑え、リップル率をよくするため、チョークコイルとコンデンサを組み合わせたLCフィルタを使用した。負荷電流が小さいときは主にコンデンサが脈動分を抑え、負荷電流が大きくなるとチョークコイルが脈動分を抑えている⁽¹⁾。また、負の電圧は、ブリッジダイオードで全波整流後シリーズレギュレータIC 79L05により - 5Vにする。ここでは、負荷電流が少ないためチョークコイルとコンデンサを用いたフィルタは使用していない。

モータおよび警報器は、マイコンの出力によって制御される。マイコンの出力信号はNPNトランジスタのベース電流を制御しプリント基板上に配置したリレーを動作させる。このリレー接点出力は、さらにウインチモータ駆動用リレーコイルに接続され、AC100Vで運転、停止を行う。

図4は、スイッチ入力回路である。入力部は、誤動作を防ぐため、フォトカプラを使用し、スイッチ側とマイコン側を電氣的に遮断している。フォトカプラ入力側(スイッチ入力側)の電圧は12V、フォトカプラ出力側の電圧は5Vである。

図5は、CT (Current Transformer) の二次整流回路である。同図は、絶対値増幅回路と呼ばれている⁽²⁾。CTは、一次側の大電流を変流して小電流に変換するもので、U_RD社製のCTL-6-S-H(貫通形電流センサ)を使用した。本システムでは、CTの

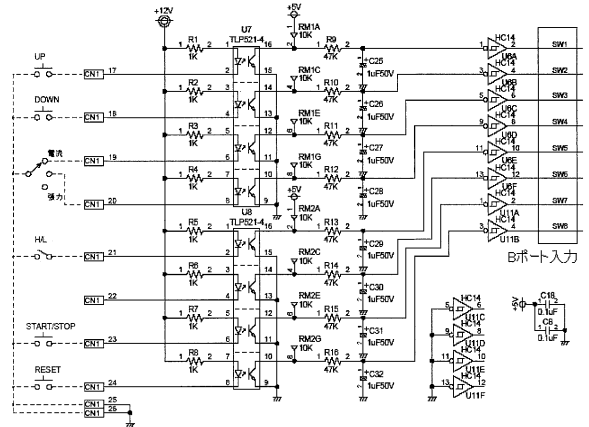


図4 スwitch入力回路

一次側に測定するモータ電流を入力し、CT 出力端子に誘導される電流を抵抗によって電圧信号に変換している。CT 出力に接続されているダイオードは、ウインチモータ始動時に大きな始動電流が流れ、一時的にCT 二次巻線に大きな交流電圧が発生する恐れがあるために付加した保護用である。CT の出力端子は51Ωの抵抗でターミネートされ、抵抗の両端に発生した正弦波電圧は、最初のオペアンプ(OP1)で負の半波整流が行われ、次段のオペアンプ(OP2)で加算され全波整流される。さらに、コンデンサを抵抗R28に並列に入れることにより、平滑した直流電圧を得ている。三段目のオペアンプ(OP3)は、非反転の増幅回路で、マイコンの入力電圧調整用である。整流回路で使用した固定抵抗は、金属皮膜抵抗1/4Wを使用した。この種類の抵抗は、抵抗温度係数が低く、安定度も優れている⁽³⁾。一般的に使用されているカーボン抵抗に比べ今回使用した抵抗は約3倍の価格(1本当たり6円)であった。また、誤動作防止のため未使用の入力端子は、グランドまたは電源に接続した。さらに、マイコンにテスト用の直流電圧を与えることができるように、回路切り替え端子を設けた。

図6は、RS-232C通信回路である。通信線は、ICの通信端子からCMOS ADM232AARNのドライバー/レシーバICを介して通信回路を構成し、9PINコネクタに接続した⁽⁴⁾。パソコン側との通信は、クロス

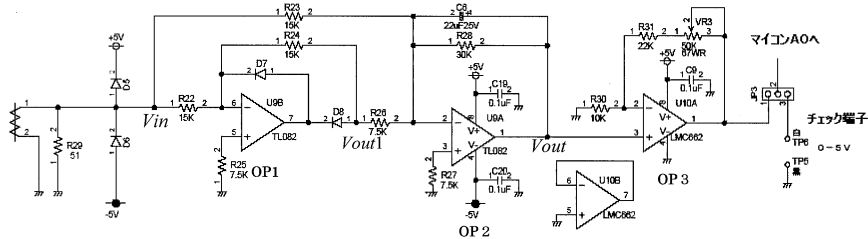


図5 CT二次整流回路

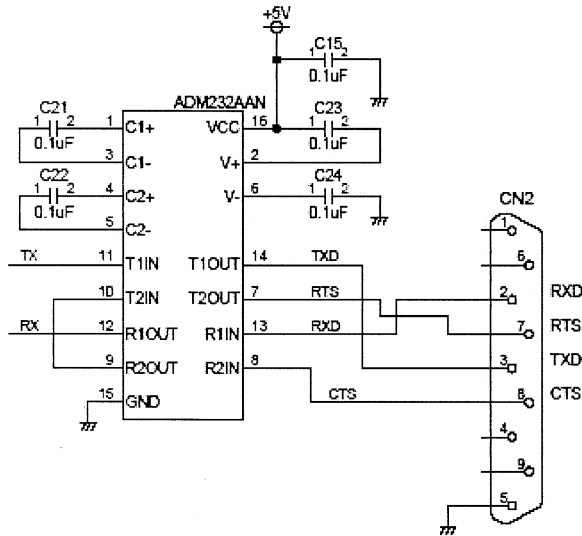


図6 通信回路

ケーブルを使用するように設計した。通信線は、TX（送信データ）、RX（受信データ）、CTS（送信制御）、RTS（受信制御）およびGND（グラウンド）の5本で、CTSおよびRTSはハードウェアで折り返し接続とした。

実験結果および考察

1. モータ電流とCT二次電圧の関係

図7は、CT一次電流（0から20A）に対するCT二次電圧と表示電流の関係を表している。負荷は、京南電機製の負荷抵抗器 KMR - 104を使用した。およびのグラフは、CTの一次電流と二次電圧の関係を測定したものであり、左側に示す縦軸は二次側の電圧である。のグラフは図5のCTの二次側に接続されている抵抗（51Ω）に発生する交流電圧（ V_{in} ）のグラフは絶対値増幅回路により交流から直流に変換されたDC電圧（ V_{out} ）をそれぞれ測定したものである。のグラフは、マイコンの入力が0から5Vであるため、20Aの時に電圧が5Vになるように調整した結果である。のグラフは、入力電

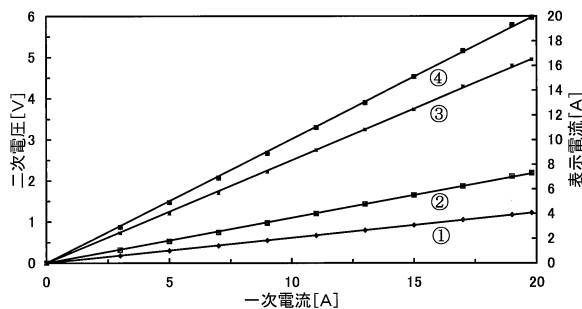


図7 CT二次電流に対する二次電圧と表示電流

流と液晶表示器の表示電流の関係を測定したもので、右側に示す縦軸は表示電流である。

のグラフは、の交流電圧入力が入力電圧に変換されたもので、この過程を示すと次のようになる⁽⁵⁾。入力 V_{in} が負の場合は、ダイオード D7 導通状態、D8 遮断状態であり、整流回路は切り離された状態で反転増幅され V_{out} は次式となる。

$$V_{out} = - \left(\frac{R_{28}}{R_{23}} \right) V_{in} = - \left(\frac{30 \times 10^3}{15 \times 10^3} \right) V_{in} = - 2 V_{in} \quad (1)$$

また、入力 V_{in} が正の場合は、ダイオード D7 遮断状態、D8 導通状態であり、整流回路の出力電圧 V_{out1} が R26 経由で反転増幅回路に加えられる。他方、 V_{in} が R23 経由で反転増幅回路に加えられる次式となる。

$$\frac{V_{in}}{R_{22}} + \frac{V_{out1}}{R_{24}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{V_{out1}}{R_{26}} + \frac{V_{in}}{R_{23}} + \frac{V_{out}}{R_{28}} = 0 \quad (3)$$

式(2)、(3)より V_{out1} を消去し、次式を得る。

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{R_{28}}{R_{23}} \left(\frac{R_{24} \cdot R_{23}}{R_{22} \cdot R_{26}} - 1 \right) V_{in} \\ &= \frac{30 \times 10^3}{15 \times 10^3} \left(\frac{15 \cdot 15 \times 10^6}{15 \cdot 7.5 \times 10^6} - 1 \right) V_{in} \\ &= 2 V_{in} \end{aligned} \quad (4)$$

(1)、(4)式より入力が正負に拘わらず2倍の正の出力値となり、全波整流されることがわかる。

しかし、のグラフが示す直流変換後の電圧は、のグラフが示す測定値の2倍より10%程小さな値となった。この理由は、交流電圧は実効値で測定し、直流電圧は平均値の測定になるため、実効値と平均値の関係で約10%減少したと考えられる。

マイコン入力電圧と表示電流の関係は、次式とした。

$$I = 4 \cdot V \quad (5)$$

ただし、 I ：表示電流 [A]

V ：マイコン入力電圧 [V]

のグラフより、モータ電流と表示電流はほぼ比例の関係になっており、良好な結果が得られたと思われる。

2. 電流と牽引力特性

ケーブルウインチに搭載されているモータは、単相直巻電動機 (single-phase series motor) である。このモータは、入力端子に交流を加えると、半周期毎に

磁極の極性と電機子電流の向きが同時に入れ換わるので常に一定方向に回転する。また、界磁巻線と電機子巻線が直列になっており、モータに流れる電流と電機子電流は等しい。

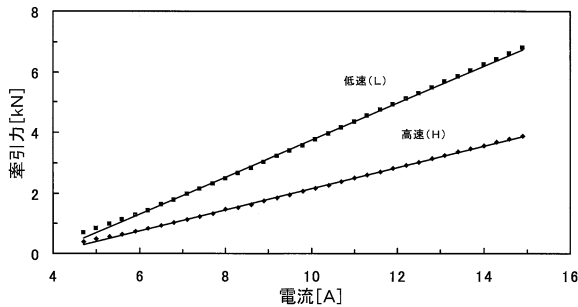


図8 電流と牽引力の関係

図8は、ケーブルウインチのモータ電流と円筒状の巻き胴に取り付けられたケーブルの牽引力の測定結果である。モータには減速機が取り付けられており、減速比を2段に切り換えることができる。巻き胴は、鋼鉄製で直径120mmである。牽引力の測定には、ロードセルを使用した。図には異なるギア比（低速回転および高速回転）におけるモータ電流と牽引力の関係が示されている。図中に示すように傾きの大きい線が低速側の牽引力、傾きの小さい線が高速側の牽引力を示している。

この実験データより、モータ電流と牽引力の関係式を導くと次式ようになる。

$$f_L = 0.60958 I_a - 2.3466 \quad (6)$$

$$f_H = 0.34882 I_a - 1.3366 \quad (7)$$

ただし、 f_L ：低速側の牽引力 [kN]

f_H ：高速側の牽引力 [kN]

I_a ：モータ電流 [A]

ここで、第2項の数値は、動摩擦による力を表していると思われる。

単相直巻電動機の発生トルクはモータ電流 I_a の二乗に比例することが知られているが、 I_a がある値以上に大きくなると、磁気飽和を生じトルクは電流に比例するようになる⁽⁶⁾。本論文では実験によって得られた(6)、(7)式とモータ電流値を用いて牽引力を求める。

3. 表示確認運転

図9は、ケーブル入線用ウインチにデジタル表示ユニットを組み込んだものである。デジタル表示用ボックスは表面パネルに、計測用インタフェース基板はウインチ側面にそれぞれ固定し、それぞれの基板はフラットケーブルで接続されている。また、ウインチ本体から絶縁する目的で、それぞれの基板はプラス

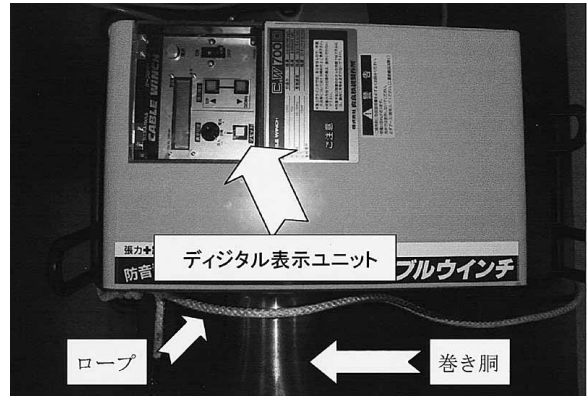


図9 ウインチにセットされたデジタル表示ユニット

チック製の留め金で固定されている。

確認運転では、模擬的に負荷をかけるため、一方が本体に固定されたロープを巻き胴に巻いてロープを引いた。ロープと巻き胴の摩擦の強弱で負荷を増減し、電流、牽引力などの表示器の表示確認およびオーバーロード時の停止動作確認などを行った。この結果、ほぼ目的とする動作を確認できた。

プログラム

プログラムは、PIC マイコン用と Visual Basic (VB と略す) による計測用サンプルプログラムを作成した。PIC マイコンのプログラムは、CCS C Compiler と MPLAB を使用して作成した⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

メインルーチンプログラムのフローチャートを図10に示す。このプログラムは、入力スイッチによるモータの始動/停止、液晶表示器、モータなどの初期設定、図11で示すような割込みのスタート、0.5秒毎に実行する演算表示および通信データ送信などを行う。

割込みルーチンプログラムのフローチャートを図11に示す。このプログラムでは、10ビットの分解能で10ミリ秒毎の電流データの取り込みと平均電流演算、オーバーロード検出などを行う。オーバーロードとは、最大牽引力設定値を超える値のことである。モータが停止するまでの時間は、表1に示すような運転時の負荷電流値により7種類に分けている。この設定時間内にオーバーロード条件が解除すると、モータは停止しない。

サブルーチンプログラムは、スタート条件、演算、オーバーロード条件、液晶表示および牽引力上限の設定等に分けた。液晶表示は、表示ライブラリ⁽⁷⁾を使用してプログラムし、1行目に最大牽引力設定値、2行目はロータリスイッチにより決められる牽引力、電流のデータの内1つを表示するようにした。電流、牽引力

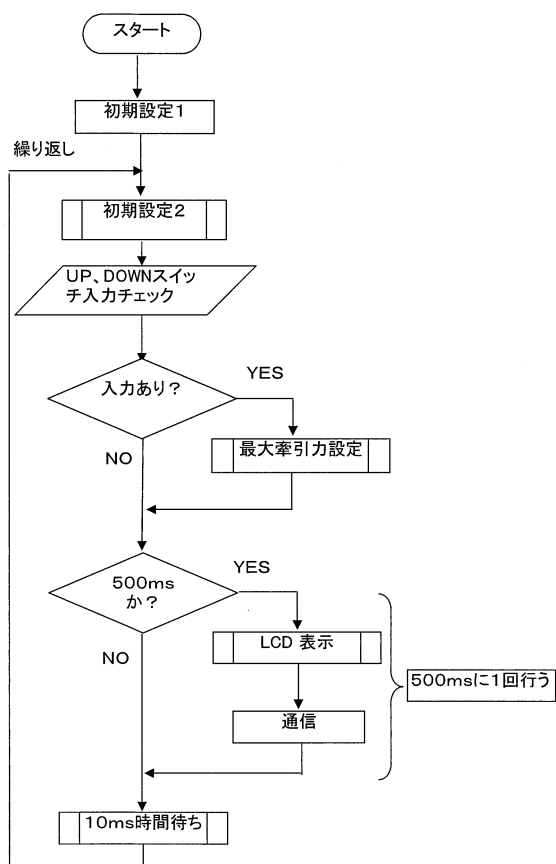


図10 フローチャート（メインルーチン）

表1 電流値と停止時間

電 流 範 囲	時 間
4 A 以上 6 A 未満	5 秒
6 A 以上 7 A 未満	4 5秒
7 A 以上 8 A 未満	4 秒
8 A 以上 9 未満	3 5秒
9 A 以上 9 5未満	3 秒
9 5以上10A 未満	2 5秒
10A 以上	2 秒

の計算式は、(5)、(6)、(7)式を使用し、0.5秒間毎のデータに変更し使用した。この理由は、電流は0.5秒毎に表示器に表示するため、データ表示もそれに合わせて平均電流を算出し、最新のデータを計算表示するためである。一方、最大牽引力の設定は、モータ停止中、運転中に拘わらず up、down 用スイッチで行うことができ、この時の表示器の表示間隔は、0.5秒より短く設定した。また、マイコンが異常になって停止した場合や予期しないところで永久ループになった時には、内蔵の WDT で PIC をリセットするようにした。

図12は、PIC マイコンとパソコンとを RS232C ケーブルで接続して通信するときの表示画面である。VB

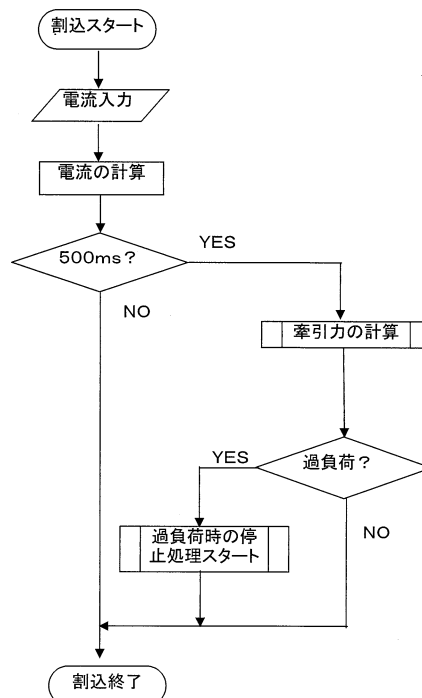


図11 フローチャート（割込みルーチン）

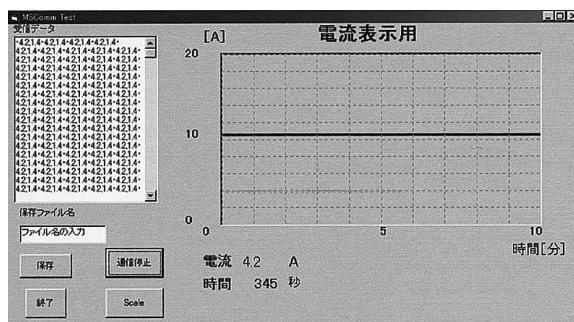


図12 VB計測用表示画面

で作成した計測用サンプルプログラムは、電流、牽引力等得られたデータをテキストボックスに表示し、状態の把握のため電流を画面にグラフ（横軸：時間、縦軸：電流）で表示し⁽⁹⁾、必要であれば CSV 型式でデータ保存ができる。パソコン側通信仕様は、ボーレート9600、パリティチェックなし、データ長8ビット、ストップビット1に設定した。

おわりに

今回のデジタル表示ユニットの開発では、回路設計、マイコンの選定、プログラム開発およびそれに伴うモータ特性の測定などを行い、入線用ウインチについてほぼ目的とする計測表示を行うことができた。モータ特性については、電流に対する牽引力の関係から特性式を導き、マイコンプログラムに利用した。マイコン選定については、当初予定した Z80CPU を PIC

マイコンに変更することで、部品点数が削減され、コストを低減することができた。

しかし、本研究では実験や計測等のことを考え、チェック端子、外部 IC による WDT 回路、IC の着脱に便利なソケットなどを設けた結果、部品の予定予算 1 万円に対して 2 割程度オーバした。製品化する場合、再度製品化に向けた設計を行うことでコスト削減が可能であると思われる。

また、当初の計画通り、この試作ユニットを使用して「ワンチップマイコン活用技術」の訓練コース名で自作教材および市販教材¹⁰⁾を使用してセミナーを実施した。セミナーのアンケート結果から、受講者の方々の反応は良好であった。さらに、一部の技術者を対象として確認実験などを行った。これらを通して技術者の資質向上に貢献できたのではないかとと思われる。

謝辞

本研究に協力を頂いた関東職業能力開発大学校制御技術科平成14年度卒業生の小河原剛君、戸塚広進君、部品選定に有用な助言をいただいた(株)サンテックの亀山健一氏、電源トランスを提供頂いた(株)育良精機製作所に謝意を表します。

[参考文献]

- (1) 大塚敏他、電子回路、森北出版、1992年 p138 - 140
- (2) 白土義男、図解 リニア IC の基礎、東京電機大学、1985年、p70 - 71
- (3) 家田正之他、電気・電子材料ハンドブック、朝倉書店、1987年、p626 - 628
- (4) ANALOG DEVICES CMOS RS - 232C Drivers/ Receivers データシート、エー・ディ・エム社
- (5) 田中稲実、初めてのオペアンプ回路、オーム社、1995年、p77 - 86
- (6) 天野寛徳他、電機機械工学改訂版、オーム社、1987年、p57 - 72
- (7) 後閑哲也、電子工作のための PIC 活用ガイドブック、技術評論社、2002年
- (8) PCB PCM PCH and PCW PIC C Compiler 日本語リファレンス・マニュアル Version 3 Rev 1、データダイナミクス社、2001年
- (9) 柴田清孝、教材情報データシート、Visual Basic による計測制御技術、1999年
- (10) 後閑哲也、C 言語による PIC プログラミング入門、技術評論社、2003年