

# 超小形PC MICRO<sup>3</sup>の本安化技術

## —危険場所へのPC導入をめざして特殊仕様品の技術紹介—

井上 繁 俊<sup>\*1)</sup>

### 1. はじめに

制御システムを構築する場合、電気機器だけを考えても、手足となる検出スイッチやアクチュエータ、人とのコミュニケーションをはかる操作スイッチやディスプレイなどのコンポーネント、更に、プログラマブルコントローラ(PC)やコンピュータなどの信号処理装置が必要である。

防爆危険場所にこれらの機器を設置するには、防爆構造のものが必要である。リミットスイッチ、近接スイッチやコントロールボックスなど、個々の機器には防爆構造のものがあるが、信号処理装置などは防爆構造のものは、ほとんどない。検出・操作機器を危険場所に設置し、信号処理装置を非危険場所に設置するのが一般的である。大規模なシステムでは手足となる検出・計量機器以外を内圧防爆構造とすることがある。

小規模自動制御システムや最近発展のめざましい分散処理・ネットワーク化へ対応できる汎用防爆機器は、市場に見当たらない。今回、小規模自動制御システムに弊社の一般仕様の超小形PC MICRO<sup>3</sup>を防爆化したので紹介する。

このシステムは、K社との共同開発によるK社向け特殊品として開発されたものであり、限られた範囲であるが本安化技術を説明する。なお、超小形PC MICRO<sup>3</sup>の一般事項は、1994年版「IDEC REVIEW」に記載されているので本稿では詳細説明を省略する。

## 2. 可能性の模索

### 2.1 ターゲットシステム

今回、ターゲットとした小規模自動制御システムには、次のデバイスが必要である。

・リミットスイッチ	32個
・ソレノイド	6個
・ロードセル	1個

・キーボード	32点
・LCDディスプレイ	4個
・MICRO <sup>3</sup>	1台
・サブCPU、付属機器	1式

今回のターゲットシステムを図1に示す。

### 2.2 最適な防爆構造は

超小形PC MICRO<sup>3</sup>のみを防爆化するだけならば、耐圧防爆容器に収納し、必要に応じて透明窓を設けるだけでよい。この場合、検出・操作スイッチも耐圧防爆構造のものを使用することになる。この場合の致命的欠点は、耐圧防爆構造の検出スイッチは、市場にほとんどないことである。

全て耐圧防爆構造にすると、大きい・重い・強力な駆動源が必要となるなどデメリットが非常に大きい。

最近の省電力化技術の発展で微小電流で動作が可能なデバイスの選択が可能であり、全ての機器をまるごと本質安全防爆化することとした。検出スイッチは全て多様に存在する一般構造のリミットスイッチを使用することとした。

### 2.3 必要な電圧・電流

ロジック回路はDC5Vであるが、リミットスイッチ、ソレノイドやロードセルなどは、一般的にDC12~24Vを必要とする。しかし、点火限界との関係で最適な定格電圧としてDC9Vに設定し、機器の選定を行った。リミットスイッチは、4×8ダイオードマトリックス構成とし、主要部には高信頼性リードスイッチタイプを採用し、動作電流を2mAにおさえた。ソレノイドには、リニア直流モータとして脚光を浴びているボイスコイルモータの高感度タイプ定格電力120mWを採用した。但し、使用個数6個に対して本安上の最大電流とのかねあいではシーケンス上は、同時動作は2個までとした。ロードセルは、荷重が同じなら加える電圧に比例する出力が得られるので±2.5Vの低電圧駆動とした。次に、各回路の電流配分を示す。

\*1) 京都事業所システム生産部

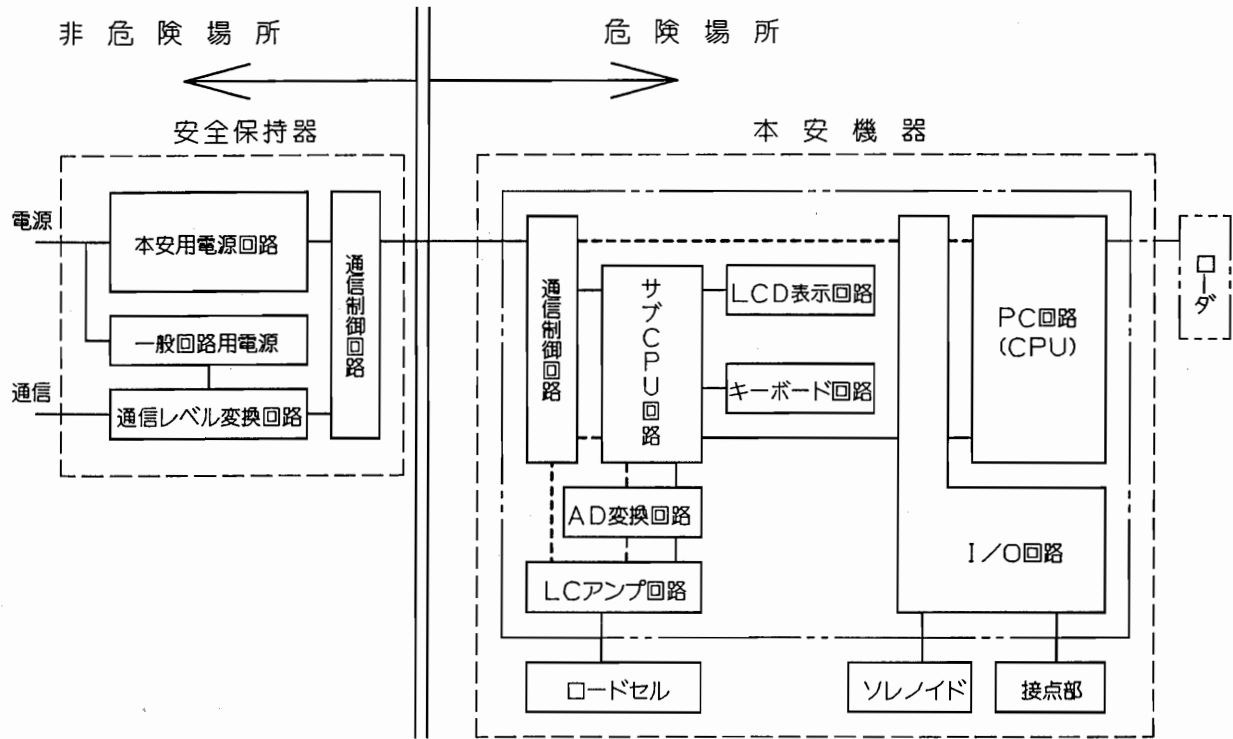


図1 ターゲットシステム

- MICRO<sup>3</sup> 50mA
- コントロール装置 90mA
- サブCPU
- LCDディスプレイ、キーボード
- A/D変換回路、ロードセルアンプ
- 通信制御回路(安全保持器分も含む)
- リミットスイッチ 2mA×8= 16mA
- ソレノイド 15mA×2= 30mA
- ロードセル 14mA
- 合計 200mA

よって、本安回路には、DC9V、200mAの動作電圧電流が必要である。しかし、この値は本質安全防爆としては一般的に極めて大きく、ツェナーバリア方式では開放電圧DC27V、短絡電流600mAの巨大なバリアとなり点火限界を超えてしまう。しかし、効率の良い安全保持回路の開発によりDC9V、200mAの動作電圧電流を実現した。

### 3. 本安化のキーポイント

#### 3.1 効率の良い安全保持回路

##### (1) 一般的回路

スイッチング電源は、故障を仮定したときに規定電圧より低くなることが保証されないので、本安用電源として使用できない。一般的に、本安用電源の基本回

路は、混触防止板付電源変圧器による降圧回路、整流・平滑回路、電流制限回路と電圧制限回路で構成する。この回路を図2に示す。

電流制限回路は、巻線形固定抵抗器で短絡電流を制限する。この方法は、簡単であるが、一次電圧許容範囲、二次巻線の電圧変動、平滑回路の特性などにより、本安上の最大短絡電流と動作上必要な最大使用電流との比が約2倍あり効率が良くない。

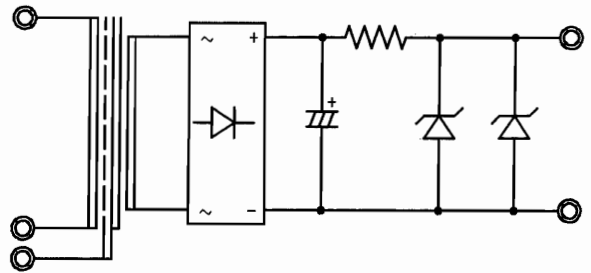


図2 一般的な本安用電源回路

##### (2) 開発した電流制限回路

今回、精密なレファレンスダイオード1.235Vを基準電圧とする2端子定電流回路を開発し、この比を1.3以下にできた。回路を図3に示す。

この回路は、印加電圧の影響、部品の許容差、温度変化(-20~+40°C)、過渡特性も含めて、短絡電流の

最大値が 260mA である。この値は、実測値ではなく全ての最悪条件により導き出される理論上の最大値である。なお、動作電流を最大 210mA 取り出すことができる。

半導体を含む回路による電流制限回路の困難さは、図 3 に示す回路部品が全て安全保持部品であることである。部品の極間にとどまらず回路の任意間で短絡することにより、電流が増加する恐れがある箇所の沿面距離は、60V 以下で 3mm (樹脂で固めるときは 1mm) 必要である。今回、制御用トランジスタと制御電流設定用抵抗器を除き、エポキシ樹脂でモールドし、モジュール化により小形化を図った。

本安規格では等価な回路を 2 回路接続する必要があるがコンプリメンタリ構成とし放熱器を 1 個とした。

- Q 1 : 制御用トランジスタ
- Q 2 : 帰還用トランジスタ
- Q 3 : Q 2 の  $V_{BE}$  の温度係数補償用トランジスタ
- RD : レファレンスダイオード
- R 1 : Q 1 のベース電流供給用抵抗器
- R 2 : 制御電流設定用抵抗器
- D : 逆電圧バイパス用ダイオード

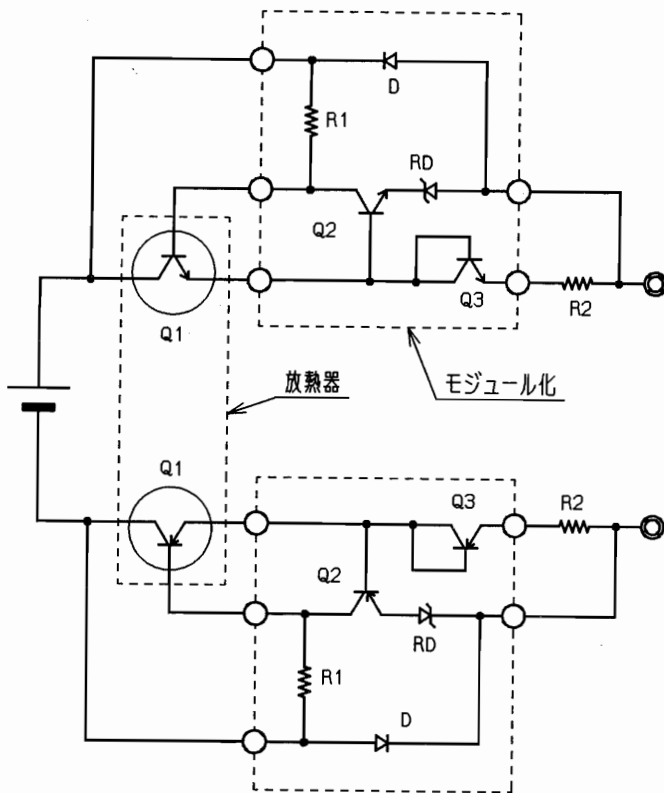


図 3 定電流回路

### (3) 電圧制限回路

使用定格 DC9V に対して本安上の最大電圧を DC10V とすると、短絡電流は DC260mA であるから、最大電力は 2.6W となる。規格に定められたディレーティン

グを考慮すると電圧制限回路は、3.9W の定格電力を必要とする。ツェナーダイオードを電圧制限に使用するには 5~10W の定格のものが必要であり、このようなツェナーダイオードは電圧の許容差が大きく、品種も少ない。

今回、品種の多い 1W のツェナーダイオードを利用し、ツェナー電流をトランジスタで増幅することとした。制限電圧は、ツェナー電圧  $V_Z$  とトランジスタの  $V_{BE}$  の和となる。温度係数は、お互いに打ち消し合う方向に作用するので正確な値を得られる。この回路を図 4 に示す。

- Q 1 : 制御用トランジスタ
- ZD : ツェナーダイオード
- R 1 : ZD のアイドリング電流設定用抵抗器

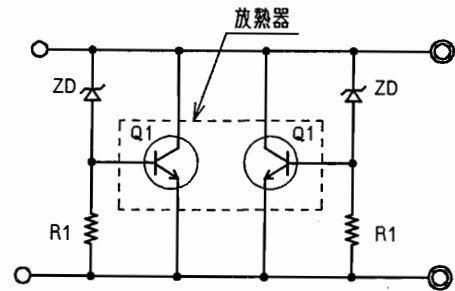


図 4 電圧制限回路

### 3.2 点火限界の推定

点火限界とは、爆発性ガスのグループ毎に、電圧、電流、インダクタンスおよびキャパシタンスのパラメータについて、実験的に求められるガスに点火しない限界を示す相互関係をいう。インダクタンスおよびキャパシタンスを含まない単純な抵抗性回路の IEC 規格の例を図 5 に示す。実験値であるので検定機関によって修正されることがある。

今回採用した定電流回路方式に於ける対象ガス II A に対する点火限界は不明である。点火限界特性を実験的に求めることは多大な労力を必要とし現実的ではない。

日本の検定機関が、水素 (II C) に対する線形回路 (抵抗器による電流制限) と非線形回路 (定電流回路による電流制限) との関係を調査したデータがある。このデータによると線形回路と非線形回路との点火限界は、例えば DC20V に於いて各々 450mA と 92mA である。

更に、IEC 規格に於ける II C と II A の点火限界エネルギー比を考慮すると、概略、対象ガス II A に対する非線形回路の点火限界が推定される。結果を図 6 に示す。

火花点火試験に於いては、回路の最大電流と最大電圧に規格に定められた安全率を掛けなければならない。次の 3 条件全てに於いて、実際の試験にて点火しないことが確認された。

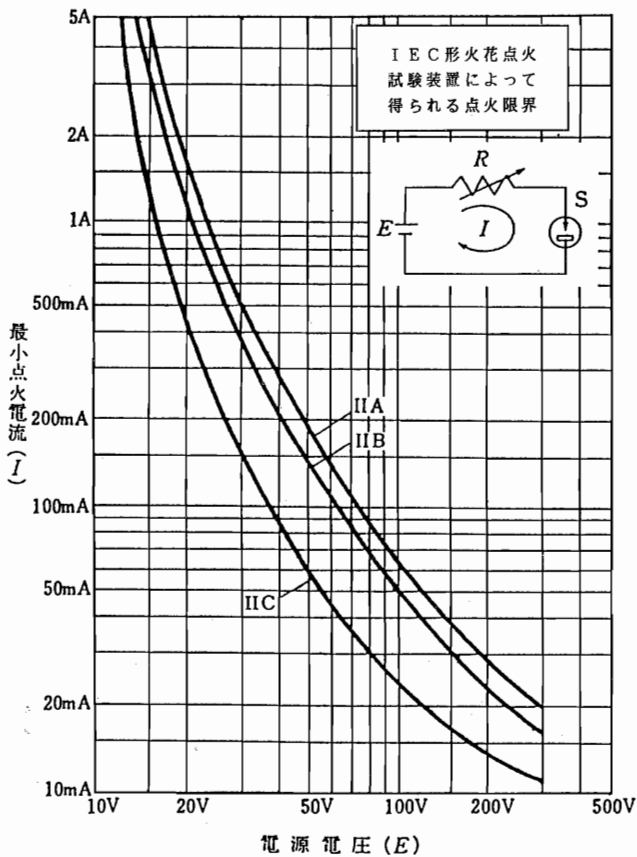


図5 抵抗回路の点火限界

Vmax : 本安回路の最大電圧(通常、開放電圧)  
 Icc : 本安回路の最大電流(通常、短絡電流)  
 Lext : 本安回路の最大インダクタンス  
 Cext : 本安回路の最大キャパシタンス

抵抗性試験

試験電圧 =  $V_{max} \times 1.1$   
 試験電流 =  $I_{cc} \times 1.5$   
 試験インダクタンス = 0  
 試験キャパシタンス = 0

誘導性試験

試験電圧 =  $V_{max} \times 1.0$   
 試験電流 =  $I_{cc} \times 1.5$   
 試験インダクタンス =  $L_{ext}$   
 試験キャパシタンス = 0

容量性試験

試験電圧 =  $V_{max} \times 1.5$   
 試験電流 =  $I_{cc} \times 1.0$   
 試験インダクタンス = 0  
 試験キャパシタンス =  $C_{ext}$

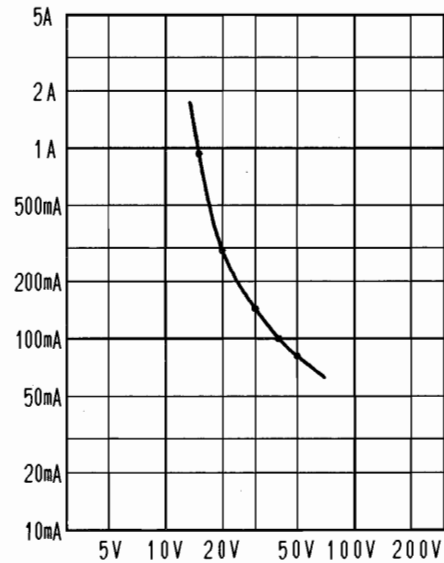


図6 II Aの非線形回路の推定点火限界

3.3 ブロック化

本安回路には、リミットスイッチ、ソレノイド、ロードセル、キーボード、LCDディスプレイ、MICRO<sup>3</sup>、コントロール装置などが、含まれている。これらの全ての回路を一つの本安回路とみなすことは、内部のキャパシタンスが大きく容量性回路の点火限界を超え、また、小さな半導体部品や抵抗器に最大電力 $P_{max}=2.6W$ が印加され本安上の温度上昇限度を超える。

DC5Vのロジック回路を幾つかのブロックに分け、本安上独立した回路とみなせるように分離した。即ち、安全保持器に本安上直結される「9V系回路」と本安上他の回路と独立した幾つかの「5V系回路」とした。更に、通信制御回路(9V)は、抵抗器による電流制限を設けた。

9V系回路と5V系回路とは、電流制限抵抗器とツェナーダイオードによる安全保持回路を設けた。対象回路は、5V系回路の電源入力、ロードセルアンプ回路および通信制御回路の信号ラインである。この安全保持回路を図7に示す。

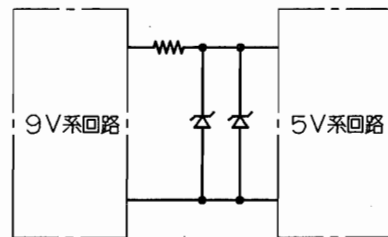


図7 5V系回路用安全保持回路

5V系回路のブロック間の信号ラインの本安上の分離を如何にするかが問題となった。当初、本安に適合する沿面距離の長いフォトカプラによる完全分離をめざしたが、信号ラインの本数が多いので消費電流が大きくなり過ぎて採用できなかった。次善の策として、抵抗器による分離を実施した。

これは、容量性回路の点火限界が、コンデンサに直列に数十 $\Omega$ の抵抗を挿入するとコンデンサの影響を無視しうることによる。例えば、II Aの公表されたデータはないが、IEC規格のII Cの容量性回路の点火限界によるとDC20Vで1.5 $\mu$ Fが限界であるが、40 $\Omega$ の抵抗器を直列に挿入すると10,000 $\mu$ Fでも点火しない。

対象回路は、MICRO<sup>3</sup>の回路、および、32点キーボードとLCDを含むコントロール装置の回路間の信号ラインである。この抵抗器による分離回路を図8に示す。

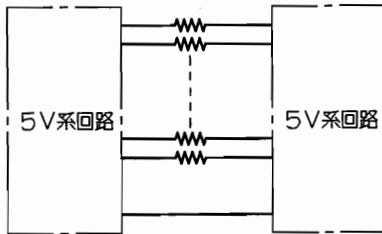


図8 5V系回路相互間の分離

ブロック化により、次の効果を実現できた。

第1の効果は、ブロック化された回路の各々で容量性回路の点火限界までのキャパシタンスを使用できることである。

第2の効果は、5V系回路の電流制限特性が線形回路となり、公表された容量性回路の点火限界データを活用できることである。

第3の効果は、5V系回路の消費電力が499mWとなり、9V系回路の1/5と大幅に緩和され、対策なしに本安上の温度上昇限度以下にできることである。

### 3.4 バッテリ

カレンダーICやメモリICなどのバックアップ用にバッテリーや大容量コンデンサが必要である。バッテリーなどの最大電圧は、規格や部品の製造者にて規定されている。しかし、最大短絡電流または最小内部抵抗は規定されていない。よって、本安回路に使用することはできない。

対策として、バッテリーなどと直列に抵抗器を接続し、全体を樹脂でモールドする。これにより、等価的に内部抵抗の高いバッテリーなどとすることができ、短絡電流を制限できる。但し、バッテリーなどが内部で短絡しても、

破裂、有害なガスの発生などがなく、モールド表面の温度上昇が許容限度以下であることなどが必要である。この構造を図9に示す。

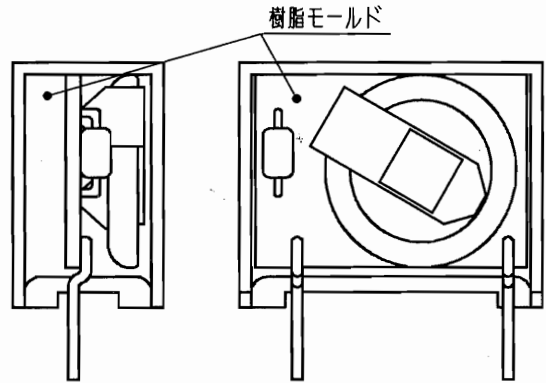


図9 バッテリモジュールの構造

### 3.5 ソレノイド

ソレノイドのインダクタンスは、本安上極めて大きく蓄えられた磁気エネルギーを放出する際の火花によりガスに点火してしまうので、対策なしには使用できない。

対策の方法は、種々あるが直流使用では逆起電力吸収用ダイオードの付加が最も効果的である。点火特性は、インダクタンスが1mH以下では抵抗性回路が優勢で、それ以上では誘導性回路が優勢となる。このダイオードの効果は約100mH前後までであり、抵抗性回路の点火限界と同等であり、それ以上では効果が徐々に薄れていく。今回、使用したソレノイドのインダクタンスは、約200mHであった。

### 3.6 直流電源重畳トーンバースト方式

安全保持器と本安機器間との配線は、非危険場所と危険場所との配線となるので、通常、数十m～数百mに達する。この配線を、例えば、電源に2本、通信にRS485の2線式を採用しても、合計4芯のケーブルが必要になる。今回、採用した方式は、直流電源線に変調を掛けた信号を双方向に載せることができ、2線式配線が可能である。この方式の概要を図10に示す。

## 4. 火花点火試験方法の開発

抵抗性回路や容量性回路の火花点火試験回路を構成することは、容易にできる。また、誘導性回路でも内部抵抗の小さいコイルも誘導性の火花点火試験回路を構成することは、比較的容易にできる。

しかし、ソレノイドは電流を流すというよりも、電圧を印加するという概念の方が強い。前述した様に、本安

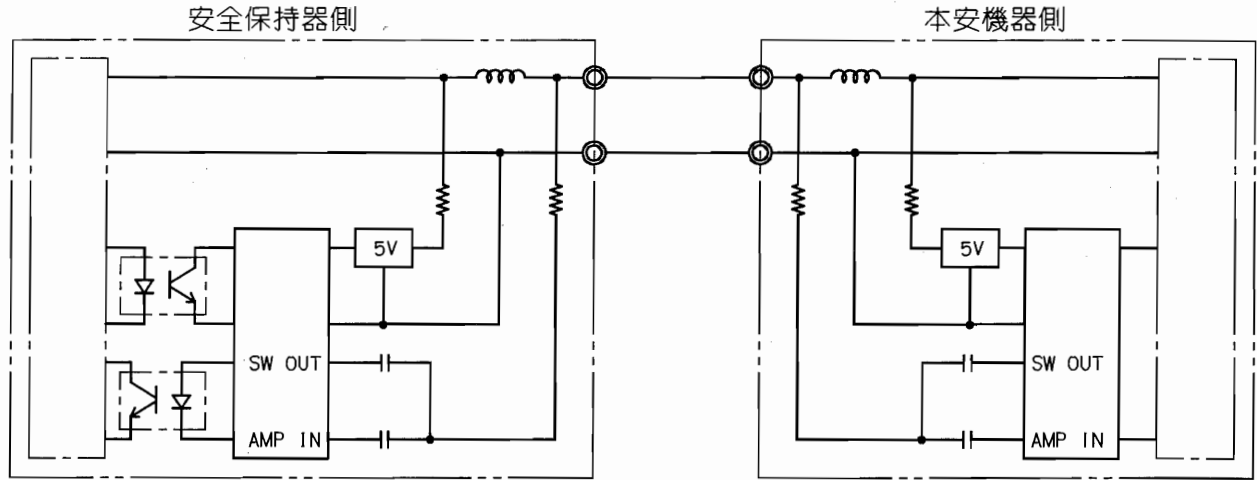


図10 通信制御回路の構成

上の最大電圧と最大電流に安全率を掛けた電流で試験しなければならない。ソレノイドは、次に示す評価要因によりその実現が困難である。

- インダクタンスの許容差の最大値
- 抵抗値の許容差の最小値
- 温度係数の影響(-20~+40℃)
- 最大電流×1.5の電流

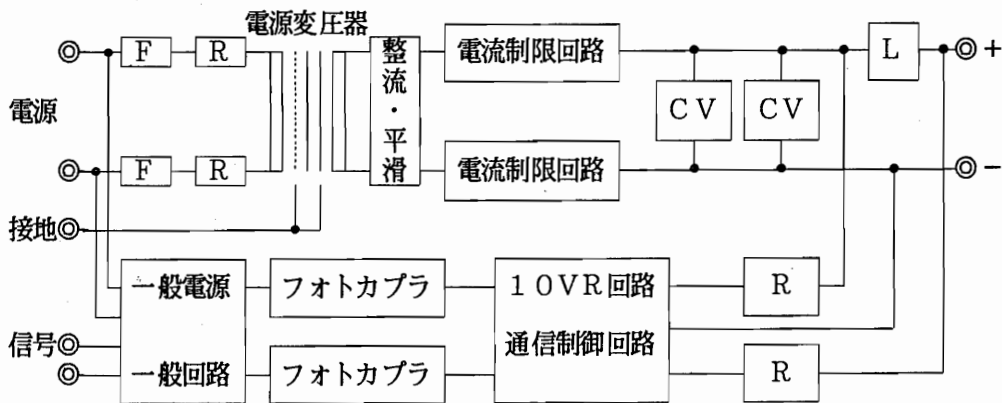
これらを総合すると、試験電流を流すためには、供試品が製品の定格値で製作されたものならば、定格電圧の2.5~3倍の電圧を印加しなければならない。このような高い電圧を印加することは、供試品の破壊や磁気飽和の恐れがある。従来は供試品が1個であり特別仕様の供試品を製作していた。今回は供試品が6個必要であり現

実的ではないので、次の方法を開発した。

対象ガスがII Aなので試験ガスはプロパンであるが、試験ガスには、もっと点火しやすいII B用のエチレンやII C用の水素がある。幸い、誘導性回路で対象とするインダクタンス領域のII AとII Cとの点火限界電流比が、目的の値に近いので、水素で試験すれば供試品に定格電圧に近い電圧を印加すればよいことになる。この方法は、検定機関に実績がないが、理論的正当性を説明し承認されたものである。

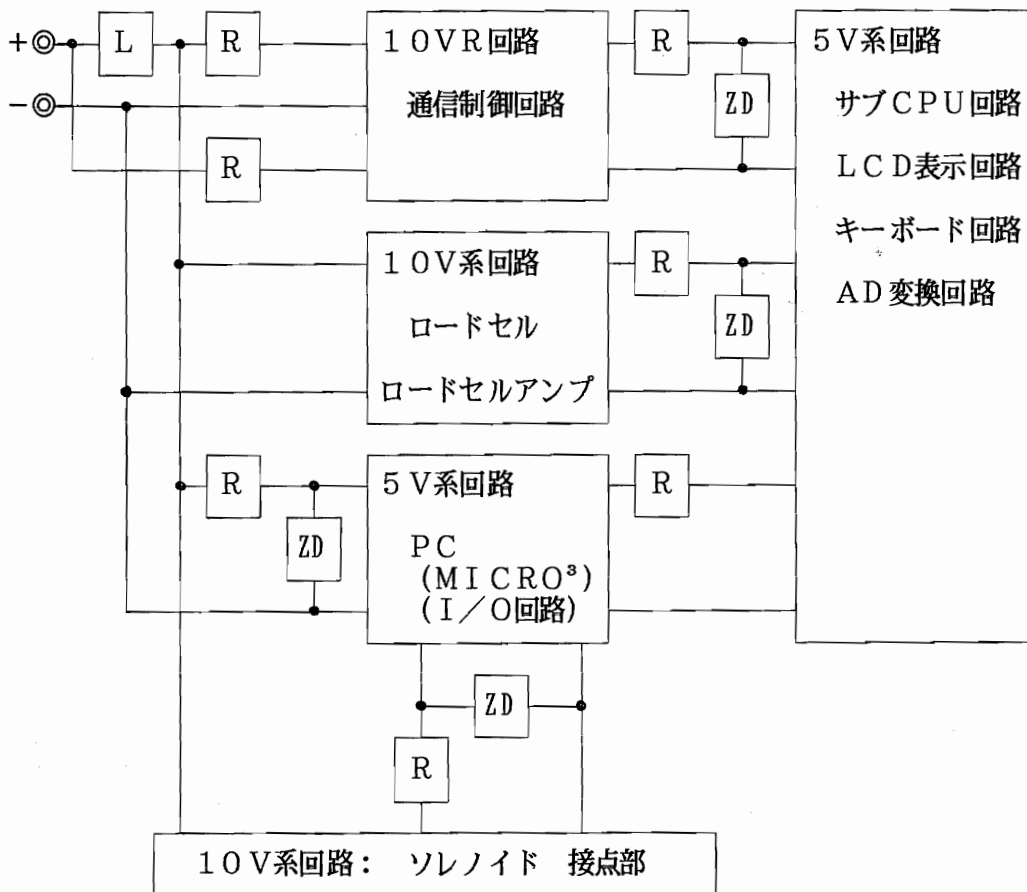
### 5. 本安回路の系統

本安回路の系統を図11と図12に示す。



F: 過電流保護ヒューズ R: 電流制限抵抗器 CV: 電圧制限回路 L: 通信制御用コイル

図11 安全保持器の本安回路系統図



CV: 電圧制限回路  
 R: 電流制限抵抗器  
 ZD: 電圧制限ツェナーダイオード  
 F: 電源変圧器保護ヒューズ  
 L: 通信制御用コイル

図12 本安機器の本安回路系統図

## 6. 特徴と構成

### 6.1 安全保持器の仕様

- 防爆性能 Ex[ib] II AT3
- 非本安回路仕様
  - 電源 AC90~121V 50/60Hz  
約12VA
  - 通信回路 安全保持定格AC/DC250V  
RS-232C
- 接地 第三種接地工事
- 本安回路仕様 2線式
  - 電源 DC9V、200mA
  - 信号 直流電源重畳
- 本安回路のパラメータ
  - 最大電圧 DC10V

最大電流 260mA  
 最大電力 2.6W  
 外部配線許容インダクタンス 100 $\mu$ H  
 外部配線許容キャパシタンス 0.02 $\mu$ F

### 6.2 PCとI/Oの仕様

- (1) ハードに依存する仕様  
 入出力24点タイプMICRO<sup>3</sup>をベースに本安化を図った。機能上の事項を中心に変更したポイントを次に示す。

- 電源電圧 DC9V
- LEDランプ 削除  
消費電流を減らすため  
LCDディスプレイに表示

- アナログタイマ 削除  
可変抵抗器の本安化困難のため
- 入出力点数 出力 6点  
入力32点  
入力は、出力4点と入力8点のダイオードマトリックス構成  
よって、入力の高速応答不可
- プログラムローダ 防爆化していないので、非危険  
場所で打ち込み／転送要、また  
電源は別電源より供給要
- 機能切換スイッチ 削除  
リンクシステム未使用
- サブCPUとの接続 スピードの関係でデータリン  
クポート未使用。PC内部I/O  
直結

- 注1. 可変抵抗器は、本安上の温度上昇対策として各端子に直列抵抗を挿入するので使用制限が生ずる。
2. リンクシステムは、本安回路の電流値により、電源の渡り配線が困難であり、利用価値が少ない。

(2) ソフトに依存する仕様

基本ソフトは、一切変更していないので、ハードに依存しない機能は使用できる。ハードに依存する機能は、ハード変更による制限を受けるか、ハード削除により使用できないものもある。その概要を次に示す。

- 使用できる機能の例  
基本命令22種

LOD LODN OUT OUTN SET RST  
AND ANDN OR ORN BPS BRD BPP  
TIM CNT SFR SFRN CC(=) CC(≥)  
SOTU SOTD JMP JEND END など

演算基本命令17種

NOP MOV MOVN IMOV IMOVN CMP=  
CMP<> CMP<> CMP< CMP> CMP  
<= CPM>= ADD SUB MUL DIV  
ANDW ORW XORW など

- 使用できない機能の例  
リンクシステム関係命令  
アナログタイマ関係命令  
パルス出力関係命令  
高速入力関係命令

7. まとめ

小規模自動制御システムといているが、マイクロコントローラMICRO<sup>3</sup>とサブCPU、更に、本安の宿命とはいえ、周辺機器を含めて、まるごと本安化にチャレンジした。検定機関には、図面が約100枚、安全保持方法の説明書が約80枚、更に、膨大な試験データを提出した。通常の申請では、全書類が30枚程度であり、大規模となった。

最後に、本稿を執筆したが、私は本安化技術を担当し弊社システム生産部設計技術担当石田氏(現、ISSプロ)と上田氏、および、K社技術陣が設計を担当した。

1995年10月3日、短期間で検定合格できた。紙上を借りて、社内外の関係各位に多大な協力を頂き深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 社団法人 産業安全技術協会 工場電気設備防爆指針1979(ガス蒸気防爆)
- 2) 社団法人 産業安全技術協会 新・工場電気設備防爆指針1985(ガス蒸気防爆)
- 3) 社団法人 産業安全技術協会 国際規格(IEC79関係)に整合した技術的基準
- 4) 和泉電気 スーパーマイクロコントローラMICRO<sup>3</sup>インストラクションマニュアルM286-0
- 5) 和泉電気 IDEC REVIEW 1994 P51~61

