

電子制御回路の FMEA シミュレータ開発

FMEA SIMULATOR for Electronic Control Units

川 合 誠* 有 吉 敏 明*
Makoto Kawai Toshiaki Ariyoshi

要 旨

近年、車載用電子制御ユニットは増加の一途をたどる一方、高信頼設計を求める声も一層高まってきた。こうした動向に対して、電子制御回路の FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) を高精度かつ迅速に実施する事が必要となってきた。

本論文は、この様なニーズに対応すべく開発した、電子制御回路の FMEA 動作解析を高い精度で自動シミュレーションを行うシステムについて紹介するものである。

ABSTRACT

As car-installed electronic control circuits are increasingly adopted, the needs for high reliability design have become highlighted. To meet such demands, a precise and quick process to perform failure mode and effects analysis (FMEA) has become essential.

This paper presents a system we have developed for automatically simulating FMEA for electronic control circuits with high precision.

1. 開発の背景

電子制御回路 (ECU) の FMEA を実施する為には全ての回路構成部品に対して、考えられる故障モードを設定し、それぞれのモードで回路動作を解析する必要がある。従来はこの作業を設計者が手計算で行っていた為、ECU 設計開発のフローの中で多くの工数を要する FMEA を何度も実施することは難しく、最終的に回路が決定された後で、FMEA を行い、発生した問題に対して、対策を実施してきた。

近年、車載用電子制御回路の適用増大と、システムの高度化に伴う電子制御回路の複雑化に対して、信頼性の高い設計を迅速に行う為に、回路設計の初期段階から FMEA 結果を設計者に提供することが必要となった。

2. 開発のねらい

電子制御回路の FMEA を実施するには、莫大な故障モードについて逐次シミュレーションを行う必要がある。

従来の回路シミュレータは基本的に 1 つの回路に会話形式で入力条件を与え、1 つのシミュレーション結果を出力するだけであった。

これに対して、新たに開発した FMEA シミュレータ・システムは対象回路に対して、構成部品に想定される全ての故障モードを 1 つずつ自動注入し、連続して、シミュレーションができることを特徴とする。

開発のねらいは以下に述べる通りである。

- (1) 各回路部品に故障モードを設定して、モード毎に自動的にシミュレーションが可能なおこと。

* 朝霞北研究所

- (2) 故障モード一覧表 (FMEA シート) から自動的に故障率計算表が作成可能なこと。
- (3) データの保守、改訂が容易にできること。
- (4) 開発効率の向上が可能なこと。
- (5) 操作が容易であること。

3. システム構成

電子制御回路の FMEA シミュレータのベースとなるシステム選定の為にベンチマーク・テストを実施し、デジタル・アナログ混成回路シミュレーションが可能なシステムを選んだ。

FMEA シミュレータは上記ベース・システムに FMEA 自動解析用プログラムを組み込む構成となっている。

FMEA 自動解析用プログラムとして新たに開

発したプログラムは以下の通りである。

(1) FMEA SHEET

電子制御回路の回路構成部品に故障モードを自動的に設定し、モード設定一覧表 (FMEA SHEET) を作成する。

(2) FMEA RUN

FMEA SHEET で設定した各モード毎に、故障時の回路の出力波形のシミュレーションを自動的に連続で行う。

(3) FMEA CALC

部品故障率を積算して、故障ランク毎の回路故障率計算ファイルを作成する。

(4) FMEA PRINT

FMEA SHEET 及び回路故障率計算ファイルをプリントアウトする。

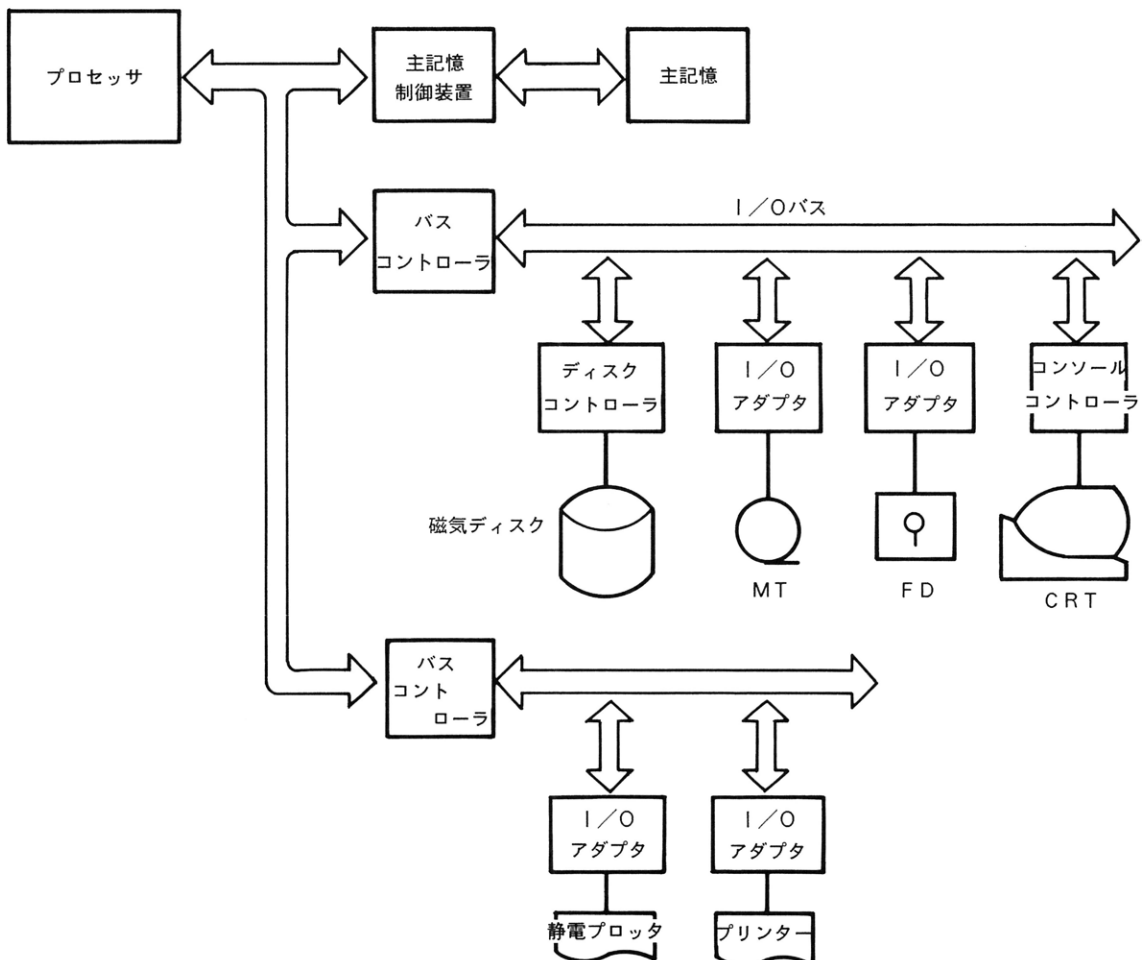


図1 ハードウェア構成

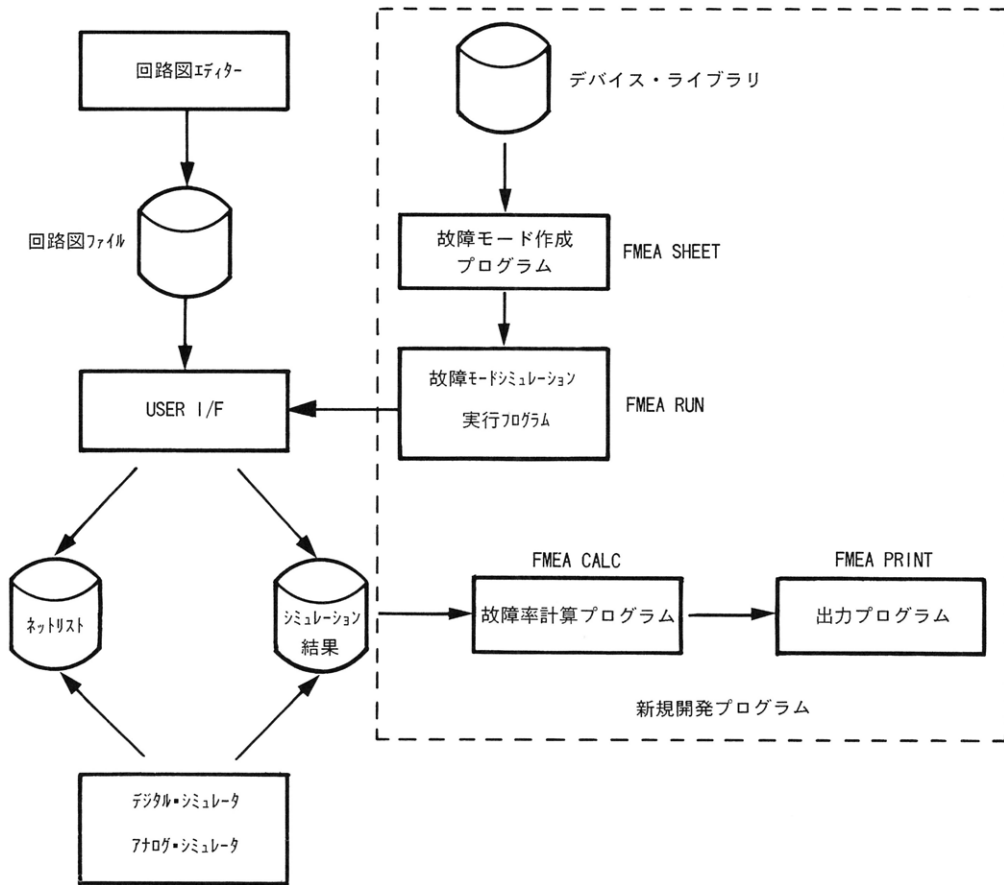


図2 ソフトウェア構成

電子制御回路の FMEA シミュレータのハードウェア・システム構成を図1に、ソフトウェア構成を図2に示す。

図2において、破線で固まれた箇所が新規に開発したプログラムである。

4. システム機能

FMEA シミュレータの主な機能として以下に概要と、実際の電子制御回路に適用した例を示す。

(1) 回路図入力機能

対象となる電子制御回路を CRT から入力することにより、回路図データファイルを作成する。図3に実施した回路図入力例を示す。

この回路は入力 (IN) に印加される電圧の ON・OFF によって、ソレノイドを駆動するための電流 (OUT) を制御するものである。

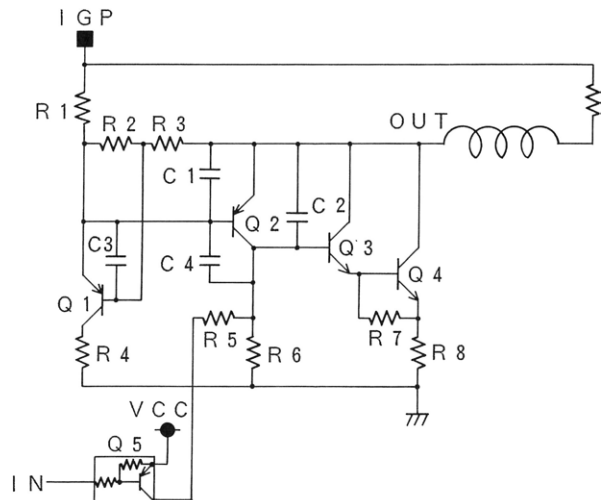


図3 電子制御回路図入力例

(2) FMEA データ・シート・ファイル作成機能

回路に含まれる全ての部品の故障モードを抽出し、FMEA データシート・ファイルを作成する。作成されたファイルは、自動故障モード・シミュレーション (FMEA RUN) と、故障率計算 (FMEA CALC) で使用する。

図4に、実施例でのFMEA データ・シート出力例を示す。実施例では故障モードとしては抵抗、コンデンサにはピン間ショート、オープンをトランジスタにはコレクタ、ベース、エミッタ各ピン・オープン及び各ピン間ショートを想定した。

(3) 入出力条件設定機能

故障モード・シミュレーションを実行する前に、入力波形、シミュレーション・モードと出力波形の各条件をテキスト・エディタ (編集機能) を使って、マニュアルで設定する。

i) 入力パターンの設定項目

- ・ 入力ノード指定
- ・ 入力波高値指定
- ・ 時間軸レンジ指定
- ・ シミュレーション時間指定

ii) シミュレーション・モードの設定項目

- ・ 定常解析
- ・ 過渡解析
- ・ デジタル・アナログ混在解析

iii) 出力波形の設定項目

- ・ 出力ノード指定
- ・ 電圧出力レンジ指定
- ・ 電流出力レンジ指定

(4) 自動故障モード・シミュレーション機能

FMEA RUN は対象回路に1つずつ故障を想定し、逐次、故障を含んだ回路のシミュレーションを行って、結果をプロッターに出力する機能を有する。

バッチで自動シミュレーションを実施する時、回路が発振した場合など1モードのシミュレーション時間を多大に要し、所定時間内にシミュレーションを終了できないことが起きる。その為、FMEA RUN では各シミュレーションの実行時間を監視し、設定時間を越えた場合、そのシミュレーションを自動的に中断し、メッセージを出力してから、次の故障モード・シミュレーション処理に移行する機能を有している。

部品番号	部品名	故障モード	予想現象	故障ランク				診断表示		重要度	備考
				1	2	3	4	F/S	WRN		
C1		Pin short									
		Pin open									
C2		Pin short									
		Pin open									
C3		Pin short									
		Pin open									
C4		Pin short									
		Pin open									
Q1		Cpin Epin short									
		Bpin Epin short									
		Cpin Bpin short									
		Cpin open									
		Bpin open									
Q2		Epin open									
		Cpin Epin short									

図4 FMEA データ・シート出力例

図5 に自動故障モード・シミュレーション結果の実施例を示す。ここでは、ノイズ吸収トランジスタの故障により、ソレノイドから発生するサージが出力段トランジスタのコレクタ出力に現われている。

(5) 故障ランク入力機能

CRT 画面上に FMEA データ・シートを表示し、設計者がテキスト・エディタを用いて、故障ランクを入力することにより、FMEA データ・シート・ファイルに故障ランク・データを追加する。

故障ランクを入力した実施例を図6 に示す。図中、故障ランク・1 から 4 は故障の及ぼす車輛への影響の程度を示している。

(6) 故障率算出機能

FMEA CALC は FMEA データ・シート・ファイルと、部品定義ファイルから、自動的に故障率を計算して、故障率計算ファイルを作成する機能を有する。故障率計算ファイルには部品毎のランク別故障数の集計と、

ランク別故障率の集計が記述されている。

ランク別故障率は以下の計算式により算出する。

ランク別故障率

$$= \frac{\text{ランク故障モード数}}{\text{部品の故障モード総数}} \times (\text{部品の故障率})$$

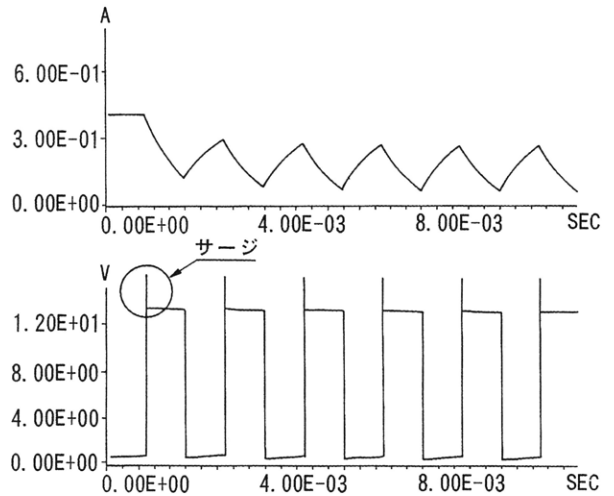


図5 故障モード・シミュレーション結果例

部品番号	部品名	故障モード	予想現象	故障ランク				診断表示		重要度	備考
				1	2	3	4	F/S	WRN		
C1		Pin short					*				
		Pin open					*				
C2		Pin short			*						
		Pin open					*				
C3		Pin short					*				
		Pin open					*				
C4		Pin short			*						
		Pin open					*				
Q1		Cpin Epin short					*				
		Bpin Epin short					*				
		Cpin Bpin short					*				
		Cpin open					*				
		Bpin open					*				
		Epin open					*				
Q2		Cpin Epin short			*						

図6 故障ランク入力例

種 別	部品名	部 品 点 数	重要ランク数			故障率	ランク別故障率			TOTAL 故障率
			1	2	3		1	2	3	
	A	7	0	0	0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	B	1	0	1	0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
	C	4	0	2	0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1
	D	2	0	2	0	3.7	0.0	0.6	0.0	0.6
	E	1	0	2	0	1.4	0.0	0.5	0.0	0.5
	F	1	0	1	0	1.6	0.0	0.3	0.0	0.3
	G	1	0	2	0	4.8	0.0	1.6	0.0	1.6
	小 計						0.0	3.2	0.0	3.2
	合 計						0.0	3.2	0.0	3.2

図 7 故障率計算表出力例

(7) 故障率計算表出力機能

FMEA PRINT は FMEA データ・シート・ファイルと、FMEA 故障率計算表ファイルの内容を編集して、故障率計算表をプリント・アウトする機能を有する。

図 7 に、実施した回路の故障率計算結果を提示する。故障率計算表には、図に示す様に、部品名・部品点数、故障時の実車への影響を重要性からランク分けし、それぞれのランクの個数を表示する重要ランク数、部品故障率、重要ランク別の部品故障率及びトータル故障率が表示される。ここでは、実車への影響がほとんどない故障ランク 4 は省いている。

5. 結 論

以上述べた様に電子制御回路の FMEA シミュレーションを自動的に行うシステムを開発した。

これによって、当初の開発の狙いである下記の項目が可能となった。

- (1) 新規製作したプログラム (FMEA SHEET, FMEA RUN) によって、回路各部品に故障モードを設定して、モード毎に自動シミュレーションを行うことができる。
- (2) FMEA CALC, FMEA PRINT のプログラムにより、故障率一覧表から、故障率計算表が作成できる。

(3) FMEA シミュレータで使用する部品故障率等のデータはエディターで容易にデータの保守、改訂ができる。

(4) 昼夜自動運転により、開発効率向上が計れる。

(5) 一般の回路シミュレータと同等の操作で、電子制御回路の FMEA が実行できる。

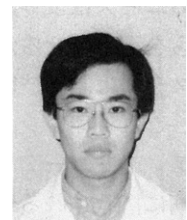
このシステムによって、ECU の FMEA を設計のごく初期の段階から、正確に実施することが可能となった。その結果、設計者に多大の負担をかすことなく、ECU ハードウェアの信頼性を一層向上させることが可能となった。

今後は、部品ライブラリの充実と、ハードウェア高速化により、広汎な回路に対して更に迅速な適用ができるシステムに熟成してゆく考えである。

■ 著 者 ■



川 合 誠



有 吉 敏 明