

電子交換機裏面布線雑音チェックシステム

Check System for Wiring Route Design

徳 永 迪 夫* 川 野 家 稔*
 Michio Tokunaga Ietoshi Kawano
 今 井 啓 二* 沼 田 武 志*
 Keiji Imai Takeshi Numata

要 旨

DEX-2 電子交換機における集積化論理回路の実装設計のうち、論理情報信号線相互間の誘導雑音電圧が許容値内にあるか否かを、裏面布線のルートが決定した段階でチェックすることにより、布線設計の最適化を図ると同時に、裏面布線に関する各種統計量を採集する目的で作成されたプログラム・システム WIRCHES (Wiring Route Check System) の内容とその運用結果について述べる。

1. 緒 言

デジタル・システムを構成する基本素子として、集積回路⁽¹⁾⁽²⁾が近年その

- (1) 超 小 形 (2) 超 高 速
 (3) 高 信 頼 度 (4) 低 価 格

といったすぐれた特性によって脚光を浴びている。

日本電信電話公社電気通信研究所を中心に、日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社および日立製作所との共同開発による DEX-2 電子交換機においても論理基本素子として集積回路が全面的に採用されることになった。しかしながら、電子交換機への集積回路の導入は最初の試みであるため、種々の技術的問題が生じた。それらは、

- (1) パッケージへの論理ブロック割付けの問題
 (2) ほかの回路とのインターフェースの問題
 (3) 実装法に関する諸問題

である。

(3)の実装法に関しては、電気的な条件からみると

- (a) 電源供給方法 (b) 論理信号布線方法

の2種類があるが、前者に関しては種々の実験・検討の結果、プリント基板に3層基板の導入を決定し、架内も両面プリント板による特殊な電源供給方法を導入した。本論文では論理素子の高速動作によりクロズ・アップされてくる(b)の問題を採り上げ、布線相互に生ずる誘導雑音の性質とこれを適当な許容値に押えるためのチェック基準、このチェック作業を機械化したプログラムの内容、およびその運用結果について述べるものである。

本論文で述べる論理布線のチェック方法は、単に布線の論理的な性質と布線構造とから制限布線長を決定するのではなく、布線相互の幾何学的な関係から相互誘導雑音を予測しようとするものであるため、大規模な布線群に対しては適用が困難になるけれども、中ないし小規模の布線群に対してはその物理的な挙動を比較的忠実に掌握することができると思われる。

2. 布線雑音チェック規準

2.1 DEX-2 電子交換機の集積化論理回路とその実装方法⁽³⁾

DEX-2 電子交換機に用いられる基本論理素子は、市販の DTL または TTL 回路と同様の機能を有するものである。回路構成上および特性上次のような特長を備えている。

- (1) 入力ゲートはマルチエミッタトランジスタをダイオード接続したもので、DTL 回路である。

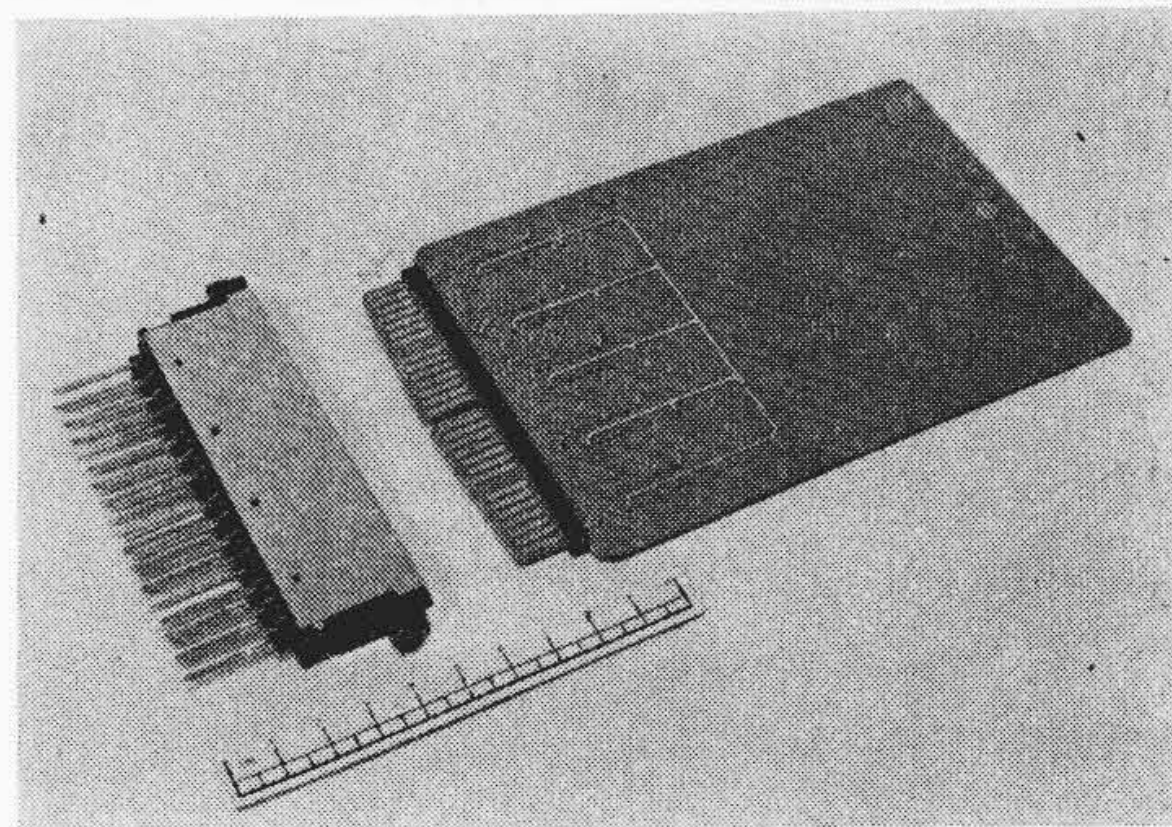


図1 コネクタおよびプリント基板

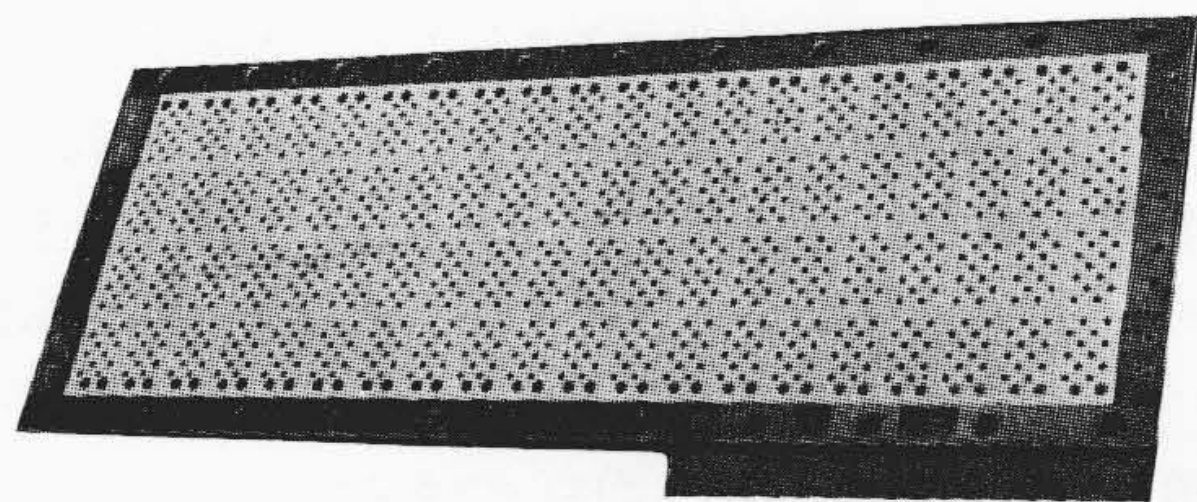


図2 SL 板 (電源給電用プリント板)

- (2) 出力の立上り時間を改善するため、ターンオフバッファ回路を備えている。
 (3) 出力トランジスタは制御飽和形である。

さて、上記の基本回路は、給電系のインピーダンスを低くする目的と、相互誘導雑音を減少させる目的とから、図1に示すような3層基板に積載される。

基板およびコネクタは、保持金具および取付板に取り付けられる。コネクタ端子への地気および電源は、SL板と称する両面のプリント板によって供給される。これを図2に示す。

SL板は単に地気と電源のみとを供給するのみで、論理情報信号線は通常の線材でコネクタ端子間を接続する。これらの布線は、SL板(電気的に地気面と考えられる)からの高さにより、次の3種類に分類される。

- (1) A層布線.....SL板に最も近い層で、雑音を受けては困る重要布線をこの層に割り当てる。
 (2) B層布線.....中間層としてコネクタ端子の先端を中心に形成される。

以上のA層、B層はランダムな直線布線を原則とする。

- (3) C層布線.....B層よりさらに距離を保ち、布線に強制的に交さ角を与える布線方法をとる。

* 日立製作所戸塚工場

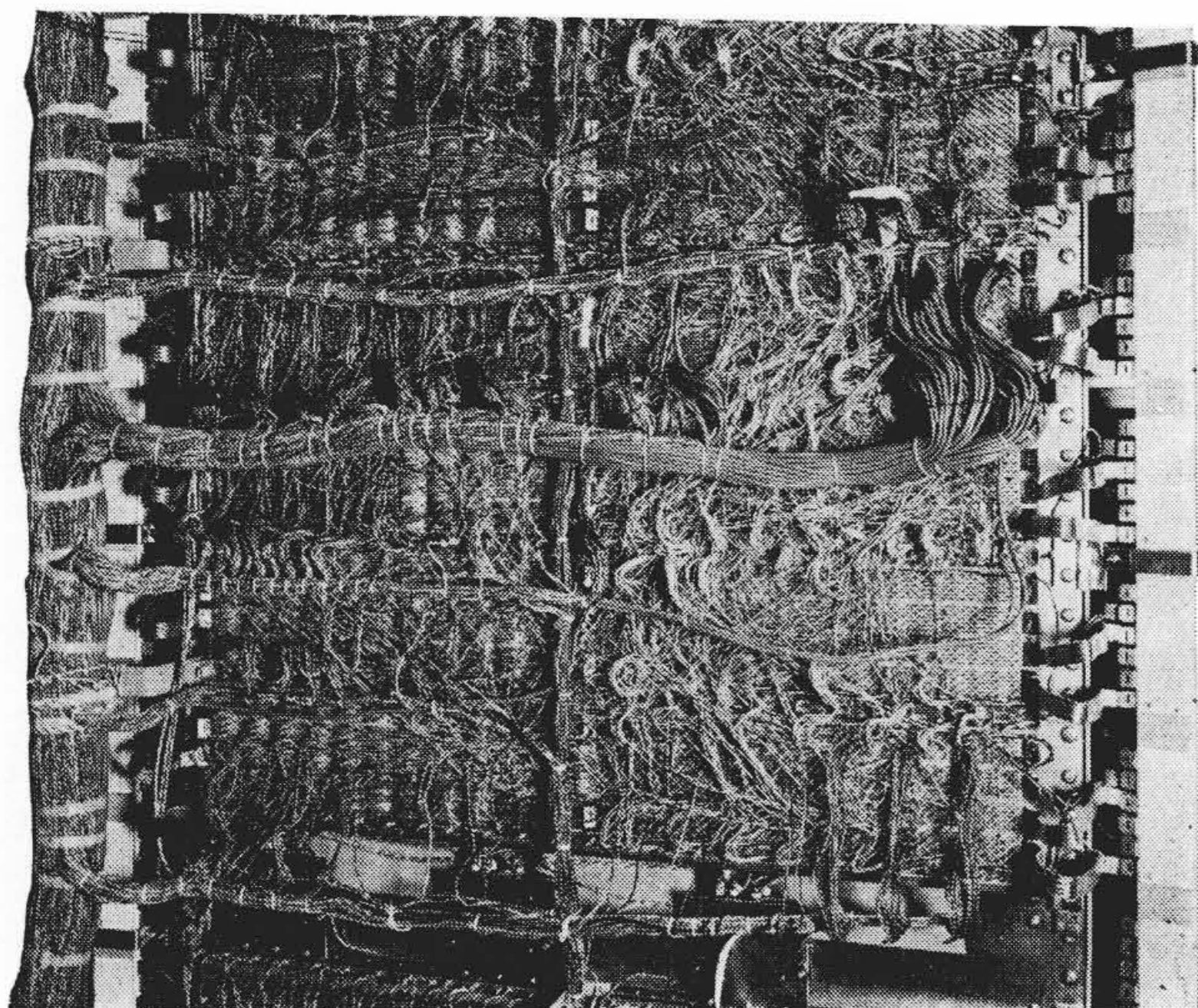


図3 裏面布線の実装状況 (DEX-2-TSC装置)

以上述べたSL板および布線の実装状態を示したものが図3である。

2.2 布線チェック規準⁽⁴⁾

本節では、前節で示した実装条件を考慮して作成した布線のチェック規準を示すことにする。本規準のうちC層に関するものを除いて、すべてWIRCHES中にプログラム化されている。

2.2.1 基本的な考え方および仮定

ある裏面布線群を考えたとき、その中の1本の被誘導線に誘導される雑音は、その周囲に存在する誘導線からの誘導雑音を計算し、それらを総和すれば算出できる。しかしながら、布線の増大とともに、この手順をそのまま遂行することは非能率的である。そこで多量の布線群を統計的な集団とみなして取り扱うことにすれば、チェックの手順は簡単になる。このとき、あらかじめ知ることのできる危険な布線については統計的な取り扱いから除いて、誘導雑音を別途加算すれば良いであろう。

以上のような考えのもとに、対象とする布線群は、

- (1) 統計的処理が可能な布線量を有し、
- (2) 誘導雑音はランダム雑音と非ランダム雑音の和で表わされる。

という二大前提があるものとする。したがって、被誘導線に誘導される雑音電圧は、

$$V_i = \int_0^N V(L_i, l(n), H_i, h(n), P_i, p(n), \theta(n), t) dn + \lambda \sigma_i + \sum_k V_{ik} \quad (1)$$

で表わされる。ここに

- L_i : 被誘導線の線長
- H_i : 被誘導線のアース面からの高さ
- P_i : 被誘導線の線種
- $l(n)$: 誘導線の線長
- $h(n)$: 誘導線のアース面からの高さ
- $p(n)$: 誘導線の線種
- $\theta(n)$: 誘導線と被誘導線との交さ角
- t : 時刻
- N : 考慮すべきランダム誘導線数
- σ_i : ランダム誘導雑音の標準偏差
- V_{ik} : 近接線、特殊線による誘導雑音

であり、第一項がランダム雑音の平均値、第二項がランダム雑音の

表1 近接線および特殊線のパラメータ

	A層 ($k=23$)	B層 ($k=12$)	単位
Ai	5.58×10^{-3}	9.93×10^{-3}	(V)
Bi	0.517×10^{-4}	1.44×10^{-4}	(V ²)

ただし、 $V_k=105$ (mV) として求めた値である。

表2 近接線および特殊線のパラメータ

	逆結合	順結合	d max
A層 $k=5$ mm	1.05 mV・mm	0.42 mV・mm	15 mm
B層 $k=15$ mm	1.26 mV・mm	0.84 mV・mm	45 mm

標準偏差項、第三項が近接線および特殊線による項である。

さて、基本式(1)を評価するため、布線群に対して次の仮定を行なう。

- (1) すべての布線は直線布線である。
- (2) 同一層内の布線はアース面からの距離が一定である。
- (3) 線種は単線と2個より線の2種類とする。
- (4) 誘導線と被誘導線との交さ角は、確率密度関数

$$f(\theta) = \sin \theta \quad (2)$$

を有するランダム交さであるとする。また交さ角のちがいによる誘導雑音電圧の比は

$$g(\theta) = \frac{1}{k\theta + 1} \quad (3)$$

で表わされるとする。ここに k は実験的に求めた値であって、A層の場合23、B層の場合12である。

- (5) 考慮すべきランダム誘導線は、被誘導線に交さするものの本数とする。
- (6) 各層相互間での誘導雑音は無視する。
- (7) 信号線全体の誘導雑音は、各布線区間(これを枝と称し、前者を木と称する)の誘導雑音の和で表わされる。
- (8) 同時動作率 η の最悪値は1とする。
- (9) 1本のランダム誘導線による誘導雑音電圧の平均を平均誘導雑音電圧 V_k と称し、実測値より $V_k=105$ mVとする。

2.2.2 雑音算出式およびチェック規準

2.2.2で行なった仮定に基づき、基本式(1)を簡単化する。まずランダム雑音であるが被誘導線が単線の場合には、

$$V_i = \bar{V}_i + \lambda \sigma_{Vi} = A_i \eta (N_{ss} + PN_{ps}) + \lambda \sqrt{\eta (B_i - A_i^2) (N_{ss} + P^2 N_{ps})} \quad (4)$$

となる。ここに N_{ss} は交さする単線数、 N_{ps} は同じくより線数であり、 P はより線の場合と単線の場合の誘導雑音比である。さらに、 A_i および B_i は密度関数 $f(\theta)$ に関するモーメントであって、次式で与えられる。

$$A_i = \int_0^{\frac{\pi}{2}} V_k \cdot g(\theta) \cdot f(\theta) d\theta \quad (5)$$

$$B_i = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (V_k \cdot g(\theta))^2 \cdot f(\theta) d\theta \quad (6)$$

A_i および B_i は、 V_k 、 $f(\theta)$ 、 $g(\theta)$ が既に求まっているゆえ、数値積分により求めることが可能である。その結果は表1に示すとおりである。

被誘導線が2個より線の場合にも上記と全く同様であって、

$$V_i = A_i P_\eta (N_{sp} + PN_{pp}) + \lambda P \sqrt{\eta (B_i - A_i^2) (N_{sp} + P^2 N_{pp})} \quad (7)$$

となる。 N_{sp} および N_{pp} はそれぞれ交さする単線数およびより線数

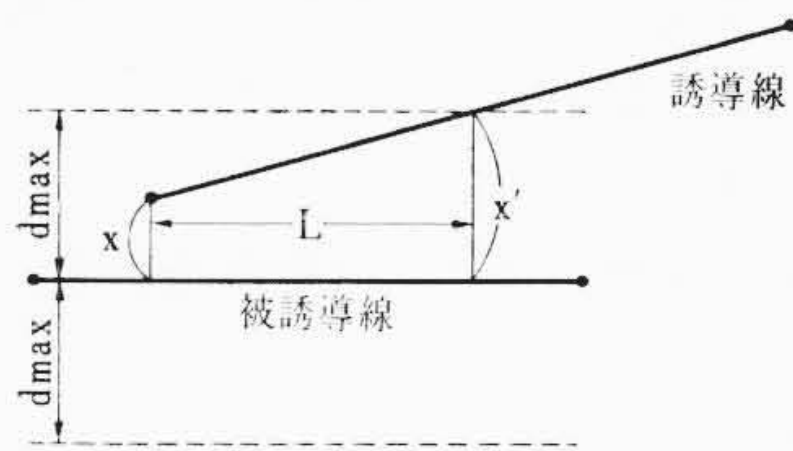


図4 近接線および特殊線の誘導雑音算出

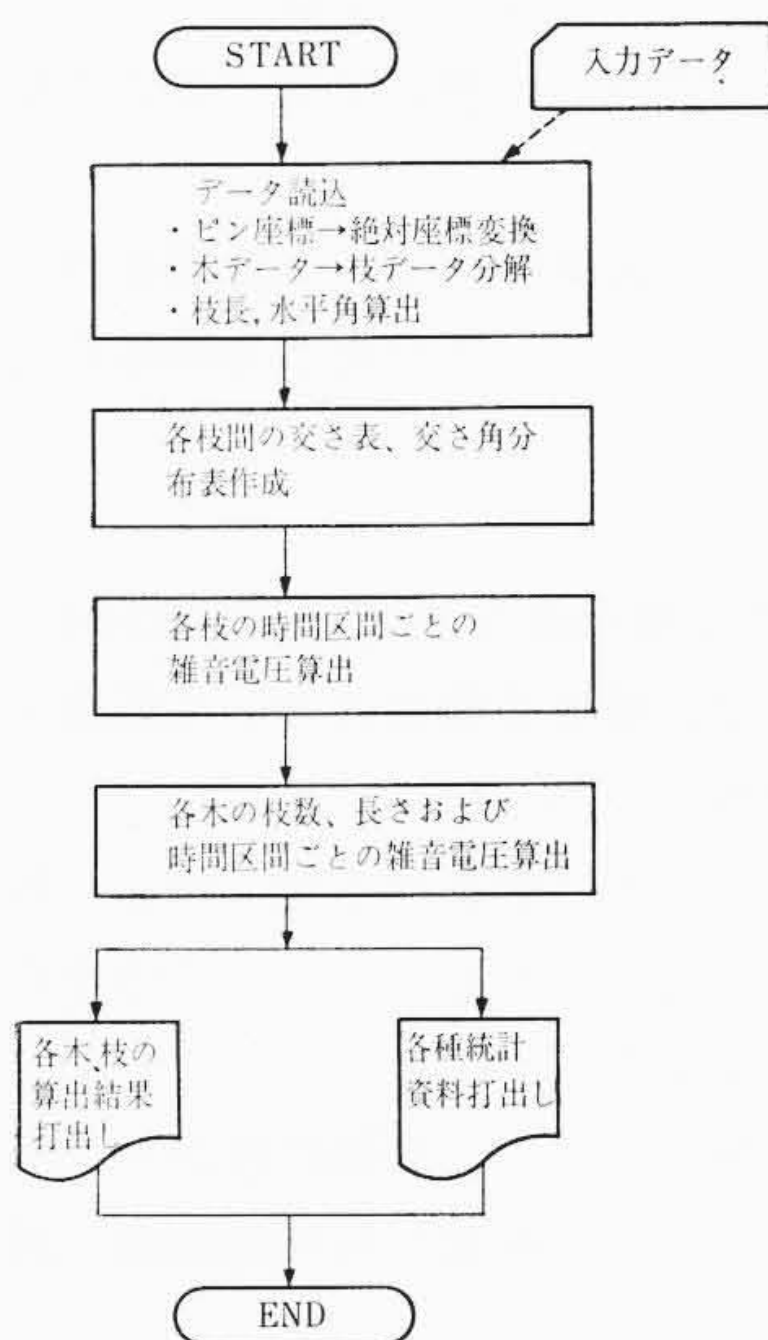


図5 WIRCHESのフロー

であって、 A_i および B_i はさきに求めたものがそのまま用いられる。

次に近接線（または特殊線）に関する誘導雑音であるが、図4に示すように、距離の2乗に逆比例すると仮定して、

$$V_{ik} = \int_0^L \frac{V_{ks}}{\left(x + \frac{x' - x}{L} l\right)^2} dl = V_{ks} \frac{L}{xx'} \dots \dots \dots (8)$$

で与えられる。

V_{ks} および図4の $d_{\max}$ の値は表2に示すとおりである。

さて、以上のようにして求めた誘導雑音電圧が越えてはならない許容値であるが、各信号線のファン・アウトにより異なった値をとる。プログラムではファン・アウトが10の場合の値で機械的に判定されている。

以上述べたようなチェック規準によりチェックを行なった結果、不合格になったものは、次のような処理を行なわねばならない。これは人手によらざるを得ない。

- (1) 不合格になった信号線のファン・アウトを調べる。
- (2) 単線を2個より線に変更する。
- (3) 布線ルートを変更する。
- (4) パッケージの実装位置を再検討する。
- (5) 論理修正する。

3. WIRCHESの構成⁽⁵⁾

3.1 WIRCHESの概要

本プログラムは、HITAC 5020のHISAPおよびHARP言語により作成されており、回路の接続表を入力データとして信号線相互間の誘導雑音を算出し、種々の統計資料を作成する。図5はこのプログラムの流れを示したものである。

木または枝の区別														時間区間										図面位置										版数										設計者										設計年月日										処置									
ブ名				布線枝名				ピン座標						線種				線色		通信線号		レムレーション指示		時間区間				図面位置				版数				設計者				設計年月日				処置																													
2				6				3						b				4		b		b		24				5				2				3				6				79				80																									
1	2	3	4	9	10	12	13	14	27	28	29	30	31	32	35	36	37	38	39	40	63	64	68	69	70	71	73	74	79	80																																											

図6 データカードフォーマット (その1)

木														図																			
グ ル ー ブ 名				木		数		ピ ン 座 標		ピ ン 座 標		ピ ン 座 標		ピ ン 座 標				図 面 位 置		版		設 計 者		設 計 年 月 日		処 置							
(2)				(6)		(3)		(7)		(7)		(7)		(7)				(5)		(2)		(3)		(6)									
1	2	3	4		9	10	12	13	14		20	21		27	28		34	35		55	56		62	63	64	68	69	70	71	73	74	79	80

図7 データカードフォーマット (その2)

3.2 入力データ

WIRCHESの雑音算出は架単位に行なわれており、装置を構成する一架の接続状態の表現は接続されているコネクタの実装されている段数、コネクタ位置、ピン番号からなる6けたのピン座標で表示される。

さらに、相異なる2個のピン間を接続する線分を枝と呼び、枝の接続された集合を木と呼ぶことにする。

回路の接続状態は木または枝の単位で表示され（木カードと枝カード）、木を構成する枝が同一層、同一線種であればいずれの表示でも良いが、異なっている場合には枝に分解した形で表示する必要がある。

3.2.1 ヘッドカードとエンドカード

ヘッドカードは入力データの先頭を表わすカードで、装置名などのデータの注釈が記入される。

エンドカードは入力データの終わりを示すカードである。

3.2.2 木カードと枝カード

WIRCHESへの接続表の入力は木カードまたは枝カードによる。これらを表わすデータカードの形式はほぼ同じで、図6に示すとおりである。相違点は第10カラムから第12カラムに枝数を記入するか、枝名を記入するかである。

データの最小単位は枝であり、枝カード1枚は1本の枝に対応する。一方、木カードの場合には、その木に含まれる枝数とすべてのピン座標を記入することにより、プログラムが枝に分解する（3.2.3参照）。この場合には、図7のような続きカードが許され、最大8本の枝を含ませることができる。

入力データは以下のようなものよりなる。

- (1) 木、枝の区別.....木の場合T、枝の場合Bで示す。
- (2) グループ名.....同一布線群に属することを示す。

- (3) 木名.....分類コード2けたと数字4けたで示す。
- (4) 枝名(枝数).....枝カードの場合は枝名を3けたの数字で表わし、木カードの場合は2~8の枝数を記入する。
- (5) ピン座標.....回路の種類を表わす1けたと座標6けたで示す。枝カードの場合には信号源または信号源に近いピンを先に記入し、木カードの場合には信号源のピンを最初に記入する。これらのピン座標は物理的なX-Y絶対座標に変換されて処理される。
- (6) 層の指定.....A, BまたはCで示す。
- (7) 布線形態.....一筆書きの場合I, V字形の場合V, ひし形の一部の場合Dと記入する。
- (8) 線種.....単線の場合S, より線の場合Pと記入する。
- (9) 線色.....4文字で示す。
- (10) より線区分.....2個より線, 3個より線を使用する場合, 各端子の接続先により, 種々の形態が考えられるが, 現在は単線の場合および2個より線で一方の線が接地されている形だけが許されており, それぞれ1または2で示す。
- (11) 信号区分.....一般にはランダム動作の一般論理布線であるが, そのほかの各布線の信号を決められた記号で示す。
- (12) シミュレーションの指示.....当該布線を被誘導線として計算する場合にはこの欄をSとし, ほかの場合には空白とする。
- (13) 時間区間.....当該布線が誘導線となる時間を, 時間単位ごとに示す。誘導線となる場合には1, ならない場合には

0で示す。最大8時間単位指定可能で, 全時間単位が誘導線になる場合には, 最初にAと記す。

- (14) 図面位置.....5文字で示す。
- (15) 版数.....データ変更の来歴を2けたの数字で示す。
- (16) 設計者.....3文字で示す。
- (17) 年月日.....6けたの数字で示す。
- (18) 処置.....各データカードの新規追加抹消変更の別をそれぞれN, D, Cで示す。

3.2.3 木から枝への分解

木から枝への分解は, (1)木長が最短になること, (2)ピン当たりの最大取付線数が2本であること, を条件に全体のピンの間で距離の短いものから(2)の条件に注意して枝に分解する方法をとっている。

この方法による分解例を示したのが図8である。また図9のような特殊な場合には木長が最短にならないことが起こり得るので注意が必要である。

3.3 枝の雑音電圧算出

WIRCHESでは各枝への誘導雑音は層が異なる場合および同一木内のほかの枝を除いて, 交さまたは近接する場合について算出する。またC層の相互誘導雑音は考慮されない。

そこで初めに同一層の枝およびほかの木に含まれる枝について枝間の交さの状態を調べて表を作成し, 交さするものについてはその交さ角度を算出してその分布表を作成する。

次にシミュレーション指示のある枝について, 周囲の枝からの誘導雑音をそれぞれ計算することにより, その総和から被誘導線に誘導される雑音電圧とする。

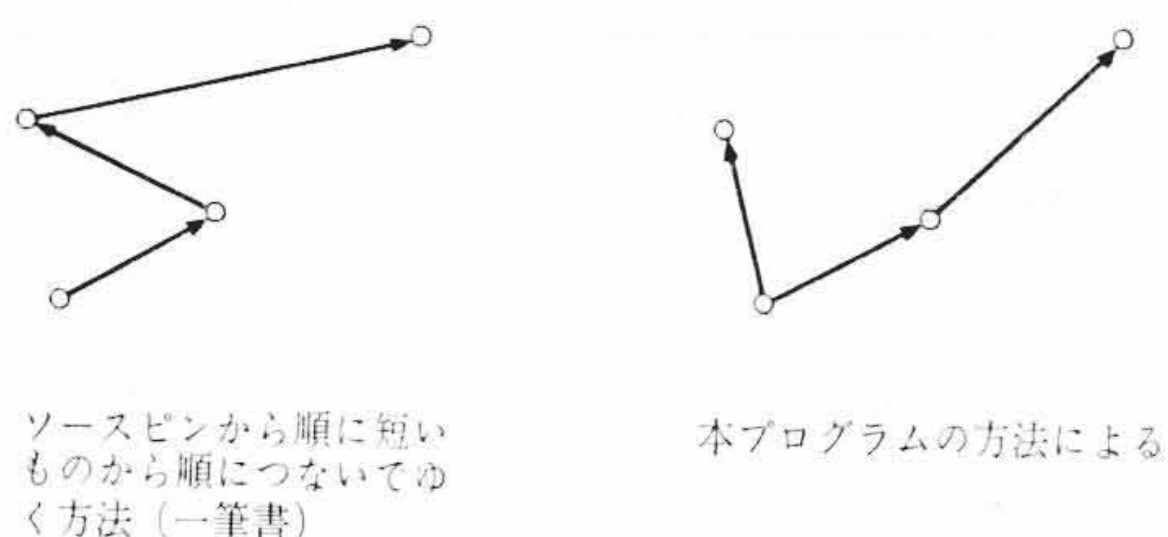


図8 木から枝への分解例

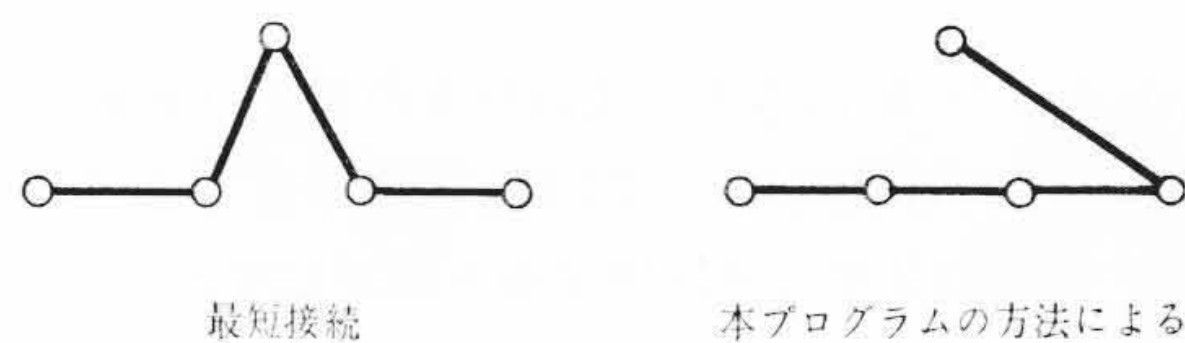


図9 分解時の最悪例

WIRCHES TREE DATA				SYSTEM NAME: EXAMPLE		GROUP NAME: EG		03/07/66		PAGE 0001	
TREE NAME: EX1001 NO. OF BRANCHES: 002 TREE LENGTH: 0065.0(MM)											
BR. NO.	LENGTH	ANGLE	PIN COORDINATES	L C K COLR T S S	TIME INTERVALS		ILL. RV.DSN		DATE P		
001	0325.0	000.0	L232275-L232075	V S	S A		EP001 01 KWN		680318 N		
002	0040.0	090.0	L232275-L232235	A V S	S 11111 11111		EP001 01 KWN		680318 N		
TIME INTERVAL=000				TREE NOISE=+.0000000E+00(V)		BR. NO.	GRADE	NOISE VOLTAGE(V)		GO	
						001	001	+.0000000E+00			
						002	002	+.0000000E+00			
TREE NAME: EX2003 NO. OF BRANCHES: 002 TREE LENGTH: 0060.2(MM)											
BR. NO.	LENGTH	ANGLE	PIN COORDINATES	L C K COLR T S S	TIME INTERVALS		ILL. RV.DSN		DATE P		
001	0345.0	146.3	L231670-L231356	B I	S A		EP002 01 KWN		680318 N		
002	0019.2	170.5	L231356-L231235	H S	S 11111 11111		EP002 01 KWN		680318 N		
TIME INTERVAL=000				TREE NOISE=+.3013610E-01(V)		BR. NO.	GRADE	NOISE VOLTAGE(V)		GO	
						001	001	+.3013610E-01			
						002	002	+.0000000E+00			
TREE NAME: EX2004 NO. OF BRANCHES: 003 TREE LENGTH: 0088.0(MM)											
BR. NO.	LENGTH	ANGLE	PIN COORDINATES	L C K COLR T S S	TIME INTERVALS		ILL. RV.DSN		DATE P		
001	0321.3	020.5	L231372-L231269	B V	S A		EP002 01 KWN		680318 N		
002	0059.5	054.1	L231372-L231620	B V S	S 11111 11111		EP002 01 KWN		680318 N		
003	0311.1	026.5	L231620-L231706	B S	S 11111 11111		EP002 01 KWN		680318 N		
TIME INTERVAL=000				TREE NOISE=+.3015136E-01(V)		BR. NO.	GRADE	NOISE VOLTAGE(V)		GO	
						002	001	+.3015136E-01			
						001	002	+.0000000E+00			
						003	003	+.0000000E+00			
TREE NAME: EX2001 NO. OF BRANCHES: 002 TREE LENGTH: 0065.0(MM)											
BR. NO.	LENGTH	ANGLE	PIN COORDINATES	L C K COLR T S S	TIME INTERVALS		ILL. RV.DSN		DATE P		
001	0325.0	000.0	L232175-L231975	B V	S A		EP002 01 KWN		680318 N		
002	0040.0	090.0	L232175-L232135	B V S	S 11111 11111		EP002 01 KWN		680318 N		
TIME INTERVAL=000				TREE NOISE=+.0000000E+00(V)		BR. NO.	GRADE	NOISE VOLTAGE(V)		GO	
						001	001	+.0000000E+00			
						002	002	+.0000000E+00			
TREE NAME: EX1003 NO. OF BRANCHES: 002 TREE LENGTH: 0060.2(MM)											
BR. NO.	LENGTH	ANGLE	PIN COORDINATES	L C K COLR T S S	TIME INTERVALS		ILL. RV.DSN		DATE P		
001	0345.0	146.3	L231770-L231456	I	S A		EP001 01 KWN		680318 N		
002	0019.2	170.5	L231456-L231389	A S	S 11111 11111		EP001 01 KWN		680318 N		
TIME INTERVAL=000				TREE NOISE=+.1919555E-01(V)		BR. NO.	GRADE	NOISE VOLTAGE(V)		GO	
						001	001	+.1919555E-01			
						002	002	+.0000000E+00			

図10 チェック結果のリスト例

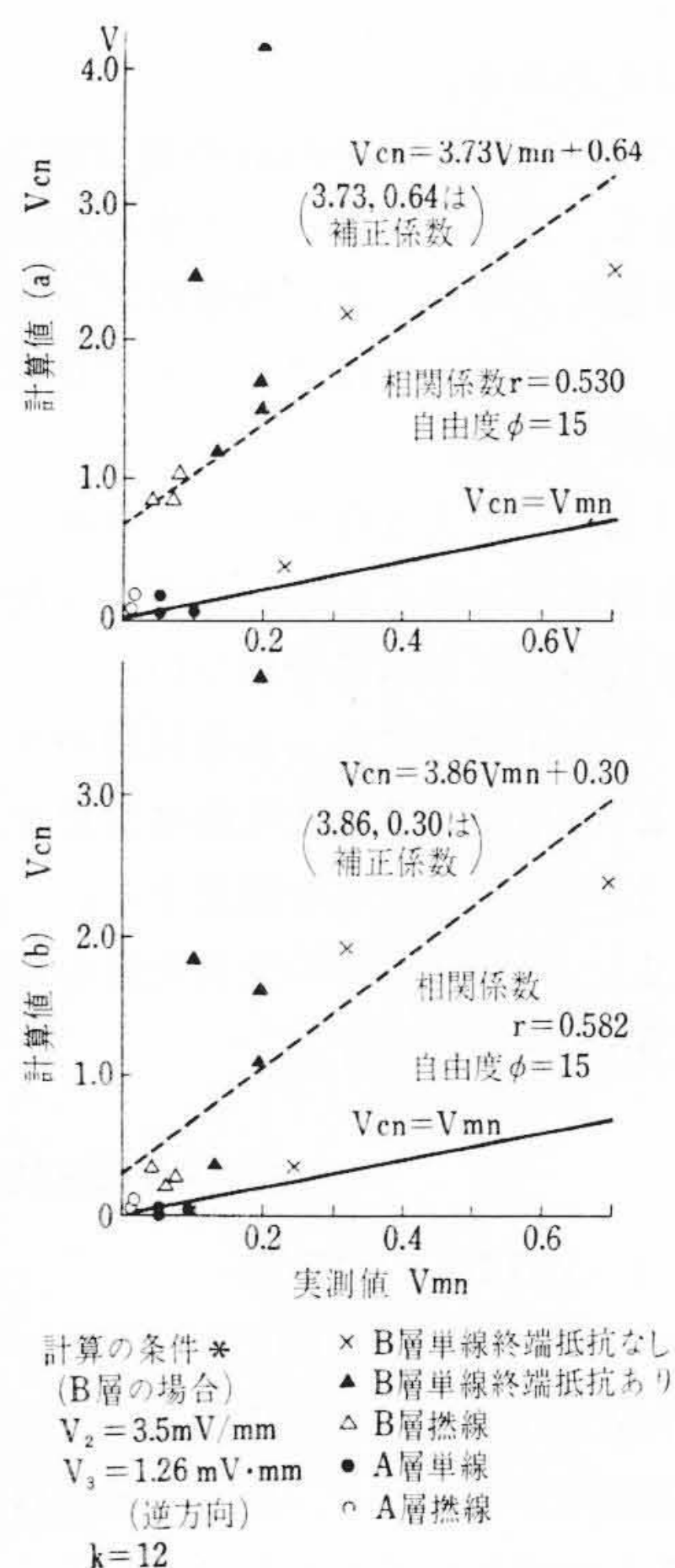


図11 雑音電圧の計算値と実測値の例

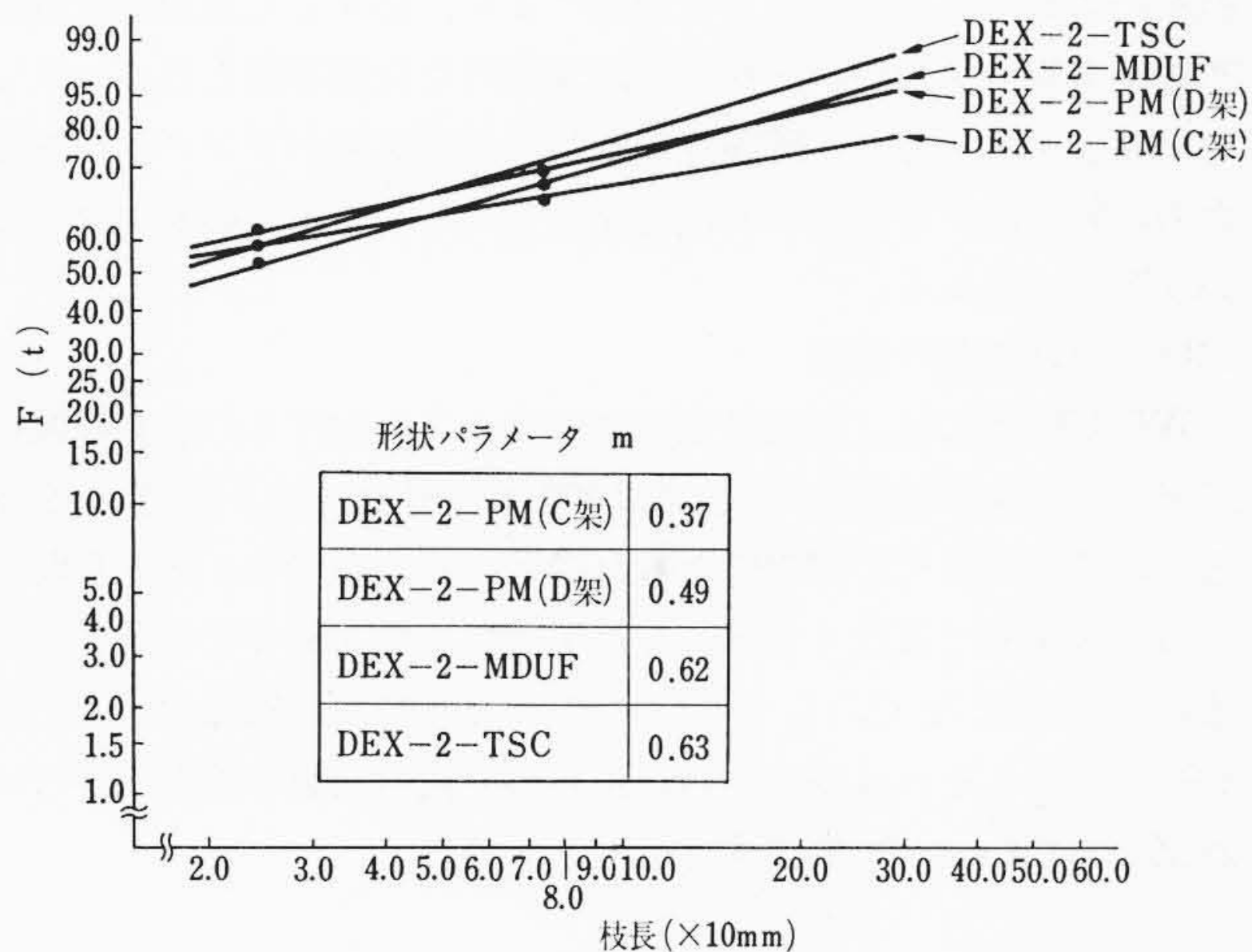


図12 枝長の累積分布

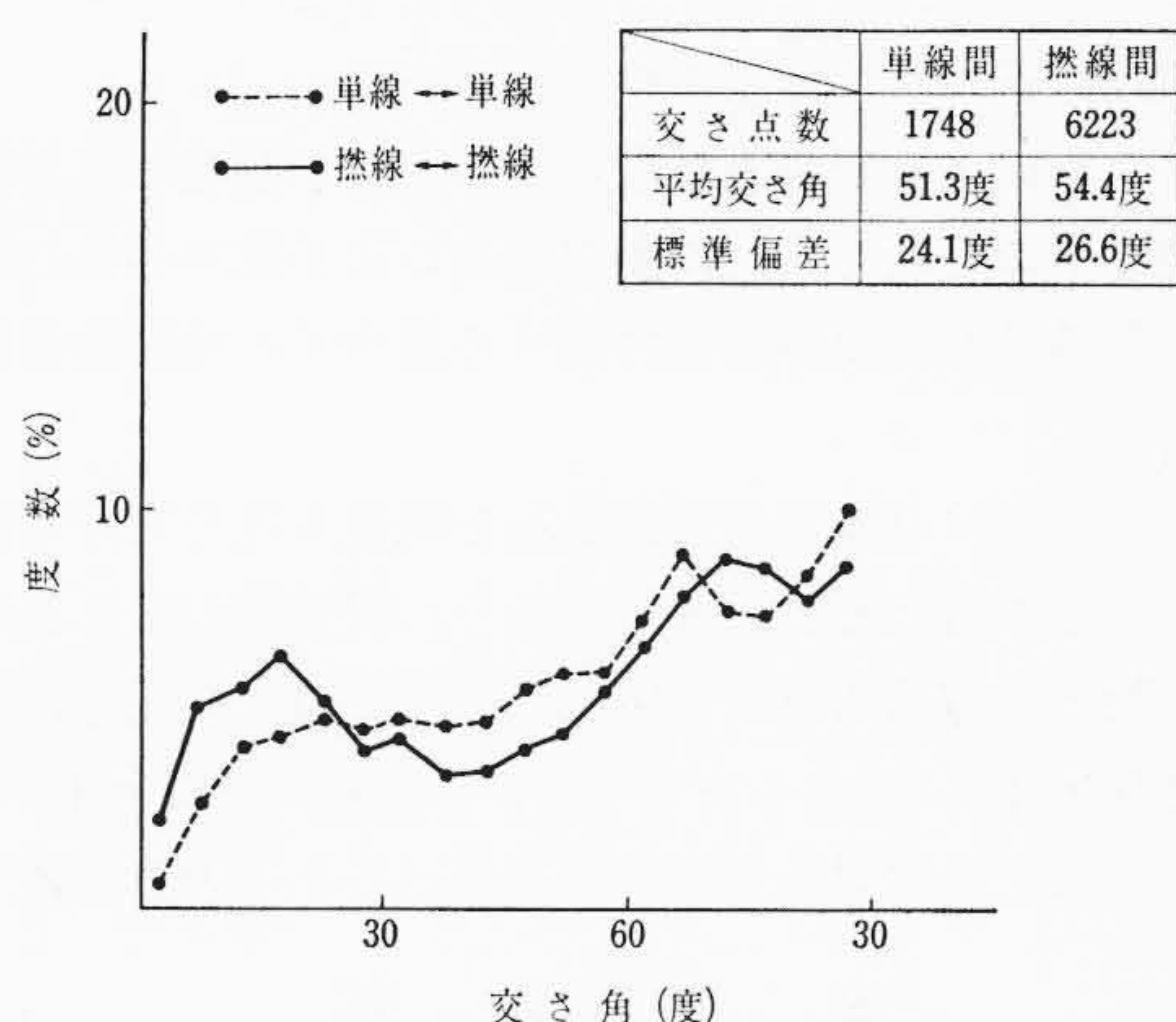


図13 交さ角分布の例

各枝からの雑音電圧は、(1)交さ角度が10度未満の場合、(2)交さ角度が10度以上の場合、(3)近接する場合、の3種に分けて算出されている。ここで、近接とは交さはしないが被誘導線からの距離がA層の場合に15mm以内、B層の場合45mm以内にはいる誘導線の部分をいう。

誘導雑音の算出は各枝に時間区間ごとの状態が指示されていれば、その時間ごとについて行なわれる。

3.4 木の雑音電圧算出

枝単位に算出された雑音電圧について、同一木名のものの合計を時間区間ごとに行なって木の雑音電圧とする。これと同時に、木の長さ、木に含まれる枝数、木の存在する層の算出が行なわれる。

3.5 出力情報

チェック結果は、木ごとに木の長さ、木に含まれる枝数、その枝の長さ、水平角、入力されたデータがプリントされ、さらに時間区間ごとの木の雑音電圧とそれが判定基準内であるかどうか、またその時刻の各枝の雑音電圧と木中におけるその順位とがプリントされる。図10はその出力例である。

また、雑音電圧、交さ角度、木長、枝長などの分布を含む各種統計資料がプリントされる。

4. 運用結果およびその検討

布線間誘導雑音は、交換機を構成する装置ごとにその特性が異なると考えられ、論理布線群の諸性質およびチェックのアルゴリズムを論ずるには、種々の装置に適用してみる必要がある。本章ではDEX-2電子交換機における3種の装置に適用した結果とそれをも

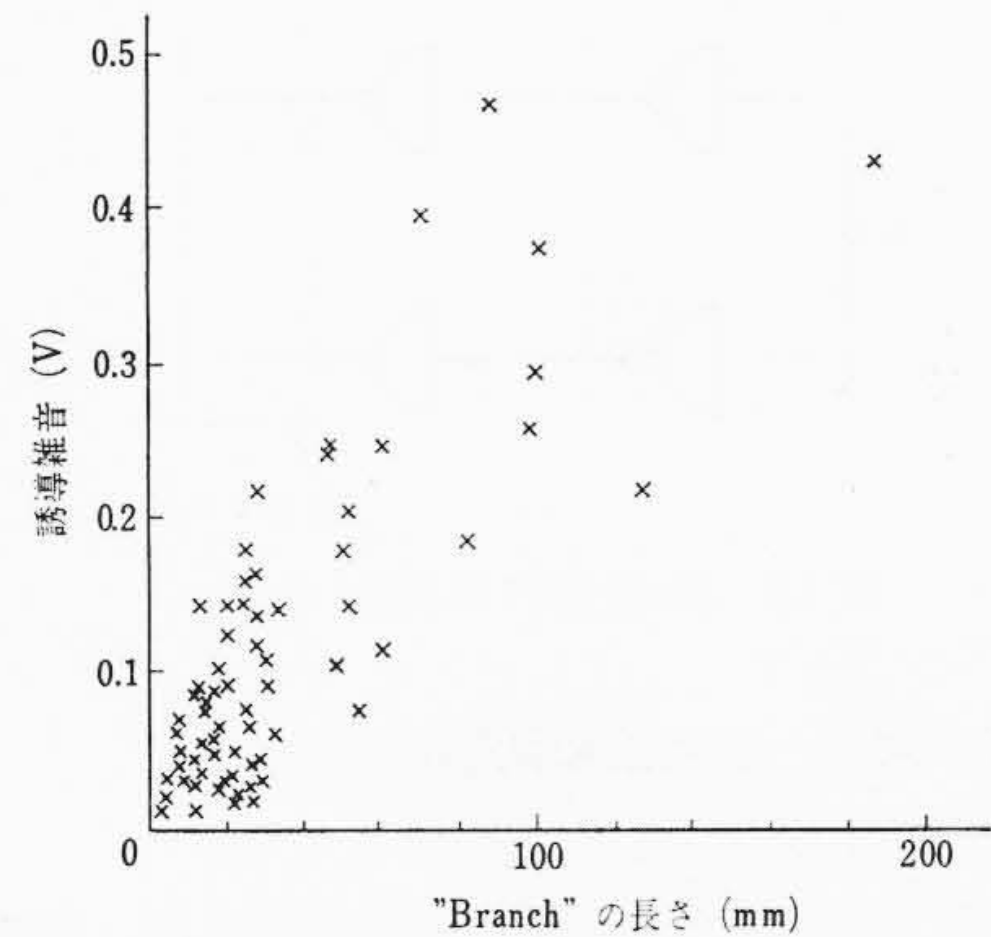


図14 誘導雑音(計算値)と枝長との関係

とに行なった検討について述べる。

4.1 計算値と実測値との比較⁽⁶⁾

図11で計算値(a)は計算の便宜上装置の全布線が同時に動作するとして計算した値、(b)は測定時に動作している布線からの誘導雑音のみを計算した値をそれぞれ実測値と比較した相関図である。また実線は計算値と実測値とが一致したときに載るべき直線で、破線は実測値の計算値に対する回帰直線である。図における信頼限界を求めると(a)は95%、(b)は98%となる。図から次のことが判明する。

- (1) 計算値と実測値とは、絶対値は異なっているが相関は存在する。
- (2) A層単線の場合を除いて、計算値が実測値よりも大きくなっている理由としては、次のように考えられる。
 - (a) 交さ点当たりの誘導雑音量が最悪の場合を考慮して、通常値よりも大きく見込んでいる。
 - (b) 信号伝送方向を全部逆方向としてランダム雑音を算出している(順方向結合では逆方向結合に比べて誘導雑音量が小さくなることが確かめられている)。
 - (c) 布線面の厚さ方向における線間距離を考慮していない。
 - (d) 実際の同時動作率が見込みより小さい。
 - (e) 端子のアース効果。

上記中、(d)項に関しては、図の(a)、(b)の比較により、その影響が明らかである。

4.2 論理布線群の諸性質(各種統計資料の検討)

(1) 布線長の分布

木または枝長の分布は指数分布をすると一般にいわれているが、今回の計算でも全く同様の傾向がうかがえる。各装置における単線、より線両者の枝長分布をWeibullチャート上にプロットしたものが図12である。

(2) 角度分布

布線相互の交さ角は図13に一例を示すように、2で仮定した正弦的な密度関数であると考えられるが、たとえばDEX-2-PM装置のより線相互などの場合にはこれからはずれ、むしろ交さ角の小さな組合せのほうが多い傾向になった。このことは、ランダム雑音の算出式のみでは危険なこと、したがって3で簡単に触れたように、交さ角の小さな布線の組を別途考慮して雑音に加えておくことが、チェックを安全側に導くことになる。

(3) 算出雑音と布線長との相関

図14に一例を示すように、布線長と算出雑音との関係は必ずしも良い相関があるとはいえず、ランダム布線の場合に、単に線長のみで誘導雑音量を予測することの困難なことがわかる。

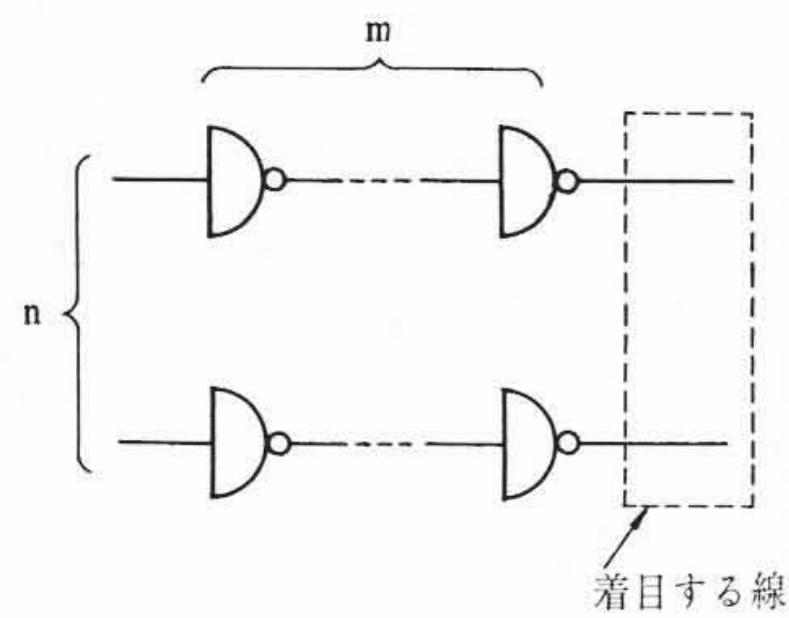


図15 同時動作率算出モデル

4.3 アルゴリズムと運用上の問題点

(1) 同時動作率について

実際の装置の布線群では、同時動作率は時刻、論理パターンにより時々刻々変化していると考えられる。したがって、特殊な布線群を除いて、その同時動作率はきわめて小さいと考えられる。たとえば、図15の回路において、最初同時に動作した n 本の信号線が、それぞれ論理回路を m 段経たあとでは、同時動作する確率がいくらかになるかを求めてみる。

論理回路一段の伝播(でんぱ)時間のばらつきを正規分布とみなし、その標準偏差を σ とすれば、 m 段経たのちの伝播時間の変動は $\sqrt{m}\sigma$ を標準偏差とする正規分布となる。論理回路を m 段経た1本の信号線が時間 $(t, t+\Delta t)$ に動作する確率を p とし、正規分布の確率密度関数を $f(t)$ とすれば

$$p = \int_{t - \frac{t_r}{2}}^{t + \Delta t + \frac{t_r}{2}} f(t) dt \quad (9)$$

となる。ここに、 t_r は論理回路の立上がり(また立下がり)時間である。したがって、回路中のすべての論理回路の立上がり(または立下がり)時間がすべて等しいとすれば、図15の回路における最大の同時動作率は

$$\eta_{\max} = p^n \quad (10)$$

となる。

一例として、 $m=4$, $n=3$, $t_r=5\text{ns}$, $\sigma=1.6\text{ns}$ とすれば、 $\eta_{\max}=0.5$ 程度となる。

以上のように、実際の同時動作率が小さくなることが判明するが、その値を正確に掌握することは困難である。そこで、シミュレーション結果と、現実のハードウェアとの対比を多数の具体的な装置について掌握することが必要である。

(2) 布線ルートについて

DEX-2電子交換機の論理回路部分の布線ルートは、直線布線を原則とするランダム布線である。しかしながら、実際の布線作業においては、(1)布線をコネクタピン間に埋めこむ、(2)布線自体の体積が大きくなり、布線同士がじゃまになる、(3)最短の

被覆長に制限がある、などの理由により、必ずしも理想的な直線布線が実現できない。それゆえ、理想的な直線布線としてシミュレーションするという問題点のほかに、布線群がランダムであるために雑音値を評価するのに複雑なアルゴリズムが必要になるという問題点がある。

(3) 処理時間の問題

WIRCHESでは、布線相互の交さテーブルを作るのに布線数の二乗に比例する演算時間(枝数2,000本の場合、約3時間)を必要とし、さらに多くの布線になった場合に、占有メモリと演算時間の点で現実的ではなくなる。したがって、各布線ごとの交さ角を求めるのではなく、もう少しマクロな意味での布線の込みぐあい——しかもそれは雑音とのなんらかの簡単な数学的関係がなければならぬ——を確立する必要がある。

5. 結 言

DEX-2電子交換機の論理回路の実装設計における布線ルートのチェック規準の内容、チェック作業機械化のためのプログラムの内容および実際に適用した結果について述べた。

本プログラムによる布線設計最適化により、製造した装置は雑音の問題を生ずることなく安定に動作することが確かめられた。

さらに、集積論理回路の実装に関する数多くの技術的資料を得ることができた。

最後に、本研究は日本電信電話公社と関係4社の電子交換機開発共同研究のもとに行なわれたものであり、終始熱心にご指導、ご討論いただいた日本電信電話公社電気通信研究所交換記憶研究室川又室長、守友調査員、三瀬主任をはじめ、日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社の関係各位に心から謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) David K. Linn, Charles S. Meyer, and Douglas J. Hamilton, "Analysis and Design of Integrated Circuits", Motorola Series in Solid-State Electronics, McGraw-Hill Book Co., 1967
- (2) Raymond M. Warner, Jr., James N. Fordemwalt, "Integrated Circuits, Design Principle and Fabrication" Motorola Series in Solid-State Electronics, McGraw-Hill Book Co., 1965
- (3) 守友孝夫 「DEX-2電子回路の実用化」日本電信電話公社電気通信研究所、成果報告第4260号、昭和43年11月
- (4) 三瀬、福田、安部、荒井、広神、甲斐 「裏面布線雑音評価の一方法」昭43年度信学会全国大会 No. 1175
- (5) 徳永、川野、今井、沼田 「布線雑音チェック・システム WIRCHESについて」昭43年度信学会全国大会 No. 1178
- (6) 志子田、迎町、桑原、川野 「IC論理布線の雑音について」昭44年電気四学会連合大会 No. 2344