

# コモンセントロイド配置におけるペア対称配線の提案

徐紫昂<sup>†1</sup> 高橋篤司<sup>†1</sup> 轟祐吉<sup>†2</sup> 南誠<sup>†2</sup>

概要：アナログ回路では、素子特性の相対精度に頼った設計が行われており、差動回路やカレントミラー回路等の素子対の相対精度が重要な回路では、配置・配線共に対称的なレイアウトが求められる。本研究は、トランジスタが対称的に配置されている配線問題を対象に、対称的な配線の実現手段検討を目的とする。本稿では、トランジスタが上下にコモンセントロイド配置され、各ネットが配線領域を貫通する横幹線を持つ2層チャンネル対称配線問題を対象とする。すべてのネットは対をなし、各ネットの横幹線は第1層で配線し、端子から横幹線までは第2層で配線する。このとき、トランジスタ配置による端子配置の対称性によって、横幹線に対する垂直制約グラフにおいて、すべてのネット対はループを構成するため、端子から横幹線までの配線をすべて第2層の縦線分のみでは実現できず、第2層において迂回が強制される。この問題に対し、横幹線のトラック割当を行い、第2層配線に対しテンプレートをを用いることで、上下対称性が高い配線パターンを効率よく実現する配線アルゴリズムを提案する。

## Pair Symmetrical Routing in Common Centroid Placement

ZUAN JO<sup>†1</sup> ATSUSHI TAKAHASHI<sup>†1</sup>  
YUKICHI TODOROKI<sup>†2</sup> and MAKOTO MINAMI<sup>†2</sup>

Abstract: Analog circuits are usually designed rely on the relative accuracy of element characteristics, and circuits such as differential circuits and current mirror circuits where relative accuracy of an element pair is important require a symmetrical layout for both placement and routing. The purpose of this research is to find a symmetrical routing method for transistors placed symmetrically. The target of this paper is a two-layer symmetrical channel routing problem where transistors are placed in common centroid and each net uses one horizontal trunk that passes through the channel. Each net is paired, and the trunk of each net is routed in layer 1, and the wire from a pin to its trunk is in layer 2. Then, due to the symmetricity of the pin positions that are derived from the transistor placement, a loop is formed for each net pair in the vertical constraint graph of the trunk in the channel, and a detour is forced for the wire from a pin to its trunk. We propose a routing algorithm for the problem that efficiently obtains a routing with higher vertically symmetricity by performing track assignment of trunk, and then by using routing templates for layer 2.

### 1. はじめに

アナログ回路では、回路を構成する素子が持つ特性の相対精度を頼りにした設計が行われており、差動回路やカレントミラー回路等の相対精度が重要視される回路においては、対称的なレイアウトが求められている。デバイス配置に関する対称的なレイアウトの一例として、素子特性が等しいデバイスの組み毎に、それらの重心を一致させるコモンセントロイド配置があり、様々な条件や手法を用いてコモンセントロイド配置を行うアルゴリズムが提案されている [1]。これらの対称的な配置に対し、配線を対称的に行うことで、より対称的なレイアウトを実現することができる。

本研究では、対称的なデバイス配置に対する対称的な配線の実現を目標とする。本稿では、小規模なコモンセントロイド配置されているトランジスタの集合に対して、ペアとなるネットの配線が対称となる配線パターンを出力するアルゴリズムを提案することを目的とする。

対象とする配線問題は、チャンネルの上下に端子が対称的に配置されている2層チャンネル対称配線問題である。トランジスタは対をなし、それぞれ2分割されチャンネルの上下にコモンセントロイド配置される(図1)。トランジスタは点対称配置され、各ネットはチャンネルを貫通する横幹線を持

つとする。

チャンネルの高さは、ネット数、すなわち横幹線数とする。2層の配線層において、第1層は、チャンネルを横に貫通する横幹線に用いる。第2層は、端子から横幹線までを接続する配線に用いる。コモンセントロイドによる端子配置および横幹線に対する制約により、第2層は縦線分のみでは実現できないため、横線分も用いる。

提案アルゴリズムでは、ペアとなるネットの配線が上下対称となることを目指す。提案アルゴリズムは、ペアとなるネットの横幹線を上下対称の関係にあるトラックに割当て、第2層の配線をテンプレートにより実現する。配線に利用できる縦トラック数が、各トランジスタに対して平均3である場合は、配線パターンを出力することができないが、4縦トラック以上使用できる場合は、提案アルゴリズムに

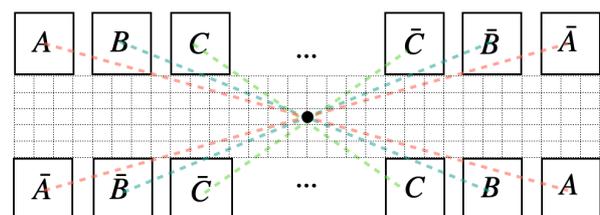


図1 コモンセントロイド配置

<sup>†1</sup> 東京工業大学 / Tokyo Institute of Technology

<sup>†2</sup> (株)ジーダット/JEDAT

より配線パターンを得ることができる。提案アルゴリズムでは、チャンネルの横トラックは6ブロックに分割される。隣接する端子のネットの横幹線を、1ブロック以上離れている横トラックに割当ててすることで、縦トラックを共有できるテンプレートの組み合わせを増やし、対称性の高い配線パターンを効率よく出力する。

## 2. 2層チャンネル対称配線問題

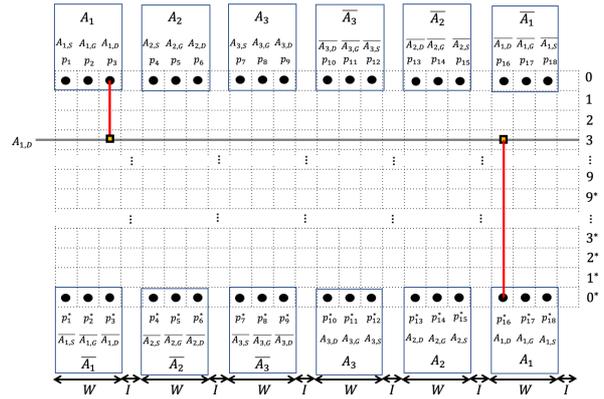
各トランジスタは対をなし、それぞれ分割されチャンネルの上下にコモンセントロイド配置される。トランジスタはゲート、ソース、ドレインの3端子を持つ。トランジスタAのゲート端子、ソース端子、ドレイン端子をそれぞれ $A_G, A_S, A_D$ とする。トランジスタの種類数を $2n$ とする。このとき、ネット数は $6n$ 、チャンネル領域は、高さ $C_H = 6n$ 、幅 $C_W = 2w (\geq 6n)$ となる。端子は、チャンネル領域外周に配置される。各ネットは、チャンネル領域の左辺上、右辺上の端子、および、チャンネル上下のトランジスタ端子からなる4端子ネットで、チャンネル内で2層配線で接続することが求められる。

チャンネル領域内で、配線に用いるワイアはトラック上に置かれる。チャンネルの横トラックの番号を上から順に $0, 1, 2, 3, \dots, 6n, 6n + 1$ とし、縦トラックの番号を左から順にトラック $1, 2, 3, \dots, 2w$ とする。横トラック $0, 6n + 1$ は、それぞれチャンネルの上側と下側のトランジスタ端子が位置するトラックである。横トラック $m (0 \leq m \leq 3n)$ と横トラック $6n + 1 - m$ は上下対称の関係にあり、後者を $m^*$ で参照する。以下、縦トラック $x$ 上の横トラック $y_1$ から $y_2$ までの縦線分を $(x, y_1 : y_2)$ と表記する。

チャンネル領域上側の端子列を $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{6n}$ とし、下側の端子列を $p_1^*, p_2^*, p_3^*, \dots, p_{6n}^*$ とする。ただし、チャンネル領域には空端子が置かれる縦トラックが含まれるが、この端子列はネットの端子のみから構成され、空端子を含まない。端子 $p$ の位置する縦トラックを $x(p)$ で表し、ネットを $N(p)$ で表す。

トランジスタの幅はすべて3以上の奇数 $W$ で等しいとする。トランジスタ内のゲート端子のX座標を0としたとき、ソース端子、ドレイン端子のX座標は $W/2$ もしくは $-W/2$ とする。トランジスタの間隔はすべて $I$ で等しいとする。チャンネル幅 $C_W$ は、 $2n(W + I)$ となる。チャンネルの縦対称軸のX座標は $(C_W - I)/2$ となる。

トランジスタAの対となるトランジスタを $\bar{A}$ とする。またネットNの対となるネットを $\bar{N}$ とする。組となるトランジスタは対称中心に対して点对称配置され、ソース端子とドレイン端子のトランジスタ内の位置も左右で反転するとする。任意の整数 $j (1 \leq j \leq 2n)$ に対し、端子 $p_{3j-1}$ および $p_{3j-1}^*$ は、ゲート端子である。任意の整数 $j (1 \leq j \leq 6n)$ に対し、 $x(p_j) = x(p_j^*)$ となる。また、 $N(p_j) = N(p_{6n-j+1}^*)$ となり、 $N(p_j) = \overline{N(p_{6n-j+1})}$ となる。



$$(C_H = 6n = 18, C_W = 2w = 24, W = 3, I = 1)$$

図2 配線モデル

チャンネル領域において、同一ネットに接続する横幹線を1本とする。横幹線は1つの横トラックを使用し、チャンネルを横に貫通する。チャンネル上下の各端子から横幹線までの配線は、横幹線とは異なる層で実現する。

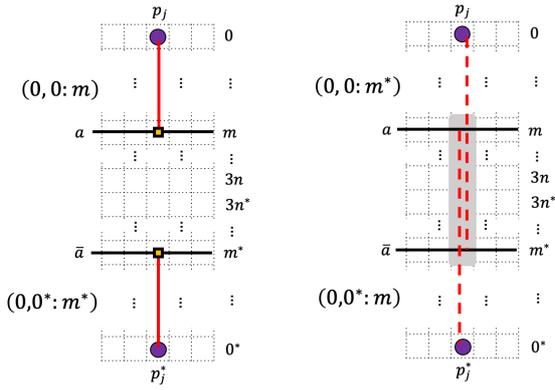
図2に配線モデルを示す。図2では、トランジスタの種類数6、トランジスタ幅 $W = 3$ 、トランジスタ間隔 $I = 1$ である。ただし、チャンネル配線領域左右に位置するネットの端子は省略している。図2において、ネット $A_{1,D}$ の横幹線は第1層の横トラック3を使用し、 $A_{1,D}$ のチャンネル上部と下部の端子 $p_3, p_{16}^*$ から横幹線までの配線は、第2層を用いる。

本稿では、チャンネルの左右でソース、ドレイン端子の位置が反転する入力を扱うが、左右で反転しない場合も、同様に配線することが可能である。

## 3. 上下対称トラック割当

ペアのネットの横幹線は、チャンネル内で上下対称となる横トラックに割当てて。ネットNの横幹線がトラック $m$ に割当てられたとき、ネット $\bar{N}$ の横幹線はトラック $m^*$ に割当てられる。このとき、ペア端子からそれぞれの横幹線までの距離は等しい。

ペア端子 $(p_j, p_j^*)$ の状態を、端子から横幹線までの距離が $3n$ 以下のとき、すなわち、上側端子の横幹線がトラック $m (1 \leq m \leq 3n)$ に割当てられたとき、状態S(separate)と呼び、 $3n$ より大きいとき、状態X(cross)と呼ぶ。チャンネル上下の端子 $p_j, p_j^*$ から横幹線までの距離は、状態Sの場合、共に $m$ であり、状態Xの場合、共に $m^* = 6n - m + 1$ である $(0 < m \leq 3n)$ 。状態Sの場合、ペア端子からそれぞれの横幹線までは、縦線分のみでそれぞれ同時に最短で配線できる(図3(a))。状態Xの場合、ペア端子からそれぞれの横幹線までは、縦線分のみで同時に最短で配線することができない(図3(b))。



(a) 状態 S (b) 状態 X  
図 3 トラックと配線の関係

#### 4. 配線テンプレート

ペア端子から横幹線までの配線のためのテンプレートを定義する。状態 S のペア端子に対しては、テンプレート  $T_0$  を、状態 X のペア端子に対しては、5 つのテンプレート  $T_{1,L}, T_{1,R}, T_2, T_{3,L}, T_{3,R}$  を定義する(図 4)。

ペア端子から横幹線までの配線の形状は、テンプレートの種類と横幹線が割当てられたトラックによって定まる。テンプレート  $T_b$  で、上側端子の横幹線がトラック  $m$  に割当てられた場合、 $T_b(m)$  と表記する。状態 S の場合、 $1 \leq m \leq 3n$  であり、状態 X の場合、 $3n^* \leq m \leq 1^*$  である。すべてのテンプレートにおいて、状態 S の場合、各端子から横幹線までの縦線分の総長は共に  $m$  であり、状態 X の場合、共に  $m^* = 6n + m - 1$  である。

すべてのテンプレートは、高々3 縦トラックを使用し、

端子の位置する縦トラックと、その左右の高々2 縦トラックを使用する。端子の置かれている縦トラックの X 座標を 0 として、チャンネル上下の端子からそれぞれの横幹線までの配線が使用する縦線分を、上下 2 行に記述する(図 4)。横線分は、縦線分を接続するのみであり、記述を省略する。

各テンプレートに対して、対称性の度合いを表すスコアを定義する。上下端子からの配線形状が対称である場合、スコアを 0 と定義し、非対称である場合にはスコアを負と定義する。本稿で用いるテンプレートでは、非対称な場合も、長さ 1 の横線分を用いるか、用いないかの違いであり、非対称な場合のスコアは-1とする。

テンプレート  $T_0$  では、ペア端子から横幹線までの配線は、縦線分のみ用いる。  $T_0$  は対称配線を実現する。スコアは 0 とする(図 4(a))。

$T_{1,L}(m^*)$  では、ペア端子の縦トラックとその左の縦トラックを使用する。上側端子からの配線は、トラック  $m-1$  において、長さ1の横線分を使用し、対称性を損なう。スコアは-1とする(図 4(b))。

$T_{1,R}(m^*)$  では、ペア端子の縦トラックとその右の縦トラックを使用する。上側端子からの配線は、トラック  $m-1$  において、長さ1の横線分を使用し、対称性を損なう。スコアは-1とする(図 4(c))。

$T_2(m^*)$  では、ペア端子の縦トラックとその左右の縦トラックを使用する。上側端子からの配線は、トラック  $m$  において左方向へ、長さ1の横線分を使用し、下側端子からの配線は、トラック  $m^*$  において右方向へ、長さ1の横線分を使用する。 $T_2$  は対称配線を実現する。スコアは0とする(図 4(d))。

$T_{3,L}(m^*)$  では、ペア端子の縦トラックとその左の 2 縦トラックを使用する。上側端子からの配線は、トラック  $1, m$  において左方向へそれぞれ長さ1の横線分を使用し、下側

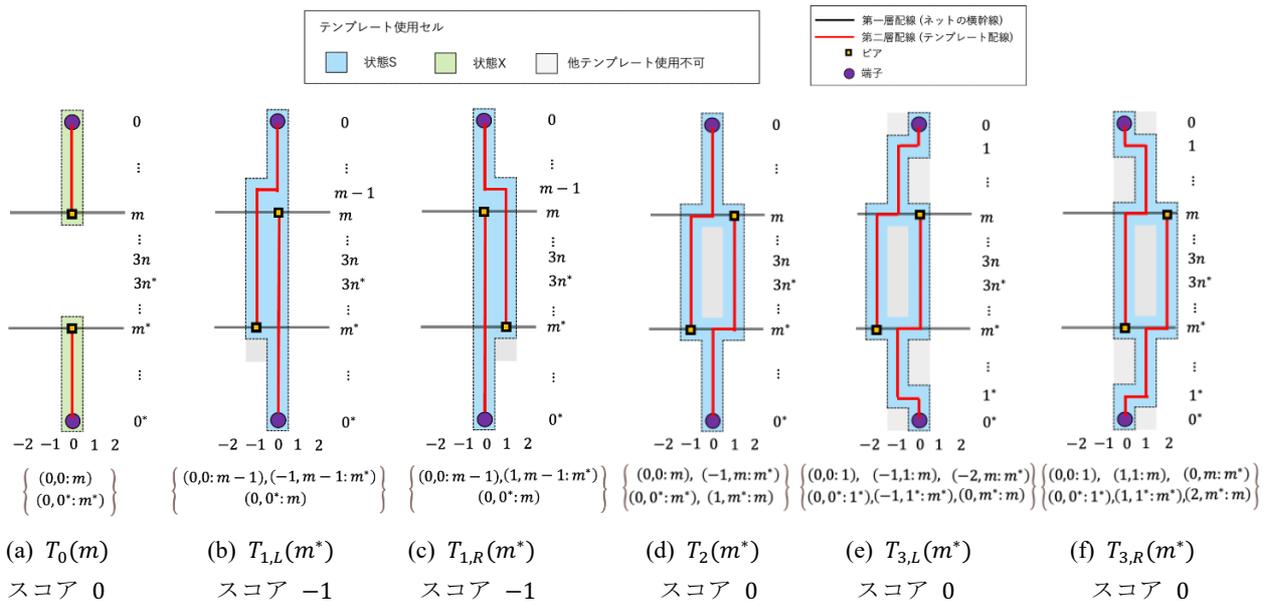


図 4 テンプレート配線

表 1 トラック割当 $P_N(p_j)(W = 3)$ ,  $i := \lfloor (j - 1)/6 \rfloor$

| $j \bmod 6$ | $1 \leq j \leq 3n$  |                      | $3n + 1 \leq j \leq 6n$ |                      |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| 1           | $2i + 1$            | (1~ $n$ )            | $3n - 2i$               | ( $n + 1 \sim 2n$ )  |
| 2           | $4n - 2i$           | ( $3n + 1 \sim 4n$ ) | $2n + 2i + 1$           | ( $3n + 1 \sim 4n$ ) |
| 3           | $n + 2i + 1$        | ( $n + 1 \sim 2n$ )  | $2n - 2i$               | (1~ $n$ )            |
| 4           | $6n - 2(i + 1) + 1$ | ( $5n + 1 \sim 6n$ ) | $3n + 2(i + 1)$         | ( $4n + 1 \sim 5n$ ) |
| 5           | $2n + 2(i + 1)$     | ( $2n + 1 \sim 3n$ ) | $4n - 2(i + 1) + 1$     | ( $2n + 1 \sim 3n$ ) |
| 0           | $5n - 2(i + 1) + 1$ | ( $4n + 1 \sim 5n$ ) | $4n + 2(i + 1)$         | ( $5n + 1 \sim 6n$ ) |

表 2 トラック割当 $P_N(p_j)(W \geq 5)$ ,  $i := \lfloor (j - 1)/6 \rfloor$

| $j \bmod 6$ | $1 \leq j \leq 3n$  |                      | $3n + 1 \leq j \leq 6n$ |                      |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| 1           | $2n + 2i + 1$       | ( $2n + 1 \sim 3n$ ) | $3n - 2i$               | ( $n + 1 \sim 2n$ )  |
| 2           | $6n - 2i$           | ( $5n + 1 \sim 6n$ ) | $4n + 2i + 1$           | ( $5n + 1 \sim 6n$ ) |
| 3           | $n + 2i + 1$        | ( $n + 1 \sim 2n$ )  | $4n - 2i$               | ( $2n + 1 \sim 3n$ ) |
| 4           | $4n - 2i - 1$       | ( $3n + 1 \sim 4n$ ) | $3n + 2(i + 1)$         | ( $4n + 1 \sim 5n$ ) |
| 5           | $2(i + 1)$          | (1~ $n$ )            | $2n - 2i - 1$           | (1~ $n$ )            |
| 0           | $5n - 2(i + 1) + 1$ | ( $4n + 1 \sim 5n$ ) | $2n + 2(i + 1)$         | ( $3n + 1 \sim 4n$ ) |

端子からの配線は、トラック1\*において左方向へ長さ1の横線分を使用し、トラック $m^*$ において右方向へ長さ1の横線分を使用する。 $T_{3,L}$ は対称配線を実現する。スコアは0とする(図4(e)).

$T_{3,R}(m^*)$ では、ペア端子の縦トラックとその右側の2縦トラックを使用する。上側端子からの配線は、トラック1において右方向へ長さ1の横線分を使用し、トラック $m$ において左方向へ長さ1の横線分を使用する。下側端子からの配線はトラック1\*, $m^*$ において右方向へそれぞれ長さ1の横線分を使用する。 $T_{3,R}$ は対称配線を実現する。スコアは0とする(図4(f)).

複数のテンプレートが同じ縦トラックを使用できる場合がある。状態Sのテンプレート $T_0(m)$ は、チャンネル中央の区間 $(0, m + 1: (m + 1)^*)$ を使用しない。よって、区間 $(0, m + 1: (m + 1)^*)$ は左右のペア端子の配線に使用できる。状態Xのテンプレートは、使用する縦トラックすべてにおいて、チャンネル中央のトラック $3n, 3n^*$ を使用もしくは、囲い込む。よって、状態Xのテンプレートが使用する縦トラックは、他の状態Xのペア端子の配線に使用できない。複数のテンプレートが同じ縦トラックを使用する場合、状態Sと状態Xのテンプレートの組み合わせとなる。

テンプレートを組み合わせて使用できるための条件を示す。状態Xのペア端子の縦トラックのX座標を0としたとき、座標 $x$ においてテンプレート $T_0(h_x)$ が用いられており、その縦トラックで、区間 $(x, h_x + 1: (h_x + 1)^*)$ を使用できるとする(空端子の場合は $h_x = -1$ , 他の状態Xのテンプレートで使用されている場合は $h_x = \infty$ と考える.)。このときテンプレートの使用条件は、それぞれ次の通りである。

$$T_{1,L}(m^*) : h_{-1} \leq m - 2$$

$$T_{1,R}(m^*) : h_1 \leq m - 2$$

$$T_2(m^*) : h_{-1} \leq m - 1 \text{かつ} h_1 \leq m - 1$$

$$T_{3,L}(m^*) : h_{-1} = -1 \text{かつ} h_{-2} \leq m - 1$$

$$T_{3,R}(m^*) : h_1 = -1 \text{かつ} h_2 \leq m - 1$$

## 5. 2層チャンネル対称配線アルゴリズム

2層チャンネル対称配線問題に対する提案アルゴリズムを示す。入力端子列において、上側端子 $p_j$ と下側端子 $p_{6n-j+1}^*$ のネットは等しい( $N(p_j) = N(p_{6n-j+1}^*)$ ),

入力: トランジスタの種類数 $2n$

チャンネル領域上側の端子列 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{6n}$

トランジスタの幅 $W$  (3以上の奇数)

トランジスタの間隔 $l$  (自然数)

出力:  $P_N(p_j)$  (端子 $p_j$ の横幹線の横トラック番号)

$P_T(p_j)$  (ペア端子 $(p_j, p_j^*)$ で用いるテンプレート)

Step1. (トラック割当)

$W = 3$ の場合表1を参照,  $W \geq 5$ の場合表2を参照し,

$P_N(p_j)$  ( $1 \leq j \leq 6n$ )を決定する。ただし $i := \lfloor (j - 1)/6 \rfloor$ である。

Step2. (テンプレート選択)

$P_T(p_j)$ を $j = 1, 2, \dots, 6n$ の順に決定する。

$$P_N(p_j) \leq 3n \text{ ならば, } P_T(p_j) = T_0(P_N(p_j)) \text{ とする.}$$

$$P_N(p_j) > 3n \text{ ならば, } P_T(p_j) = T_b(P_N(p_j)) \text{ とする.}$$

( $T_b$ は使用条件を満たす優先順位 $T_{3,L}, T_2, T_{3,R}, T_{1,L}, T_{1,R}$ が最も高いテンプレート)

アルゴリズムは、Step1 ですべてのネットの横幹線に対しトラック割当を行い、Step2 でテンプレートを決定する。

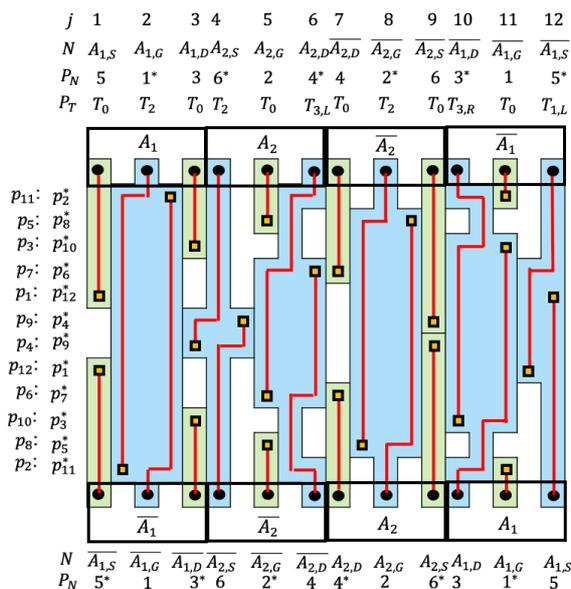
Step1 のトラック割当では、端子  $p_j$  と  $p_{6n-j+1}$  のトラック割当は対称性を満たし、 $P_N(p_j) + P_N(p_{6n-j+1}) = 6n + 1$  となる。横幹線は重複なく全トラックに割当てられる。端子列上で、ペア端子は、状態 S と状態 X が交互となる。チャンネルの横トラックを高さ  $n$  の 6 ブロックに分割したとき、隣接する端子の横幹線は 1 ブロック以上離れた横トラックに割当てられる (対称軸で隣り合う端子  $p_{3n}, p_{3n+1}$  を除く)。トランジスタ幅 3 の場合、各トランジスタの左端子の横幹線をチャンネル領域の最も外側に割当て、ゲート端子の横幹線を最も内側に割当てる。トランジスタ幅 5 以上の場合、各トランジスタの左端子の横幹線をチャンネル領域の最も内側に割当て、ゲート端子の横幹線を最も外側に割当てる。

Step2 では、各ペア端子のテンプレートを決定する。状態 S のペア端子には  $T_0$  を選択する。状態 X のペア端子に対しては、使用条件を満たすテンプレートの中から、対称性を損ねず、左縦トラックを優先して使用するよう  $T_{3,L}, T_2, T_{3,R}, T_{1,L}, T_{1,R}$  の順に選択する。

チャンネルの左右で、ソース端子とドレイン端子の位置が同一の場合は、表 1,2 と異なるトラック割当てで配線を実現できるが、本稿では省略する。

図 5,6 に配線結果の例を示す。図 5 では、トランジスタ幅 5 であり、表 2 によりトラックが割当てられる。ペア端子 ( $p_{12}, p_{12}^*$ ) に対してスコア -1 のテンプレート  $T_{1,L}$  が選択されるが、他のペア端子のテンプレートのスコアはすべて 0 である。図 6 では、トランジスタ幅 3 であり、表 1 によりトラックが割当てられる。

トランジスタ幅  $W \geq 7$  上のとき、状態 X のペア端子は独



$$(C_H = 6n = 12, C_W = 2w = 20, W = 5, I = 0)$$

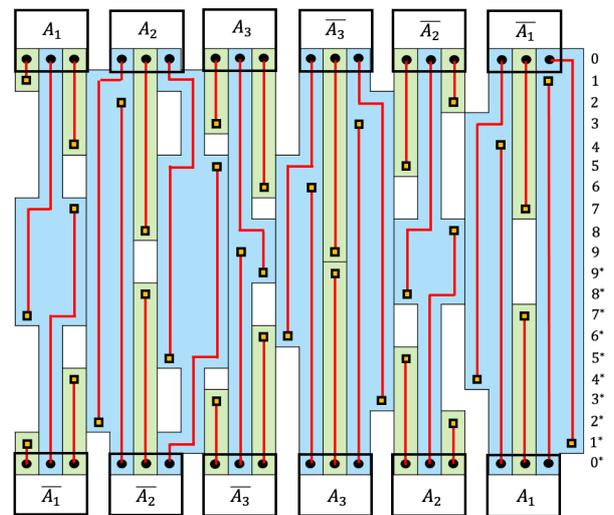
図 5 配線結果

立に 3 縦トラックを使用可能であり、テンプレートにより配線可能である。トラック幅  $W = 5$ 、トランジスタ間隔  $I \geq 1$  のときも同様に配線可能である。一方、トラック幅  $W = 3$ 、トランジスタ間隔  $I = 0$  のとき、十分な縦トラックが存在せず配線できない。以下では、 $W = 3, I = 1$  の場合、 $W = 5, I = 0$  の場合、テンプレートにより配線可能であることを示す。

テンプレートは、Step2 において端子配置 (トランジスタ幅、トランジスタ間隔)、トラック割当てと優先順位により選択される。結果としてテンプレートは周期的に選択される。2 トランジスタ、すなわち 6 端子を周期としたとき、対称軸より左の周期単位を  $U$ 、 $U$  と対をなす対称軸より右の周期単位を  $U^*$ 、対称軸を含む周期単位を  $U'$  とする。表 3, 表 4 に  $W = 3, I = 1$  の場合、 $W = 5, I = 0$  の場合に各周期単位で選択されるテンプレートを示す。端子  $p_{6k+1}, p_{6k+3}, p_{6k+5}$  は状態 S であり、テンプレート  $T_0$  が選択される。

$W = 3, I = 1$  の場合 (表 3) について考える。端子  $p_{6k+2}$  に対しては、 $P_N(p_{6k+1}) \leq P_N(p_{6k+2}) - 2$  であり、かつ  $P_N(p_{6k+3}) \leq P_N(p_{6k+2}) - 1$  であり、テンプレート  $T_2, T_{1,R}$  を選択できる。最初と周期単位  $U^*$  では左右の縦トラックを使用しテンプレート  $T_2$  を、それ以外では右の縦トラックを使用しテンプレート  $T_{1,R}$  が選択される。端子  $p_{6k+4}$  は左の空列を使用しテンプレート  $T_{1,L}$  が選択される。端子  $p_{6k+6}$  に対しては、右の空列を使用できる。また、 $P_N(p_{6k+7}) \leq P_N(p_{6k+6}) - 1$  であり、周期単位  $U$  の場合、最後を除き、右の空列と端子  $p_{6k+7}$  の縦トラックを使用しテンプレート  $T_{3,R}$  が選択される。それ以外では右の空列を使用しテンプレート  $T_{1,R}$  が選択される。以上から、すべての端子に対しテンプレートを選択できることが分かる。

$W = 5, I = 0$  の場合 (表 4) について考える。端子  $p_{6k+2}$  は、両側の空列を使用しテンプレート  $T_2$  が選択される。端子



$$(C_H = 6n = 18, C_W = 2w = 24, W = 3, I = 1)$$

図 6 配線結果

表 3 トラック，テンプレート割当 ( $W = 3, I = 1$ ),  $i := \lfloor (j - 1) / 6 \rfloor$

|       |            | $j \bmod 6$ |                    |              |                     |                     |                        |
|-------|------------|-------------|--------------------|--------------|---------------------|---------------------|------------------------|
|       |            | 1           | 2                  | 3            | 4                   | 5                   | 6                      |
| $U$   | $P_N(p_j)$ | $2i + 1$    | $4n - 2i$          | $n + 2i + 1$ | $6n - 2(i + 1) + 1$ | $2n + 2(i + 1)$     | $5n - 2(i + 1) + 1$    |
|       | $P_T(p_j)$ | $T_0$       | $T_2$<br>$T_{1,R}$ | $T_0$        | $T_{1,L}$           | $T_0$               | $T_{3,R}$<br>$T_{1,R}$ |
| $U'$  | $P_N(p_j)$ | $2i + 1$    | $4n - 2i$          | $n + 2i + 1$ | $3n + 2(i + 1)$     | $4n - 2(i + 1) + 1$ | $4n + 2(i + 1)$        |
|       | $P_T(p_j)$ | $T_0$       | $T_{1,R}$          | $T_0$        | $T_{1,L}$           | $T_0$               | $T_{1,R}$              |
| $U^*$ | $P_N(p_j)$ | $3n - 2i$   | $2n + 2i + 1$      | $2n - 2i$    | $3n + 2(i + 1)$     | $4n - 2(i + 1) + 1$ | $4n + 2(i + 1)$        |
|       | $P_T(p_j)$ | $T_0$       | $T_2$              | $T_0$        | $T_{1,L}$           | $T_0$               | $T_{1,R}$              |

表 4 トラック，テンプレート割当 ( $W = 5, I = 0$ ),  $i := \lfloor (j - 1) / 6 \rfloor$

|       |            | $j \bmod 6$   |               |              |                 |               |                     |
|-------|------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|---------------|---------------------|
|       |            | 1             | 2             | 3            | 4               | 5             | 6                   |
| $U$   | $P_N(p_j)$ | $2n + 2i + 1$ | $6n - 2i$     | $n + 2i + 1$ | $4n - 2i + 1$   | $2(i + 1)$    | $5n - 2(i + 1) + 1$ |
|       | $P_T(p_j)$ | $T_0$         | $T_2$         | $T_0$        | $T_2$           | $T_0$         | $T_{3,L}$           |
| $U'$  | $P_N(p_j)$ | $2n + 2i + 1$ | $6n - 2i$     | $n + 2i + 1$ | $3n + 2(i + 1)$ | $2n - 2i - 1$ | $2n + 2(i + 1)$     |
|       | $P_T(p_j)$ | $T_0$         | $T_2$         | $T_0$        | $T_{3,R}$       | $T_0$         | $T_2$               |
| $U^*$ | $P_N(p_j)$ | $3n - 2i$     | $4n + 2i + 1$ | $4n - 2i$    | $3n + 2(i + 1)$ | $2n - 2i - 1$ | $2n + 2(i + 1)$     |
|       | $P_T(p_j)$ | $T_0$         | $T_2$         | $T_0$        | $T_{3,R}$       | $T_0$         | $T_2$<br>$T_{1,L}$  |

$p_{6k+4}$  に対しては，周期単位  $U$  では  $P_N(p_{6k+3}) \leq P_N(p_{6k+4}) - 1$  であり，端子  $p_{6k+3}$  の縦トラックと右の空列を使用しテンプレート  $T_2$  が選択される．周期単位  $U', U^*$  では， $P_N(p_{6k+5}) \leq P_N(p_{6k+4}) - 1$  であり，右の空列と端子  $p_{6k+5}$  の縦トラックを使用しテンプレート  $T_{3,R}$  が選択される．端子  $p_{6k+6}$  に対しては，左の空列が利用できる．周期単位  $U$  では  $P_N(p_{6k+5}) \leq P_N(p_{6k+6}) - 1$  であり，端子  $p_{6k+5}$  の縦トラックと左の空列を利用しテンプレート  $T_{3,L}$  が選択される．周期単位  $U^*$  の最後は左の空列を使用しテンプレート  $T_{1,L}$  が選択される．それ以外では， $P_N(p_{6k+7}) \leq P_N(p_{6k+6}) - 1$  であり，左の空列と端子  $p_{6k+7}$  の縦トラックを使用しテンプレート  $T_2$  が選択される．以上から，すべての端子に対しテンプレートを選択できることが分かる．

## 6. まとめ

本研究では，相対精度が重要となるアナログ回路における対称的な配線パターンを得るために，コモンセントロイド

配置されているトランジスタ間のチャンネルに対するペア対称配線手法を提案した．ペア端子の配置の規則性により，トランジスタの種類が多い場合も，周期的に一定の対称性を持つ配線パターンが生成可能である．

今後の課題としては，トランジスタ幅が小さい入力に対してより対称的な配線パターンを得る手法，層間接続の信頼性向上のために層間配線接続にダブルビアを用いる場合への対応，複数段で構成される大規模なコモンセントロイド配置に対する多チャンネルを用いた配線，および，信号がペア毎に独立ではなく複数のペア端子に用いられるなど，より自由な接続要求に対する拡張が挙げられる．

## 参考文献

- 1) Borisov, V., Langner, K., Scheible, J., & Prautsch, B. (2017, June). A novel approach for automatic common-centroid pattern generation. In *2017 14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design (SMACD)* (pp. 1-4). IEEE.