

CMOS アナログ回路設計のためのパラメータ計算システムの開発

1220020 乾 沙羅 (回路工学研究室)

(指導教員 橋 昌良 教授)

1. はじめに

微細化、低電圧化された MOSFET の現段階での設計サイズの各種パラメータの値は、従来の古典的な 2 乗特性を用いた式から求めると大きな誤差が生じる。そこで、本研究では各種パラメータの値を 2 乗特性の式を利用せずに計算し、その計算値を利用して最終的には回路設計を行えるシステムを開発することを目指す。

2. 2 点間の線形近似と近似解

先行研究で実測値に基づいて作成された gm と λ を得るための回路設計表から、 gm と λ の傾きをまとめた、線形近似表を作成した。(表 2.1)

表 2.1 n チャネル MOSFET 回路の gm 線形近似表

W/L VGS	W 1.8μm L 180nm	W 3.6μm L 180nm	W 5.4μm L 180nm	W 7.2μm L 180nm	W 9.0μm L 180nm	W 10.8μm L 180nm	W 12.6μm L 180nm	W 14.4μm L 180nm	W 16.2μm L 180nm
0.3,0.4	0.402	1.496	1.961	4.222	3.383	10.646	5.002	7.935	6.660
0.4,0.5	3.444	9.960	15.503	19.921	23.718	20.098	35.915	34.596	42.210
0.5,0.6	11.166	28.354	33.478	48.852	52.924	66.405	83.516	107.918	111.256
0.6,0.7	8.907	19.658	31.913	48.471	54.876	66.324	69.014	119.577	204.443
0.7,0.8	10.452	4.940	24.089	17.963	31.230	77.658	78.057	10.340	-46.434
0.8,0.9	1.714	9.589	-0.968	4.999	23.695	-45.750	15.320	-36.521	-33.218
0.9,1	-2.650	-1.983	4.262	6.072	-41.295	3.150	-95.442	-44.149	-100.281
1.1,1	-1.540	-6.728	-16.368	-0.479	0.367	-8.724	-29.798	-24.986	10.634
1.1,1.2	-0.217	-9.716	-6.686	-42.730	9.012	-27.730	-0.440	15.299	-2.817
1.2,1.3	-2.625	1.051	3.582	-31.925	-37.174	4.813	-4.815	16.496	2.047
1.3,1.4	-3.516	-0.815	-10.259	24.636	7.383	-28.057	24.052	-15.090	38.072
1.4,1.5	-1.326	-9.356	-10.698	3.744	-8.902	13.717	-26.462	-16.768	-41.297
1.5,1.6	-0.684	2.666	-1.736	-8.671	-6.148	-45.732	14.371	-24.769	-20.126
1.6,1.7	-1.113	-7.845	-5.078	-3.253	-8.057	27.604	-41.779	-17.772	6.424
1.7,1.8	-2.107	-3.379	-5.414	-11.645	-17.390	-19.024	-8.687	-9.628	-10.431

回路設計表、線形近似表を元に、近似解を求めるプログラムを作成した。作成したプログラムは以下の 3 つである。

- ゲート-ソース間電圧 V_{GS} から相互コンダクタンス gm
- ドレイン-ソース間電圧 V_{DS} から出力抵抗 rds
- 相互コンダクタンス gm 、出力抵抗 rds から電圧利得 $Gain$

3 つめの、増幅利得 $Gain$ を求めるプログラムの一部と実行結果を図 2.1 に示す。

```

26 loop = 0
27 for i in range (16):
28     vgs_temp = loop * 0.1 + 0.3
29     if vgs >= vgs_temp and vgs < vgs_temp + 0.1:
30         a = vgs - vgs_temp
31         gm = gm_slope[loop] * a + gm_intercept[loop]
32         gm = round(gm,3)
33         print("gm")
34         print(gm)
35     loop = loop + 1
36
37 loop = 0
38 for i in range (17):
39     vds_temp = loop * 0.1 + 0.1
40     if vds >= vds_temp and vds < vds_temp + 0.1:
41         a = vds - vds_temp
42         rds = rds_slope[loop] * a + rds_intercept[loop]
43         rds = round(rds,3)
44         print("rds")
45         print(rds)
46     loop = loop + 1
47
48 gain = gm * (R * rds / (rds + R))
49 gain = round(gain,4)
    
```

```

input W
1.8
input vgs, vds, R
vgs
1.23
vds
1.70
R
5000

output gm, rds, gain
gm
3.097
rds
5.172
gain
16.0011
    
```

図 2.1 増幅利得 $Gain$ を求めるプログラムの一部 (左) と実行結果 (右)

このプログラムは、 gm 、 rds を、回路設計表を y 切片とバイアス値、線形近似の表を傾きとした一次方程式で求め、増幅利得を求める式 (式 (2.1)) を利用して作成している。

$$Gain = gm \frac{Rrds}{rds + R} \quad (2.1)$$

実行結果は、ゲート幅 W 、 V_{GS} 、 V_{DS} 、負荷抵抗 R を入力したとき、 gm 、 rds 、 $Gain$ が出力され、出力結果が複数個存在するとき、すべて出力される。

3. 各種パラメータ算出

近似解や電圧利得からパラメータを算出する以下のプログラムを作成した。

- 相互コンダクタンス gm からゲート-ソース間電圧 V_{GS}
- 出力抵抗 rds からドレイン-ソース間電圧 V_{DS}
- 電圧利得 $Gain$ 、出力抵抗 rds から相互コンダクタンス gm
- 電圧利得 $Gain$ 、相互コンダクタンス gm から出力抵抗 rds

4. gm 最大値

回路設計において電圧利得が大きくなるパラメータ決定が必要となり、より大きな電圧利得を得るには大きな gm が必要である。そこで、 V_{GS} を 0.001V ずつ増加させた場合の V_{GS} と gm の関係をグラフにまとめた。(図 4.1)

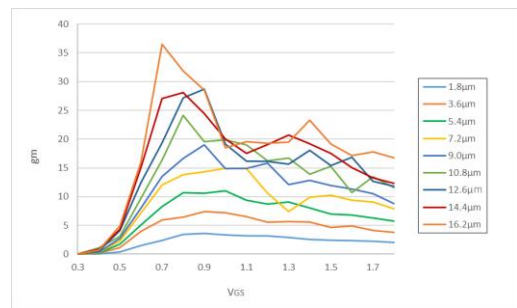


図 4.1 V_{GS} と gm の関係

ゲート幅 W が増加するほど gm は増加していることがわかる。さらに、ゲート幅 W と相互コンダクタンス gm の最大値の関係を表すグラフを図 4.2 にまとめた。

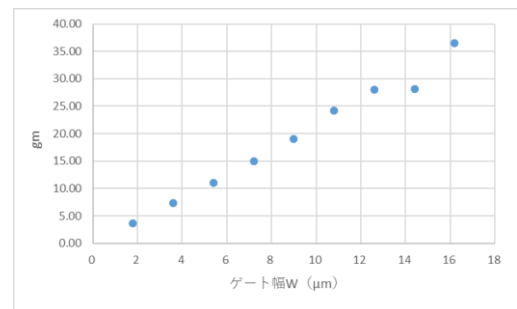


図 4.2 ゲート幅 W と相互コンダクタンス gm の関係

ゲート幅 W が増加すると、比例するように相互コンダクタンス gm が増加していることがわかる。しかし、本研究ではゲート幅 16.2 μm までの実測値で、近似解やそれに基づくプログラムを作成したため、ゲート幅 16.2 μm 以上のゲート幅で相互コンダクタンス gm の値がどのように変化するかは測定できなかった。

5. まとめ

n チャネル MOSFET の実測データに基づいた各種パラメータから電圧利得の算出、その逆の、電圧利得から各種パラメータの算出を行うプログラムを作成した。また、相互インダクタンス gm の最大値を算出した。

今後は、ゲート幅 W の測定範囲の見直しと、p チャネル MOSFET での実測を成功させ、ソース接地回路や、そのほかのアナログ回路で各種パラメータを算出するプログラム作成を行いたい。