

LC 共振器における MOSFET の抵抗成分を考慮した等価並列抵抗の見積もり

Estimation for Equivalent Parallel Resistance of LC Oscillators Including Resistance Components of MOSFETs

上村 晋一郎¹ 橋本 昌宜² 小野寺 秀俊¹
Shinichiro UEMURA Masanori HASHIMOTO Hidetoshi ONODERA

¹ 京都大学情報学研究科通信情報システム専攻

² 大阪大学情報科学研究科 情報システム工学専攻

¹Dept. CCE, Kyoto University, ²Dept. ISE, Osaka University

1 はじめに

LC 共振器は、無線通信回路内で重要なブロックのひとつである。今後、無線通信システムの高周波化に伴い、数十 GHz で発振する共振器の設計が要求され、正確にその特性を見積もる必要がある。LC 共振器の等価並列抵抗は、位相雑音や発振振幅などの共振器の特性を見積もる上で重要なパラメータであり、正確な見積もりが必要である。数 GHz の周波数では、等価並列抵抗はスパイラルインダクタやバラクタの特性から導くことができる [1]。しかし、10GHz を越える周波数においては、共振器の負性抵抗を形成する MOS トランジスタの抵抗成分が無視できなくなる。本研究では、MOS トランジスタの寄生成分を考慮した等価並列抵抗の見積もりについて示し、実測結果と比較を行う。MOS の抵抗成分を考慮することにより、10GHz 以上の周波数で見積もり精度を上げることができた。

2 等価並列抵抗の見積もり

図 1 に、検討する共振器の回路図とその等価回路を示す。インダクタの直列抵抗を R_s 、インダクタンス値を L_{total} 、バラクタの直列抵抗を R_d 、可変容量値を C_d 、共振周波数を ω_0 とする。インダクタと可変容量のそれぞれの等価並列抵抗 R_{sind} と R_{dvar} は、 $R_{sind} \approx \frac{(\omega_0 L_{total})^2}{R_s}$ 、 $R_{dvar} \approx \frac{1}{R_d(\omega_0 C_d)^2}$ と表わせる [1]。よって共振回路の等価並列抵抗 R_p は、

$$R_p = R_{sind} \parallel R_{dvar} \quad (1)$$

となる。

発振周波数が高くなると、負性抵抗を形成する NMOS トランジスタの容量の占める割合が大きくなり、MOS トランジスタのゲート抵抗による損失が無視できなくなる。周波数が高いほど、容量成分の影響が大きくなるので、MOS トランジスタの等価並列抵抗も考慮する必要がある。NMOS トランジスタのゲート抵抗を R_g 、容量を C_{nMOS} とすると、MOS トランジスタの等価並列抵抗 R_{nMOS} は、 $R_{nMOS} \approx \frac{1}{R_g(\omega_0 C_{nMOS})^2}$ となる。信号を観測するための PMOS バッファの等価並列抵抗も考慮すると共振器の R_p は以下のように求まる。

$$R_p = R_{sind} \parallel R_{dvar} \parallel R_{nMOS} \parallel R_{pMOS} \quad (2)$$

3 測定結果との比較

実測では、0.18 μ m CMOS プロセスで試作した共振器のテール電流を制御し、共振器の発振が停止する時のトランジスタの g_m から R_p を測定する [2]。表 1 に試作、測定した共振器の発振周波数と搭載したインダクタのインダクタンス値とバラクタの容量値を示す。さらに、測定

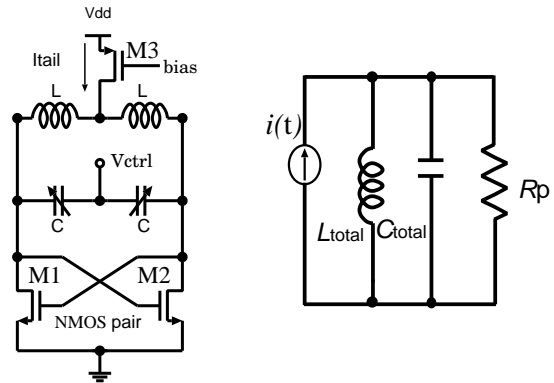


図 1: CMOS LC 共振器の回路図と等価回路

表 1: 各共振器における R_p の実測と見積もりの比較

周波数 (GHz)	1.6	4	10	17	23
L_{total} (nH)	3.2	0.90	0.47	0.26	0.20
C_d (pF)@ $V_c=0.2V$	2.1	0.76	0.12	0.07	0
MOS 容量の割合 (%)	22	41	60	71	80
R_p (測定結果)[Ω]	82	79	110	97	67
R_p (式. (1)より)[Ω]	83	80	138	131	146
誤差 (%)	1.2	1.3	25	35	118
R_p (式. (2)より)[Ω]	82	78	117	90	70
誤差 (%)	0	-1.3	6.4	-7.2	4.4

で得られた共振器の R_p と見積もりとの比較を示す。表 1 より、MOS トランジスタの影響を考慮しないと、周波数が増加するにつれ誤差が大きくなることを示している。一方、MOS トランジスタを考慮した場合、全共振器において実測との誤差 8%以内で R_p が見積もれた。

4 まとめ

本研究では、インダクタとバラクタのみを考慮した等価並列抵抗の見積もりと MOS トランジスタの寄生成分を考慮した等価並列抵抗の見積もりについて示した。実測結果と比較を行なうと、インダクタとバラクタのみを考慮した場合、数 GHz の周波数では実測に近い値が見積もれたが、10GHz 以上の周波数では、誤差が大きくなった。MOS トランジスタの並列抵抗を考慮することによって、10GHz 以上の周波数で精度を上げることができた。

参考文献

- [1] B. Razavi, "Design of analog CMOS integrated circuits," McGraw-Hill, Chap. 14, 2001.
[2] B. Razavi, "CMOS Technology Characterization for Analog and RF Design," JSSC, pp. 268-276, 1999.