

1. Q の測定対象

コイルやキャパシタの良さを表す Q の本来の意味は「蓄えられたエネルギーと 1 サイクル当たりのエネルギーの損失の比」と定義されます。エネルギーを損なうのはコイルやキャパシタのリアクタンス分 X_l または X_c ではなく、そこに寄生する直列抵抗分 R_s または並列抵抗分 R_p です。しかし、その値を電気的に直接測定するのは難しいので、コイルやキャパシタを直列または並列に接続した回路を共振状態にして Q_u を測定します。通常ではキャパシタの Q はコイルのそれに比べて極めて大きいので、コイルの Q はほぼ Q_u とみなすことができます。

具体的なコイルの Q 測定法は、従来から用いられている Q メータで使われている電圧上昇法があります。ここでは被測定コイルと内蔵可変キャパシタを直列共振させて、キャパシタの両端電圧と信号源電圧の比を求めて Q とします。ただし、測定確度を良くするために信号源の抵抗分を極めて低い値 (0.02~0.1Ω) に抑える必要があり、そのための分圧と高周波電圧計の入力抵抗が測定精度と測定範囲を決める要素となります。この測定法は、直列共振の動作原理をそのまま応用しており Q が直読できる単純さと簡便さが長所ですが、 $Q = 500$ 以上や UHF 以上では測定精度が低下します。

自分で Q メータを持っていないので自作を考えましたが、(1) ありきたりの回路では面白くないので、従来の Q メータと異なる回路とする (2) 50MHz までの $Q = 1,000$ 以下を測定対象とする (3) Q 直読にこだわらないを設計目標として、回路形式を検討することにしました。

まず測定対象物の物理量を考えます。 Q_s および Q_p は次式で表されます。

$$Q_s = \frac{X_l}{R_s} \quad Q_p = \frac{R_p}{X_l}$$

直列素子の場合の $X_l = 100\Omega$ とすると、 $Q_s = 1,000$ では $R_s = 0.1\Omega$ 、 $Q_s = 100$ では $R_s = 1\Omega$ の範囲にあります。並列素子の場合も $X_l = 100\Omega$ とすると、 $Q_p = 1,000$ では $R_p = 100k\Omega$ 、 $Q_p = 100$ では $R_p = 10k\Omega$ の範囲です。

0.1 から 1Ω を扱うのは難しいですが、 $10k \sim 100k\Omega$ ならば処理しやすいので、前記の設計目標が達成できそうです。具体的な測定法の設計は第 3 項で述べます。

2. Q の測定環境

ここでいう測定環境とは、被測定コイルの置かれている状態です。比較的 Q が低くかつ測定周波数が HF 帯以下の場合は、コイル単体を Q メータで計測することができます。

しかし、極めて高選択度が期待される用途 (例えばプリセクタ、バンドエリミネーションフィルタなど) に使われているコイルや測定周波数が VHF 帯以上などの十分なシールドを施す必要がある回路では、入出力インピーダンスを含めて実装状態で測定するのが適当です。この場合には、出力レベル 3dB 低下法によるのが適当です。

3. 並列共振による Q メータ (RF 抵抗計算法)

前々項で述べたように、並列共振回路の共振時の抵抗 R_p は $k\Omega$ オーダーですから、この値は 50Ω 系の信号源を使っても容易に扱えます。

RF 抵抗法は筆者の独創によるもので、測定原理は信号源とレベル計の間に並列共振回路の DUT を挿入し、その等価抵抗によるレベル低下を求めるものです。図 1 のように接続します。

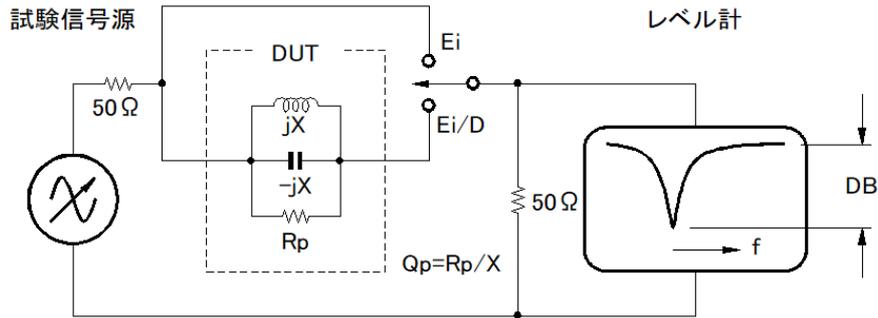


図 1: RF 抵抗計算による Q 測定法の原理

レベルの測定には SSG とスペクトラムアナライザ、高周波レベル計の組み合わせ、またはネットワークアナライザが使えます。仮に DUT の入出力間に容量結合があっても、それは共振角周波数 ω_0 を低下させるのみで、Q 測定精度には影響しません。

測定の実務は、損失レベルから並列共振回路の RF 抵抗を計算し、その結果と X から Q 値を計算で求めます。

数値的根拠を調べましょう。SSG とレベル計が直結されている場合のレベルは $E_i = E_0/2$ であり、これを基準レベルとします。DUT を挿入すると E_0 は信号源の出力抵抗 (R_0 公称 50Ω) と DUT の R_p およびレベル計の入力抵抗 R_i 公称 50Ω で分圧されますから、共振状態でのレベル計が読み取るレベル E_i は

$$E_i = \frac{R_i}{R_0 + R_p + R_i} E_0 = \frac{50}{100 + R_p} E_0 \quad (1)$$

基準レベルと E_i の比 D をとると

$$D = \frac{E_0}{2} / E_i = 1 + \frac{R_p}{100} \quad (2)$$

したがって R_p は

$$R_p = 100(D - 1) \quad (3)$$

なお、並列共振回路では次の関係定義があります。

$$Q_p = \frac{R_p}{X_i \text{ または } X_c} \quad (4)$$

レベル計が電力表示である場合には、 Q_p は次式からもとめられます。

$$Q_p = \frac{100(10^{DB/20} - 1)}{X_i \text{ または } X_c} \quad \text{ただし、} DB \text{ は基準レベルからの減衰 (dB)} \quad (5)$$

DB 減衰量から Q_p を知るための早見表を表 1 に示します。なお、 X は代表的な値を掲載しましたが、任意の X に対しては式 5 から計算します。

表 1: 減衰量 DB(dB) から共振回路の Q を知る早見表 (RF 抵抗法)

DB (dB)	参考		$Q_p = R_p/X$				
	D	R_p	$X = 100\Omega$	$X = 200\Omega$	$X = 300\Omega$	$X = 400\Omega$	$X = 500\Omega$
10	3	216	2	1	1	1	0
20	10	900	9	5	3	2	2
30	32	3062	31	15	10	8	6
40	100	9900	99	50	33	25	20
41	112	11120	111	56	37	28	22
42	126	12489	125	62	42	31	25
43	141	14025	140	70	47	35	28
44	158	15749	157	79	52	39	31
45	178	17683	177	88	59	44	35
46	200	19853	199	99	66	50	40
47	224	22287	223	111	74	56	45
48	251	25019	250	125	83	63	50
49	282	28084	281	140	94	70	56
50	316	31523	315	158	105	79	63
51	355	35381	354	177	118	88	71
52	398	39711	397	199	132	99	79
53	447	44568	446	223	149	111	89
54	501	50019	500	250	167	125	100
55	562	56134	561	281	187	140	112
56	631	62996	630	315	210	157	126
57	708	70695	707	353	236	177	141
58	794	79333	793	397	264	198	159
59	891	89025	890	445	297	223	178
60	1000	99900	999	500	333	250	200
61	1122	112102	1121	561	374	280	224
62	1259	125793	1258	629	419	314	252
63	1413	141154	1412	706	471	353	282
64	1585	158389	1584	792	528	396	317
65	1778	177728	1777	889	592	444	355
66	1995	199426	1994	997	665	499	399
67	2239	223772	2238	1119	749	559	448
68	2512	251089	2511	1255	837	628	502
69	2818	281738	2817	1409	939	704	563
70	3162	316128	3161	1581	1054	790	632