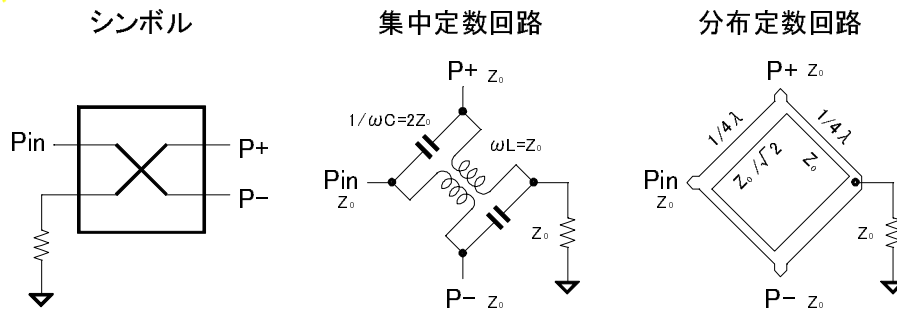


本稿では、イメージ除去ミキサを構成するためのヒルベルト変換器への、QHC の適用を検討する。

1. 回路の構成

一般に Quadrature Hybrid Coupler(QHC) と称される下図の回路は、その形状または機能からリング結合器またはブランチ回路あるいは 3dB 結合器とも呼ばれる。



この回路は次の二つの特徴を持つ。第一に、回路は設計周波数において整合しており、対角にあるポート間には分離されているので、 P_{in} の信号は終端抵抗には現れず全てが $P+$ および $P-$ に等しい電力比で分配される。したがって、 P_{in} と $P+$ 間および P_{in} と $P-$ 間には 3dB の減衰があり、これが 3dB 結合器の名前の由来である。第二に、 $P+$ と $P-$ の信号は P_{in} を基準として位相が $+45^\circ$ と -45° となる。つまり、 $P-$ と P_{in} 間では、 90° の移相が行われる。

この二つの性質を利用して、単純な素子と簡単な回路で RF または IF のヒルベルト変換器が構成でき、イメージ除去ミキサに用いてその性能向上が期待できる。

QHC の応用としては信号分配器のほかに、わざと平衡をくずして使う可変分配器・負荷切換器などが考案されている。(山村英穂著「トロイダル・コア 活用百科」CQ 出版社 p370)

基本の集中定数回路ではバイファイラー巻きの密結合コイルであるが、これを疎結合として広帯域化を図っている例もある。(「超小型 90° カップラ」NEC 技報 No.5/1981 pp71-72)

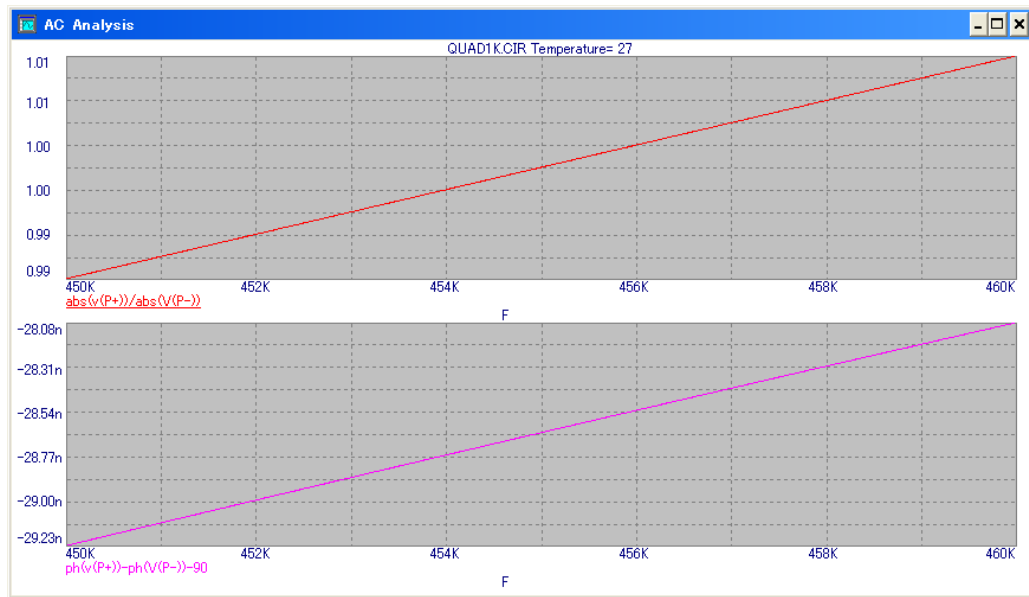
2. ポート間における振幅および移相の偏差

イメージ除去ミキサへの実用では、広帯域にわたって 90° 移相が行われかつ $P+$ と $P-$ の振幅差がないことが望まれる。そこで、集中定数回路を IF 段で使用する場合、SPICE を用いてシミュレーションしてみる。

設計は、 $f = 455kHz$ $Z_0 = 1k$ $\omega L = Z_0$ $1/\omega C = 2Z_0$ として、部品定数を $L = 0.35mH$ $C = 175pF$ にとっている。

次ページの図の上段が $P+$ 点と $P-$ ポートにおける信号振幅の比を、下段が $P+$ 点と $P-$ ポート間の信号位相の 90° からの偏差を示している。設計周波数である $455kHz$ では、振幅が両ポート間で良く平衡し移相も極めて良好に行われている。しかし、 $450kHz$ から $460kHz$ の間の広い周波数帯でみると、振幅平衡度が最大 $\pm 1\%$ になるので、利用限界を考慮しなければならない。一方、移相については、僅かに $-3^\circ/10^8$ 程度の偏差であり、かなり広帯域性があることが分かる。

なお、上記の性能を発揮するためには、 $P+$ および $P-$ ポートに接続する負荷は、リアクタンス分がないように注意したい。



3. 平衡度が不要サイドバンド抑圧に及ぼす影響

ローカル信号の振幅および位相差が正規であると仮定して、イメージ除去ミキサにおける不要サイドバンド抑圧比 D は、各ポートの信号振幅を A および B 、移相誤差を Δ として、次式で表される。（「Proceeding of the IRE, SINGLE SIDEBAND ISSUE」p56）

$$D = \sqrt{\frac{A^2 + B^2 - 2AB \cos \Delta}{A^2 + B^2 + 2AB \cos \Delta}}$$

いま、振幅の不均衡度 $\alpha = A/B$ で表し、前記の QHC の性能から $\Delta = 0$ とみなすと、 D は次式となる。

$$D = \sqrt{\frac{\alpha^2 + 1 - 2\alpha}{\alpha^2 + 1 + 2\alpha}}$$

式を変形すると、次式が得られる。

$$D = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}$$

これに、前記の QHC の場合の振幅不均衡度 $\alpha = 1.01$ を代入すると、 $D = 4.975 \times 10^{-3}$ となり、 $-46dB$ 以上のイメージ抑圧ミキシングが $450kHz$ から $460kHz$ の広帯域で実現する。

参考までに、振幅に偏差がある場合と同じ不要サイドバンド抑圧比となる移相偏差 δ は、 $A = B$ と仮定して、次式で与えられる。

$$\delta = \cos^{-1} \frac{1 - \alpha^2}{1 + \alpha^2}$$

したがって、 $\alpha = 1.01$ の場合と、 $\delta = 0.57^\circ$ の場合の不要サイドバンド抑圧比は、同じ値となる。両者の効き目を念頭において評価すると良い。このことを QHC に適用すると、主として振幅の偏差に注意すれば良く移相の偏差は十分な性能を持っていると言える。

以上