

信号的调制与解调

胡浩基

2022.04.08

频域的应用 – 调制与解调

一、信号的调制（发送端）

原信号： $x(t)$

载波信号： $\cos(\omega_c t)$ ，其中 ω_c 叫做载波频率，收音机或电视机的每一个频道，都有一个对应的载波频率。

传输信号： $y(t) = x(t)\cos(\omega_c t)$

二、信号的解调（接收端）

在接收端，首先获得 $y(t) = x(t)\cos(\omega_c t)$ ，然后将 $y(t)$ 乘以载波，获得 $z(t)$ 。

$$z(t) = y(t)\cos(\omega_c t) = x(t)\cos^2(\omega_c t) = \frac{1}{2}x(t) - \frac{1}{2}\cos(2\omega_c t)$$

频域的应用 – 调制与解调

一、信号的调制（发送端）

原信号： $x(t)$

载波信号： $\cos(\omega_c t)$ ，其中 ω_c 叫做载波频率，收音机或电视机的每一个频道，都有一个对应的载波频率。

传输信号： $y(t) = x(t)\cos(\omega_c t)$

二、信号的解调（接收端）

在接收端，首先获得 $y(t) = x(t)\cos(\omega_c t)$ ，然后我们将 $y(t)$ 乘以载波，获得 $z(t)$ 。

$$z(t) = y(t)\cos(\omega_c t) = x(t)\cos^2(\omega_c t) = \frac{1}{2}x(t) - \frac{1}{2}\cos(2\omega_c t)$$

最后，将 $z(t)$ 送入低通滤波器，得到输出为 $\frac{1}{2}x(t)$ ，再线性扩大两倍，获得原来信号。

这是高频分量，经过低通滤波器后被滤掉

频域的应用 – 调制与解调

请思考：为什么不直接传输 $x(t)$ ？

频域的应用 – 调制与解调

请思考：为什么不直接传输 $x(t)$ ？

答案：因为我们希望 **频分复用**。

假设我们要**同时传输**两个信号 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ ，我们如何做呢？

频域的应用 – 调制与解调

一、信号的调制（发送端）

原信号： $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$

载波信号： $\cos(\omega_{c1}t)$ 和 $\cos(\omega_{c2}t)$ 。（我们经常听到收音机中说，调频多少兆赫，说的就是不同的 ω_c ）

传输信号： $y(t) = x_1(t)\cos(\omega_{c1}t) + x_2(t)\cos(\omega_{c2}t)$

二、信号的解调（接收端）

在接收端，如果你想接收 $x_1(t)$ ，你需要把收音机的载波频率调到 ω_{c1} ，即将 $y(t)$ 乘以 $\cos(\omega_{c1}t)$ ，获得 $z(t)$ 。

$$\begin{aligned} z(t) &= y(t)\cos(\omega_{c1}t) = x_1(t)\cos^2(\omega_{c1}t) + x_2(t)\cos(\omega_{c1}t)\cos(\omega_{c2}t) \\ &= \frac{1}{2}x_1(t) - \frac{1}{2}\cos(2\omega_{c1}t) + \frac{1}{2}[\cos(\omega_{c1} + \omega_{c2})t + \cos(\omega_{c1} - \omega_{c2})t] \end{aligned}$$

频域的应用 – 调制与解调

(接上页)

高频分量被低通
滤波器滤掉

高频分量被低通
滤波器滤掉

$$\begin{aligned} z(t) &= y(t)\cos(\omega_{c1}t) = x_1(t)\cos^2(\omega_{c1}t) + x_2(t)\cos(\omega_{c1}t)\cos(\omega_{c2}t) \\ &= \frac{1}{2}x_1(t) - \frac{1}{2}\cos(2\omega_{c1}t) + \frac{1}{2}[\cos(\omega_{c1} + \omega_{c2})t + \cos(\omega_{c1} - \omega_{c2})t] \end{aligned}$$

如果 $|\omega_{c1} - \omega_{c2}|$ 足够大，那么上式中的后面几项都是高频分量，经过低通滤波器后，它们都会被滤掉，最后只剩下 $\frac{1}{2}x_1(t)$ 。最后我们将信号线性扩大2倍，得到 $x_2(t)$ 。

频域的应用 – 调制与解调

幅度调制: $y(t) = x(t) \cdot c(t)$

一般将载有信息的 $x(t)$ 信号称为调制信号, $c(t)$ 称为载波信号, 一般为高频周期信号或正弦波信号。

广泛利用正弦载波幅度调制有两个基本的原因:

- $\cos \omega_s t$ 信号与任意信号相乘具有频谱搬移功能, 可以将有用信号搬移到适当的频段上。
- 为了充分利用信道的频率资源, 可以利用正弦载波幅度调制的频谱搬移功能, 在同一信道上传输多路已调信号, 从而实现多路信号的同时通信, 即频分复用。

频域的应用 – 调制与解调

双边带正弦载波幅度调制是指载波为等幅的正弦波。

此时已调信号 $y(t)$ 为 $y(t) = x(t) \cos \omega_c t$

$$C(j\omega) = \pi[\delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c)]$$

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * C(j\omega)$$

$$= \frac{1}{2} [X(j(\omega - \omega_c)) + X(j(\omega + \omega_c))]$$

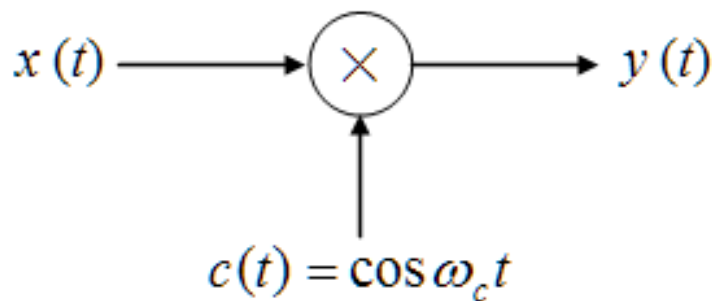


图5-31 正弦载波的幅度调制

频域的应用 – 调制与解调

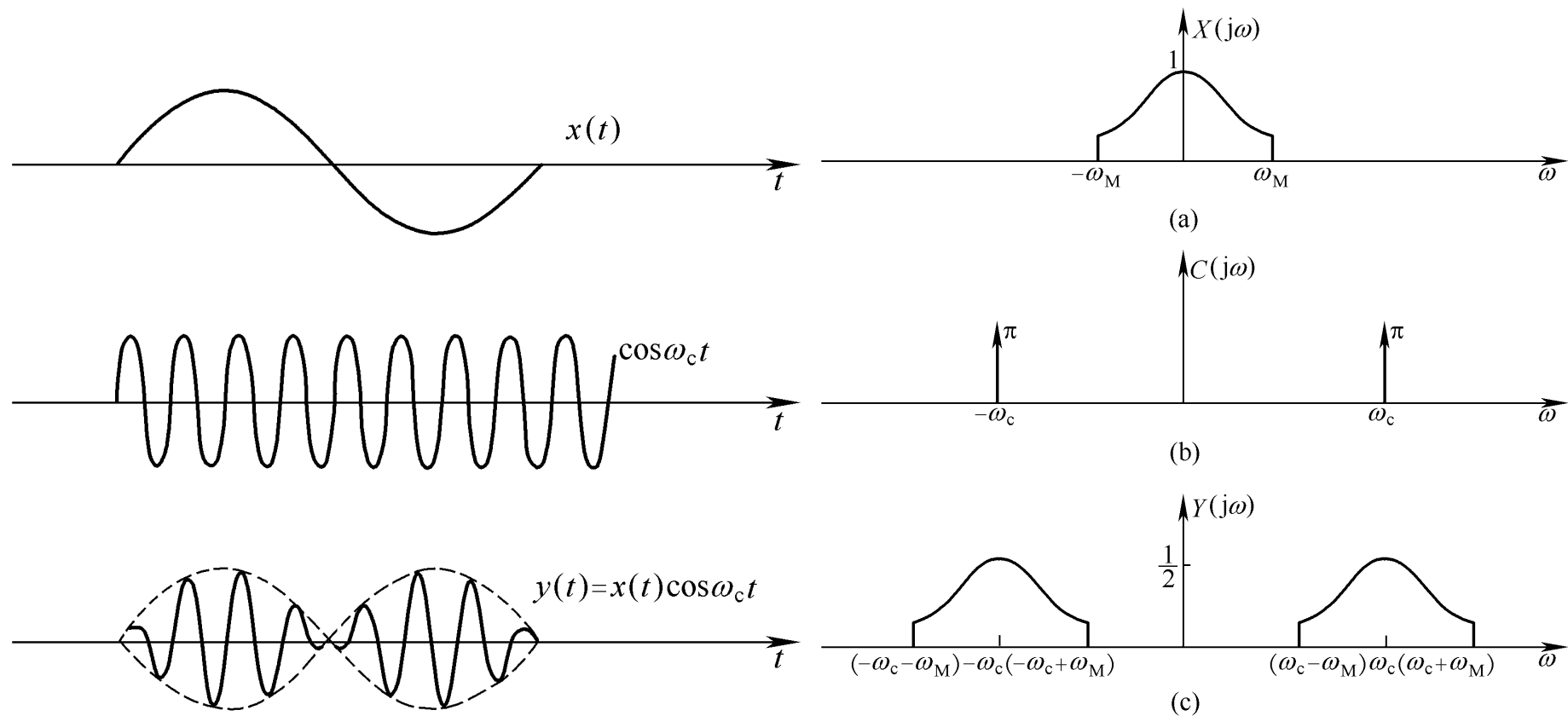


图5-32 DSB调制波形

图5-33 DSB调制的频谱说明

频域的应用 – 调制与解调

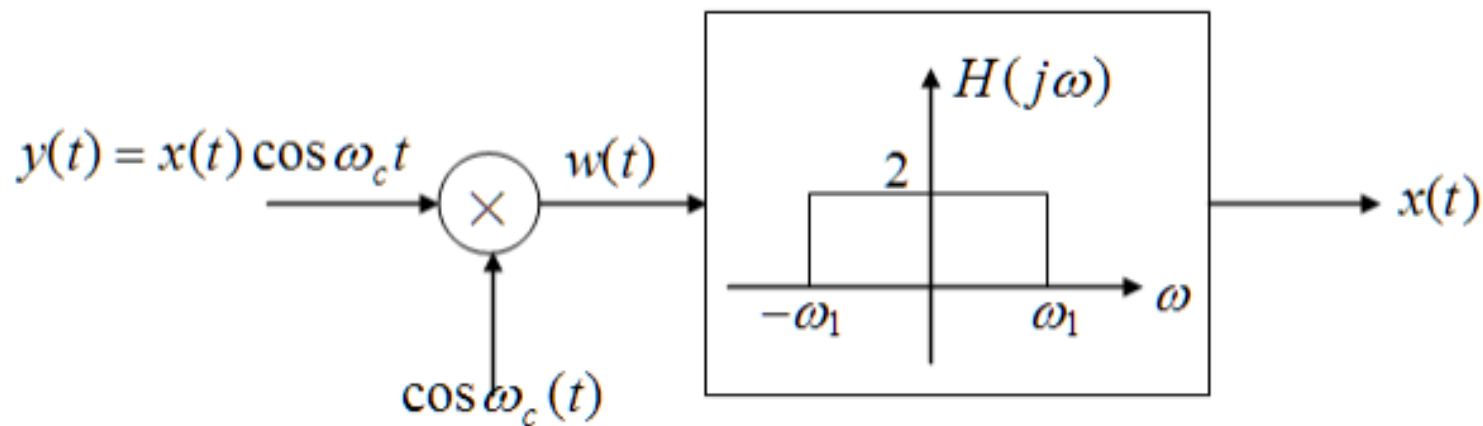
- 正弦载波幅度调制的主要功能是实现频谱搬移功能。
- DSB调制通常也称为抑制载波的正弦载波调制。
- DSB正弦载波幅度调制一般要满足：

载频 ω_c > 信号的最高频率 ω_M

通常 ω_c 要比 ω_M 大的多。

频域的应用 – 调制与解调

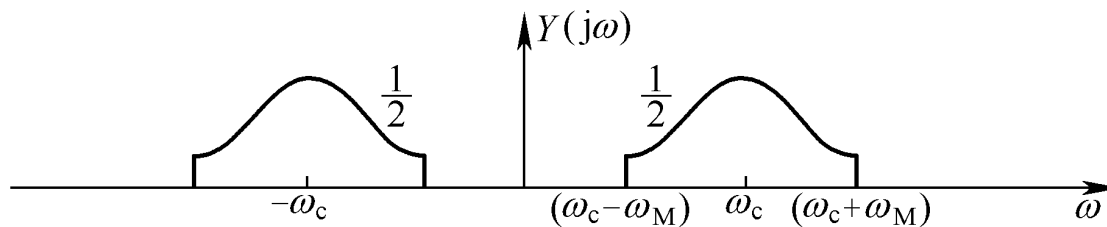
同步解调：通过对已调信号二次调制来恢复调制信号 $x(t)$ 。



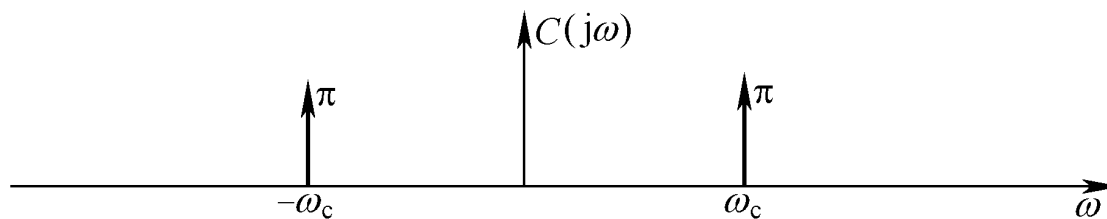
$$\text{其中, } w(t) = x(t) \cos^2 \omega_c t = \frac{1}{2} x(t) + \frac{1}{2} x(t) \cos 2\omega_c t$$

接收端的本地载波信号必须与发送端的载波同频同相。

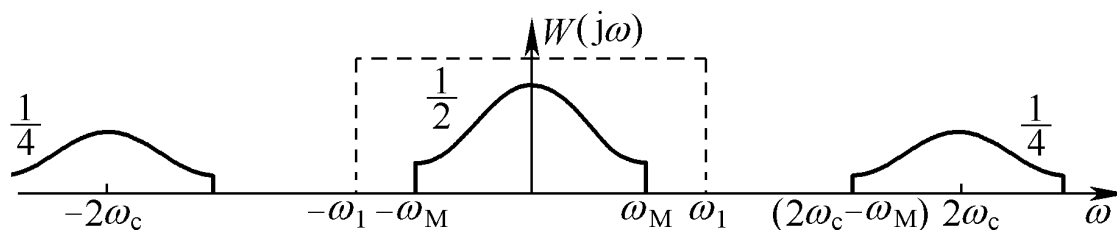
频域的应用 – 调制与解调



(a) 已调信号的频谱



(b) 载波信号的频谱



(c) 已调信号乘以载波后的频谱, 其中虚线表示用于提取调制信号 $x(t)$ 的低通滤波器的理想频率响应特性

频域的应用 – 调制与解调

频分复用：利用调制技术把不同信号的频谱分别搬移到不同的载频上，使这些已调信号的频谱不再重叠，在同一个宽带信道上同时传输不同的信号。

频域的应用 – 调制与解调

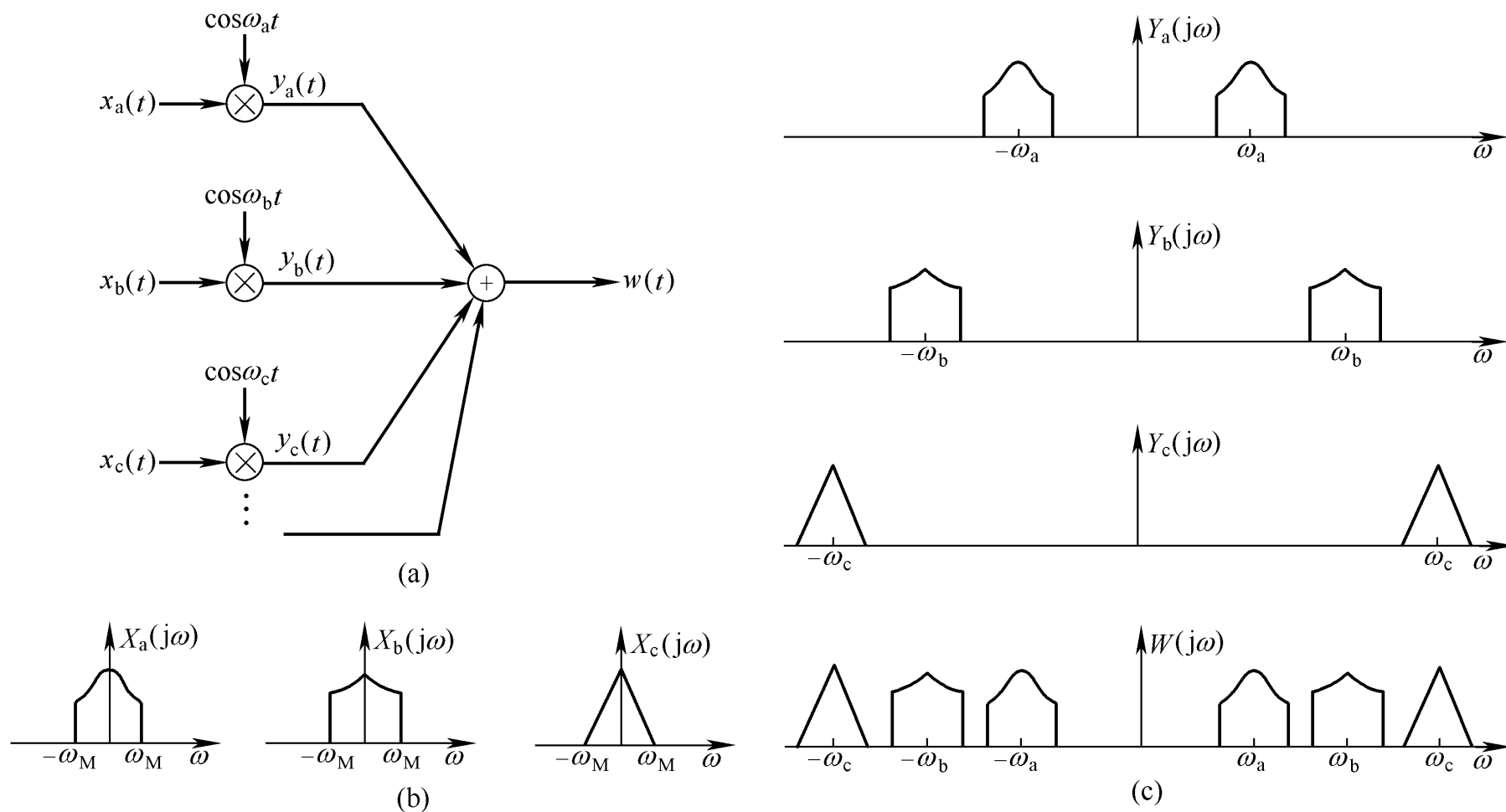


图5-36 频分多路复用

频域的应用 – 调制与解调

解调：

1. 利用带通滤波器进行解复, 从复用信道中选取所需要的信号;
2. 通过对已调信号二次调制来恢复调制信号。

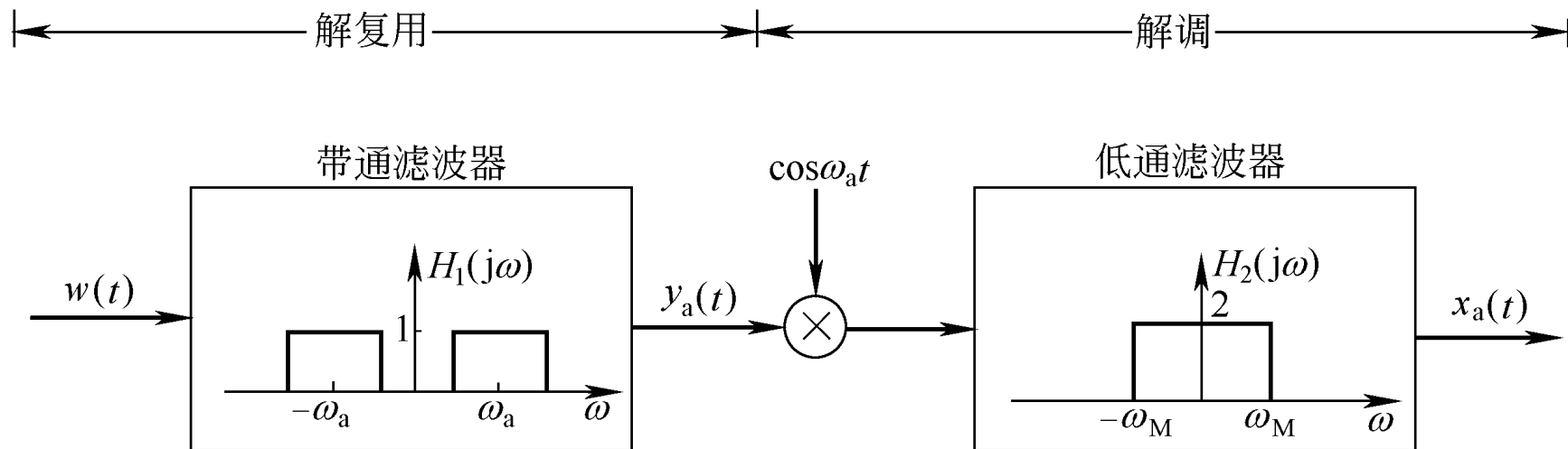
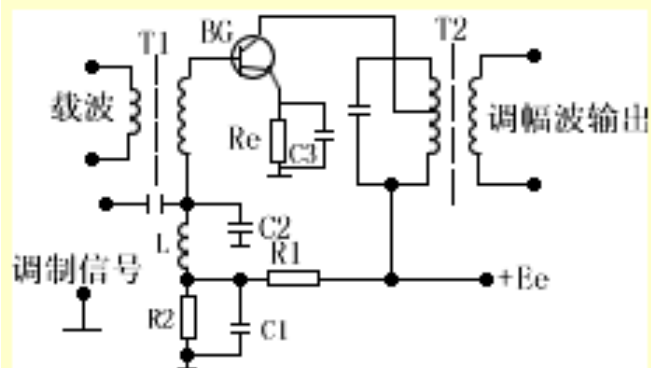
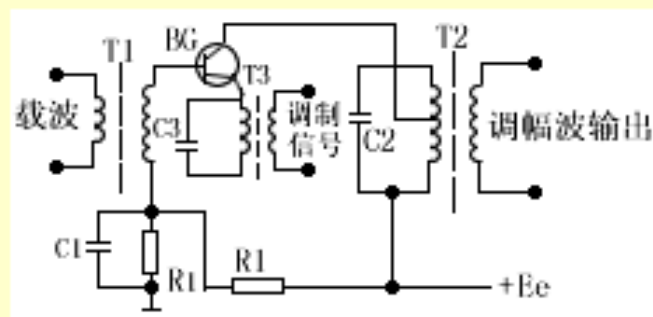


图5-37 某一路频分复用信号的解复与解调

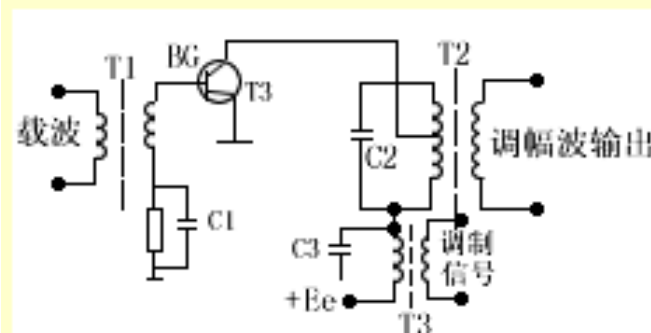
调制与解调电路



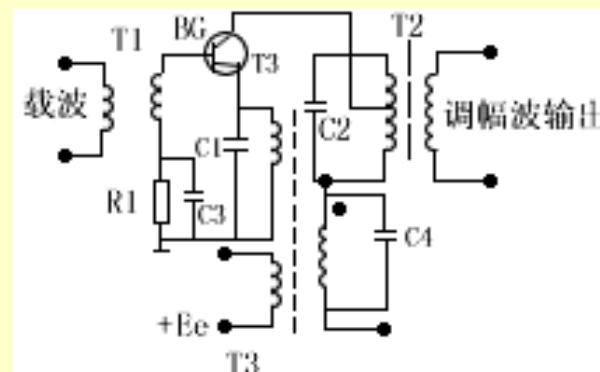
图一、基极调幅电路



图二、发射极调幅电路

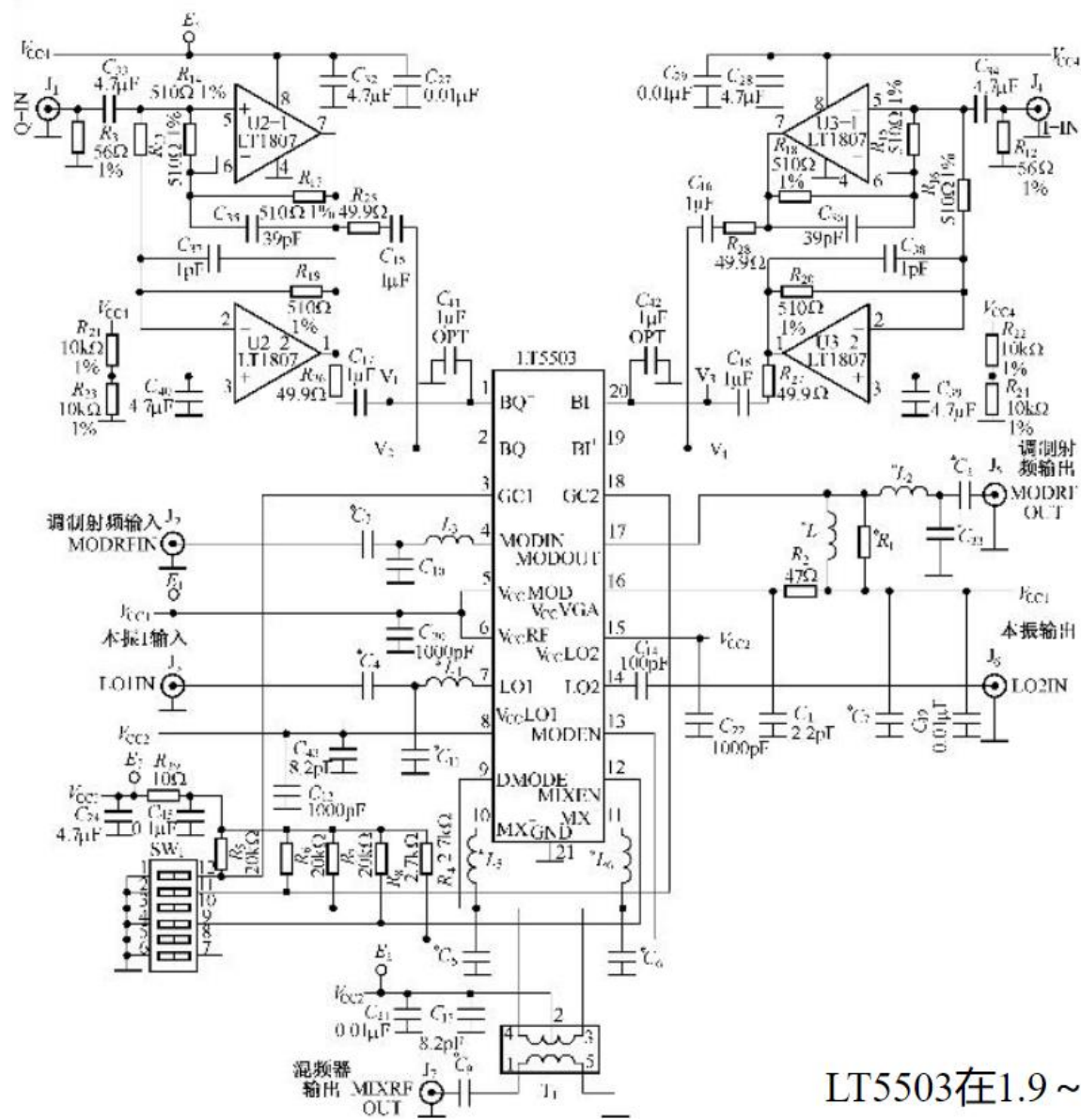


图三、集电极调幅电路



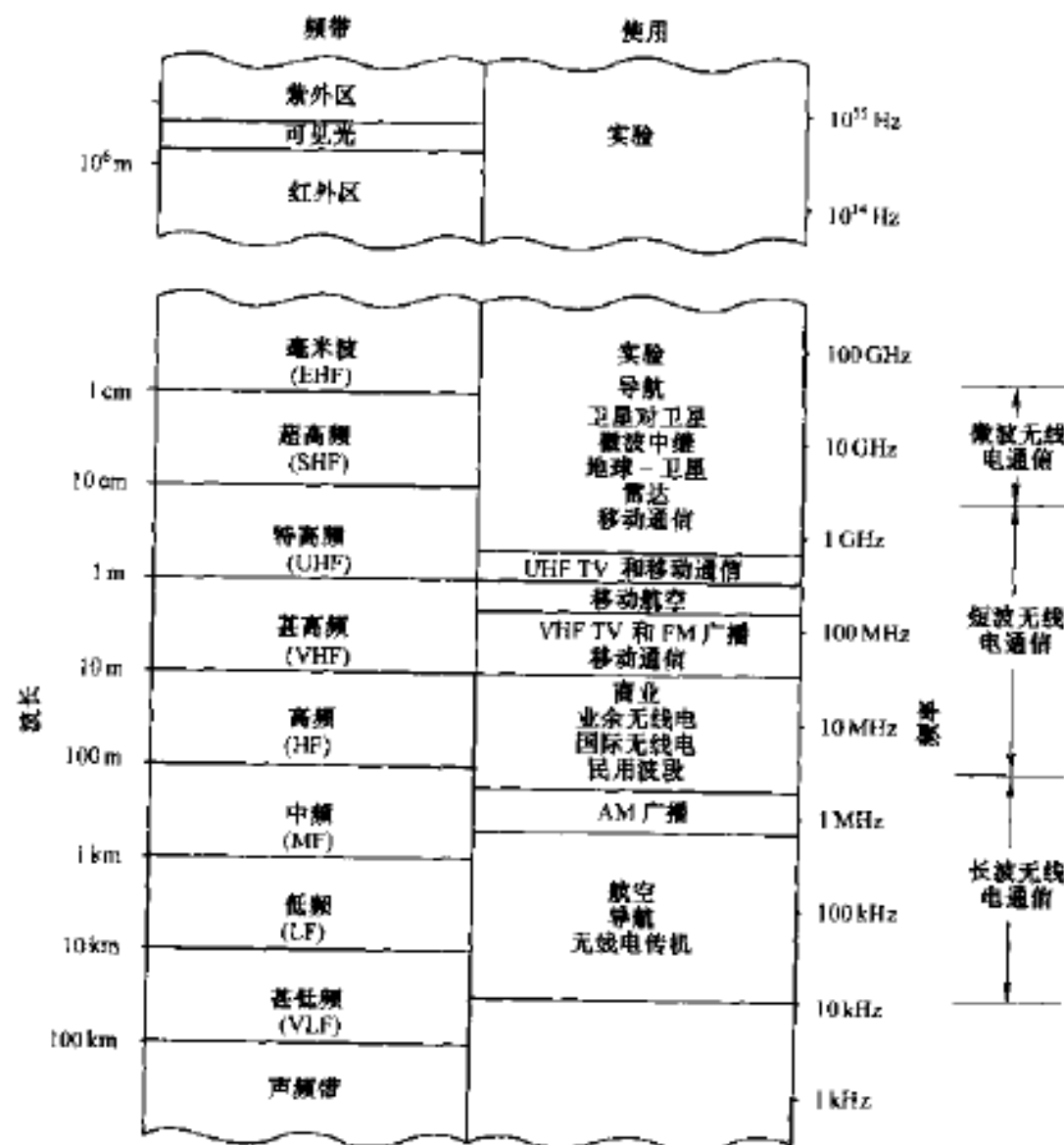
图四、双重调幅电路

调制与解调电路



LT5503在1.9~2.4GHz的应用电路

无线频带划分



频带干扰

韩媒体称朝鲜电磁波干扰或将影响七成韩国武器

KBS电视台2012年5月21号晚在热点新闻版块报道了韩国遭遇的电磁波干扰。报道称，当地时间上月28号上午6点14分，正在韩国首都圈地区飞行的4架飞机响起了全球定位系统失灵警报。

韩国广播电视通信委员会称，这样的攻击持续了16天，导致670多架飞机被迫关闭全球定位系统。此外，当时在仁川和江华岛海域航行的110多艘船舶也碰到了相似的情况。特别是未配备雷达、只依赖全球定位系统的29艘30米以下小型渔船均脱离了正常航线。

除巡航导弹等精确制导武器外，包括空军F-5战斗机、陆军K-2“黑豹”坦克等在内的70%的韩国产武器都在使用商用全球定位系统。因此，韩国军方正在考虑与美军举行旨在防范朝鲜GPS干扰攻击的联合电子战演习。

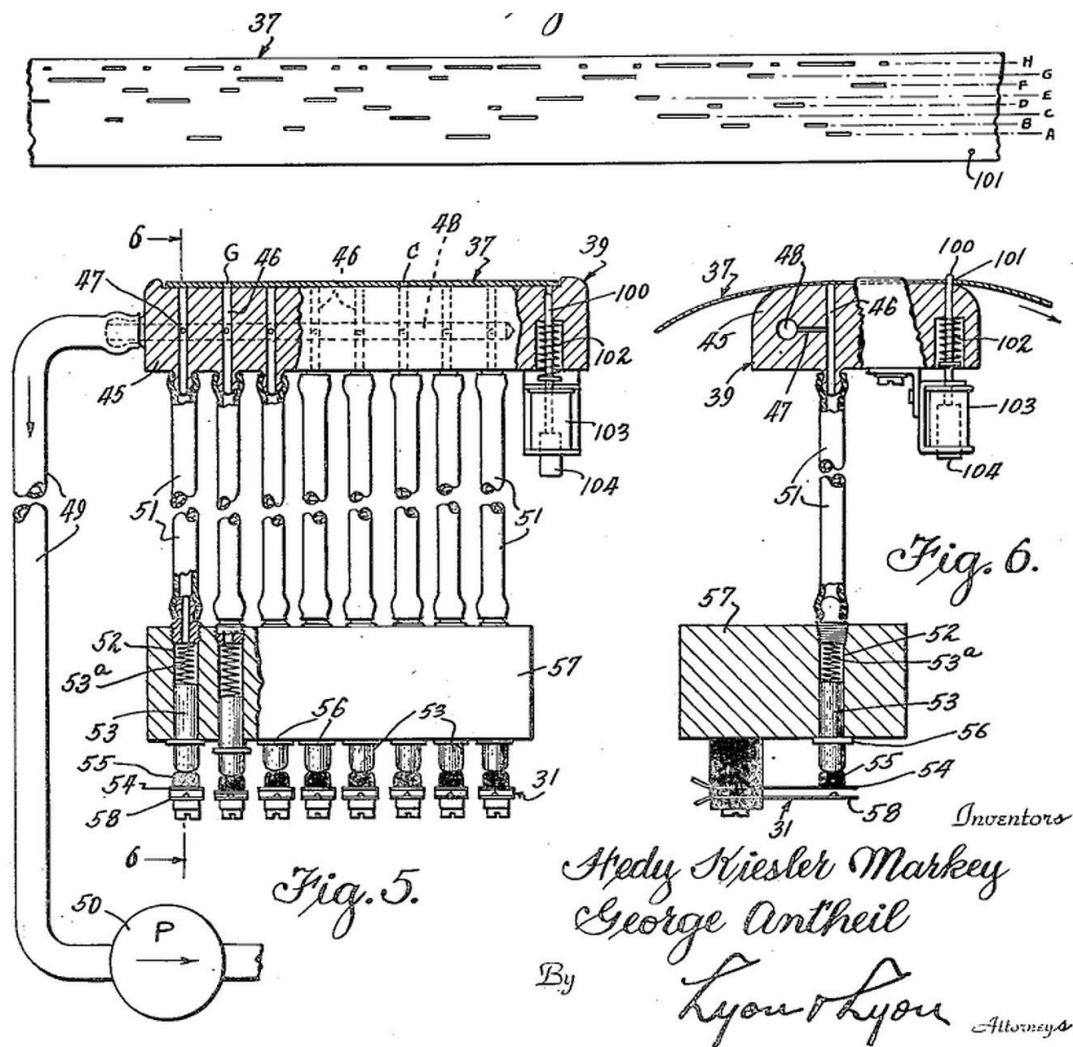
对于韩国近来频繁称遭遇朝鲜电磁波攻击，有分析人士指出，韩国近来正以空前的规模扩充军备，并计划与日本签署较低级别的军事协定，从而为建立美日韩三角军事同盟迈出第一步，无论从韩国扩充军备的角度，还是从美国战略东移的角度讲，都需要一个借口。朝鲜此前也明确否认对韩国实施了电磁波攻击，称这是韩方的捏造。朝鲜还指责美国蓄意在朝鲜半岛制造不稳定，从而引发军备竞赛。

跳频通信



跳频通信第一发明人拉玛海蒂

不停随机改变载波频率，达到保密通信的目的。跳频技术被CDMA和Wi-Fi采用。



频域的应用 – 调制与解调

思考题：

- (1) 请写出解调端接收 $x_2(t)$ 的详细步骤。
- (2) 为什么我们听到收音机中说到“调频91.8兆赫”、“调频94兆赫”，而没有听说过“调频91.8兆赫”、“调频91.9兆赫”？两个载波的差距最小应该有多大？

■ 参考读物

- (1) Transnational College of Lex (2012). Who is Fourier? A mathematical adventure.
- (2) R. N. Bracewell (2000). The Fourier transform and its applications. McGraw-Hill Higher Education.
- (3) M. A. Pinsky (2003). Introduction to Fourier analysis and wavelets. 机械工业出版社

■ 上机作业

运用给出的MATLAB程序，打印出自己声音的频谱。