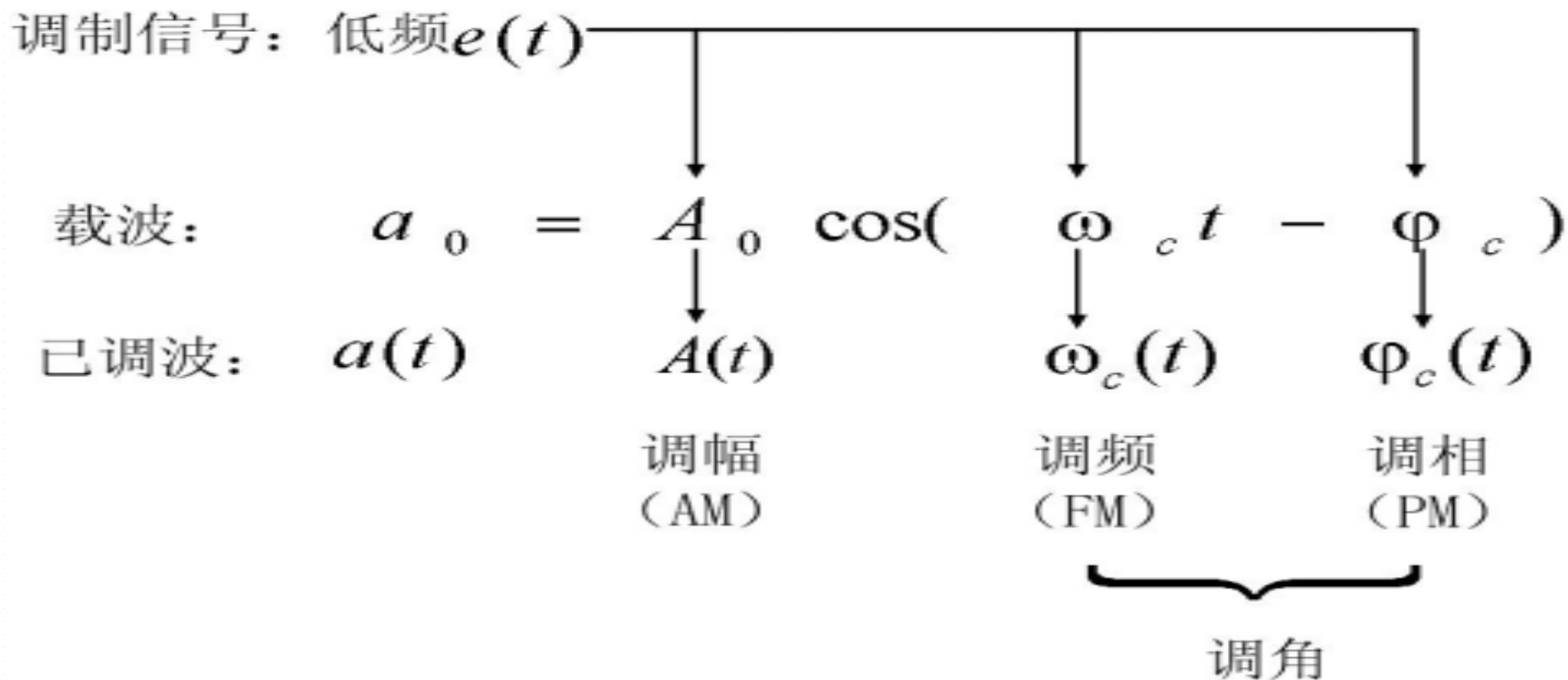


§ 4-5 调制与解调

一、 调制与解调的概念



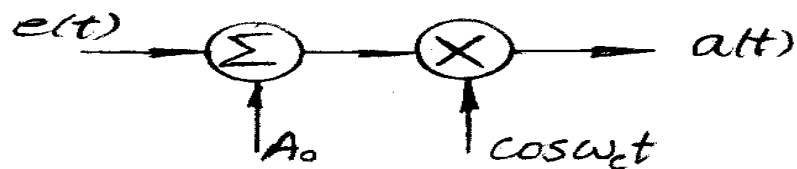
二、 幅度调制

1、 调幅波

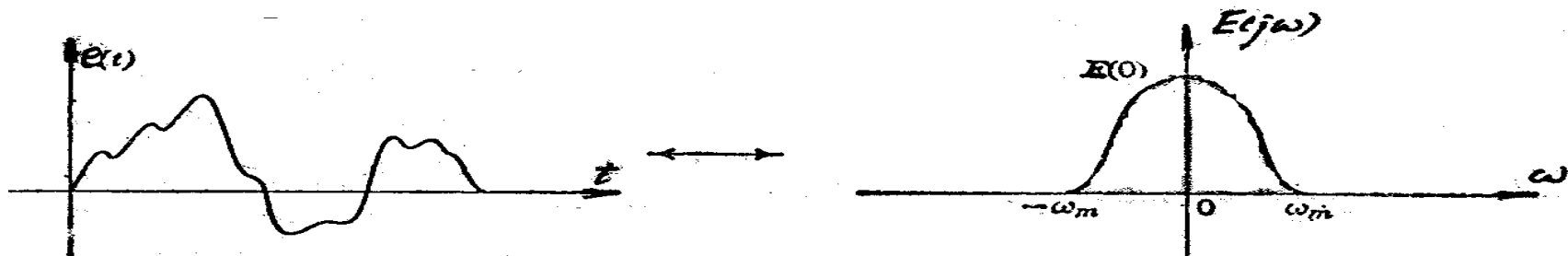
$$a(t) = A(t) \cos(\omega_c t - \varphi_c) = [A_0 + ke(t)] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

其中： k 为比例系数，如取 $k = 1$ 。

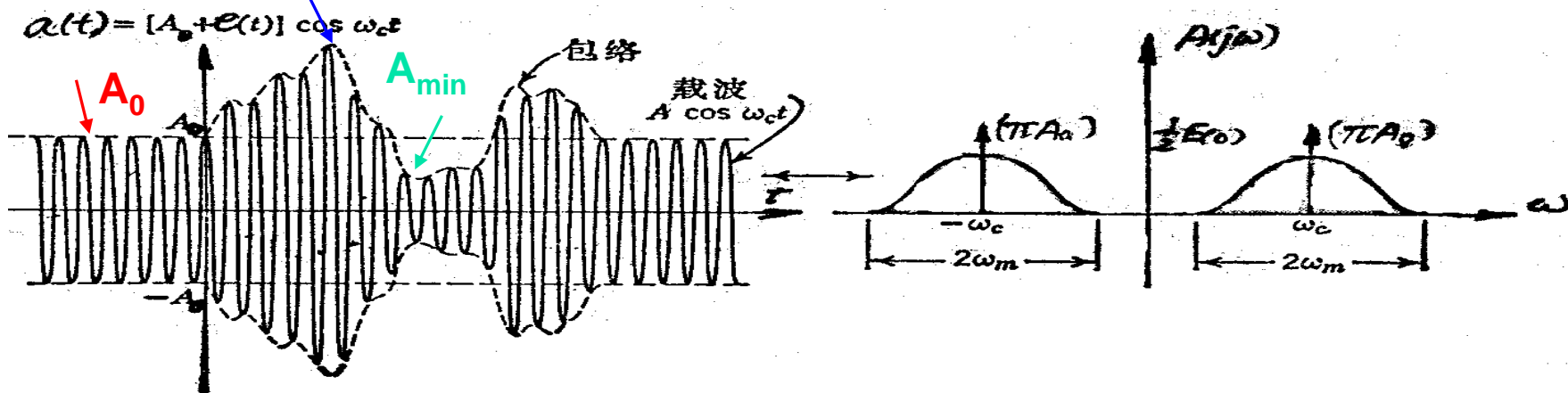
相关波形和频谱如下：



(a) 振幅调制框图



(b) 调制信号及其频谱



(c) 已调信号及其频谱

定义：上调幅系数 $m_{\text{上}} = \frac{A_{\text{max}} - A_0}{A_0}$

下调幅系数 $m_{\text{下}} = \frac{A_0 - A_{\text{min}}}{A_0}$

若 $e(t)$ 上下对称，则

$$m_{\text{上}} = m_{\text{下}} = m = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}$$

其中 $2A_0 = A_{\text{max}} + A_{\text{min}}$

如 $e(t) = E_m \cos(\Omega t - \varphi_1)$ 则

$$a(t) = [A_0 + ke(t)] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

$$= A_0 \left[1 + \frac{kE_m}{A_0} \cos(\Omega t - \varphi_1) \right] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

$$= A_0 [1 + m \cos(\Omega t - \varphi_1)] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

而对多频调幅，设

$$e(t) = \sum_{n=1}^{\infty} E_{m_n} \cos(n\Omega t - \varphi_n)$$

定义：第 n 次谐波的部分调幅系数 $m_n = \frac{kE_{m_n}}{A_0}$

则 $a(t) = A_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} m_n \cos(n\Omega t - \varphi_n) \right] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$

注：(1) $m < 1 \Rightarrow$ 包络不失真，可用包络检波

(2) $m > 1 \Rightarrow$ 过调幅，可用相干解调。

2、 调幅波的功率

$$a(t) = A(t) \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

由 ^{单频} $= A_0 [1 + m \cos(\Omega t - \varphi_1)] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$ 得：

瞬时功率： $p(t) = a^2(t)$

载波一周期内 $a(t)$ 的平均功率 $P_{Tc} = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} a^2(t) dt = \frac{A^2(t)}{2}$

最大平均功率（额定功率）

$$P_{\max} = \frac{1}{2} A_{\max}^2 = \frac{1}{2} A_0^2 (1 + m)^2 = (1 + m)^2 P_c$$

载波平均功率 $P_c = \frac{A_0^2}{2}$

总平均功率 $\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{Tc} dt = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$

例如： $m=1, P_c=1\text{kW}$ ， $P_{\max}=4P_c=4\text{kW}$ ，而 $\bar{P}=1.5\text{kW}$

→ 发射机效率低。

同理：对多频调幅

$$a(t) = A_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} m_n \cos(n\Omega t - \varphi_n) \right] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

则， $P_c = \frac{A_0^2}{2}$ ；

$$P_{\max} = \frac{1}{2} A_{\max}^2(t) = \frac{1}{2} A_0^2 (1 + m_{\text{上}})^2$$

$$\bar{P} = P_c \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_n^2}{2} \right) = P_c (\text{载波功率}) + P_s (\text{旁频功率})$$

其中：

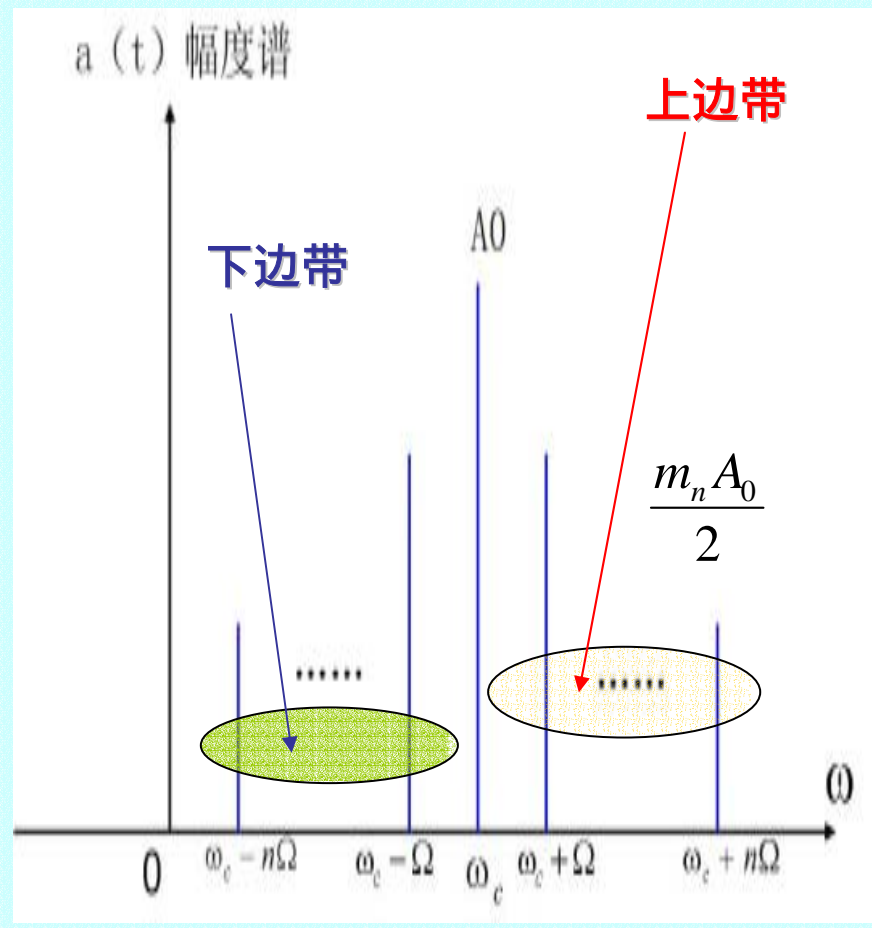
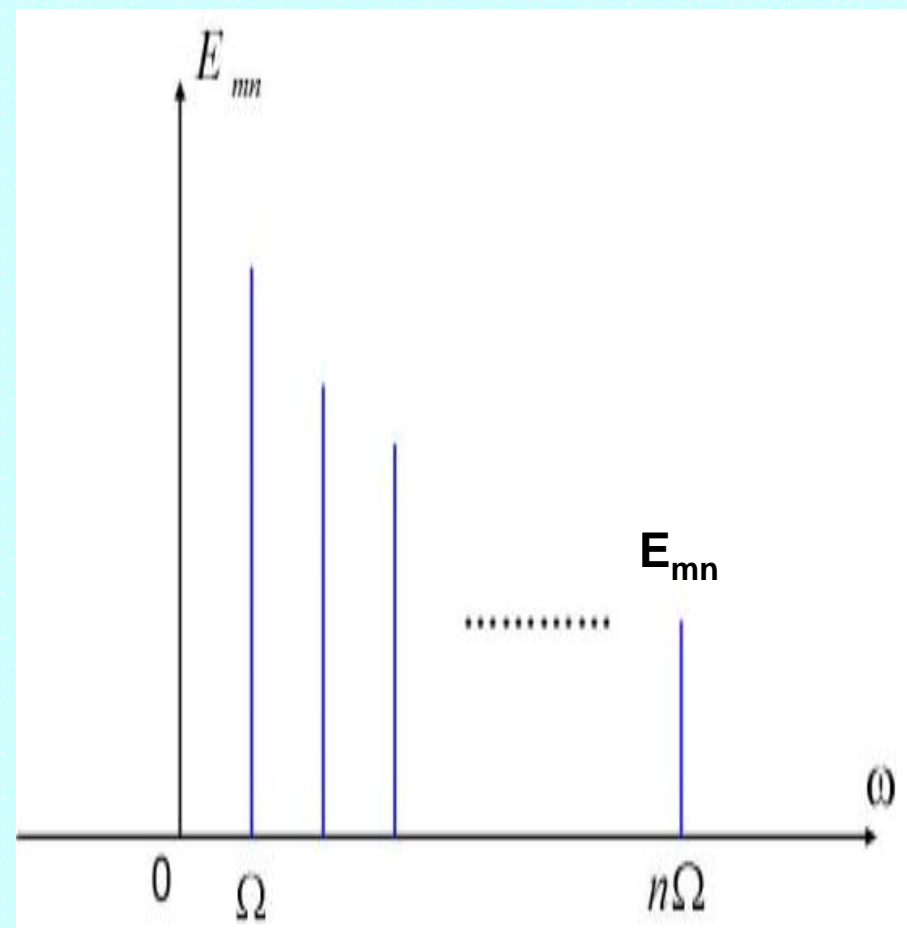
$$P_s = P_c \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_n^2}{2} \right)$$

3、 调幅波的频谱

由多频调幅：

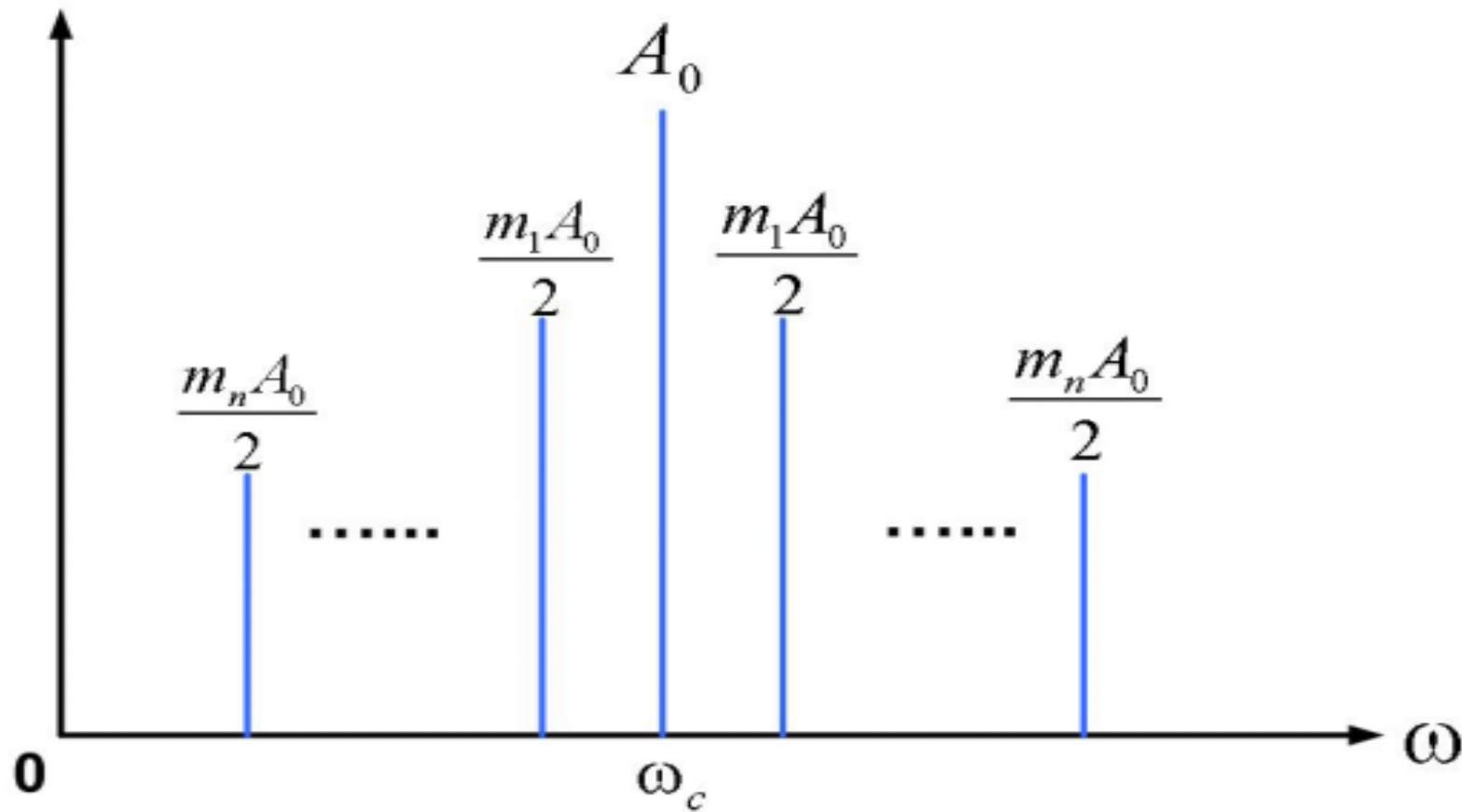
$$a(t) = A_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} m_n \cos(n\Omega t - \varphi_n) \right] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

$$a(t) = A_0 \cos(\omega_c t - \varphi_c) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_n A_0}{2} \cos[(\omega_c + n\Omega)t - (\varphi_c + \varphi_n)] \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_n A_0}{2} \cos[(\omega_c - n\Omega)t - (\varphi_c - \varphi_n)]$$

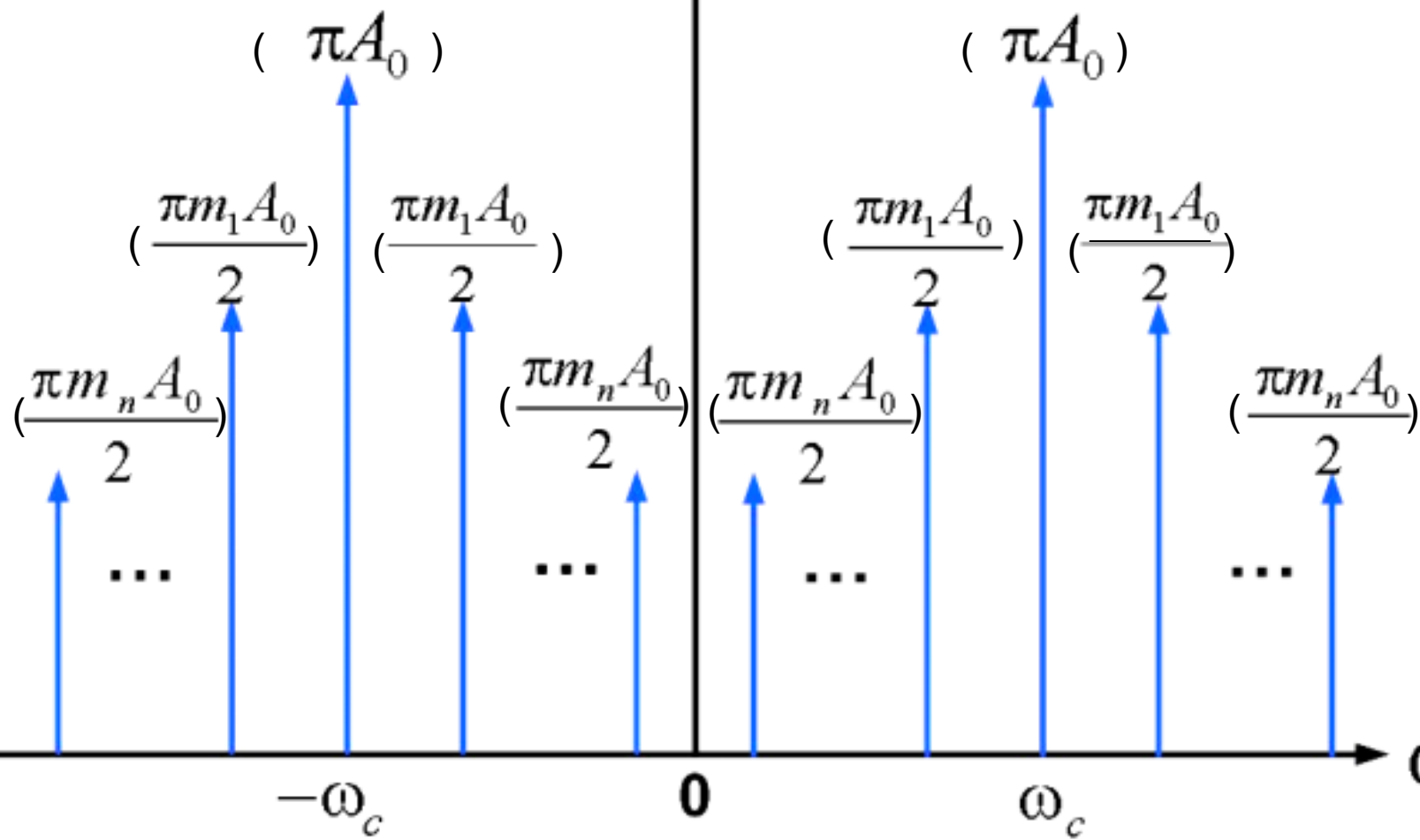


注：调幅波 $e(t)$ 频谱的两种画法：

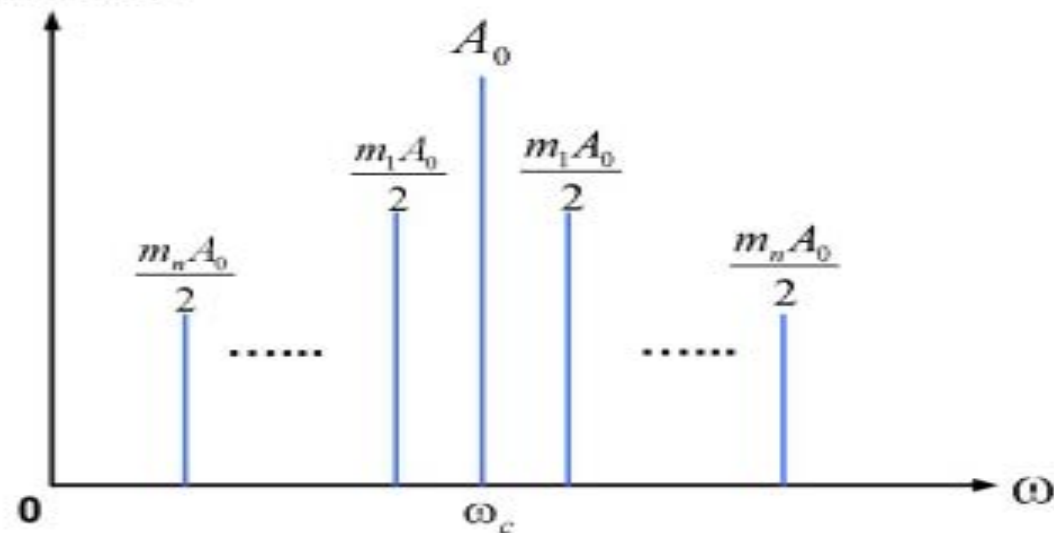
$e(t)$ 的幅度谱



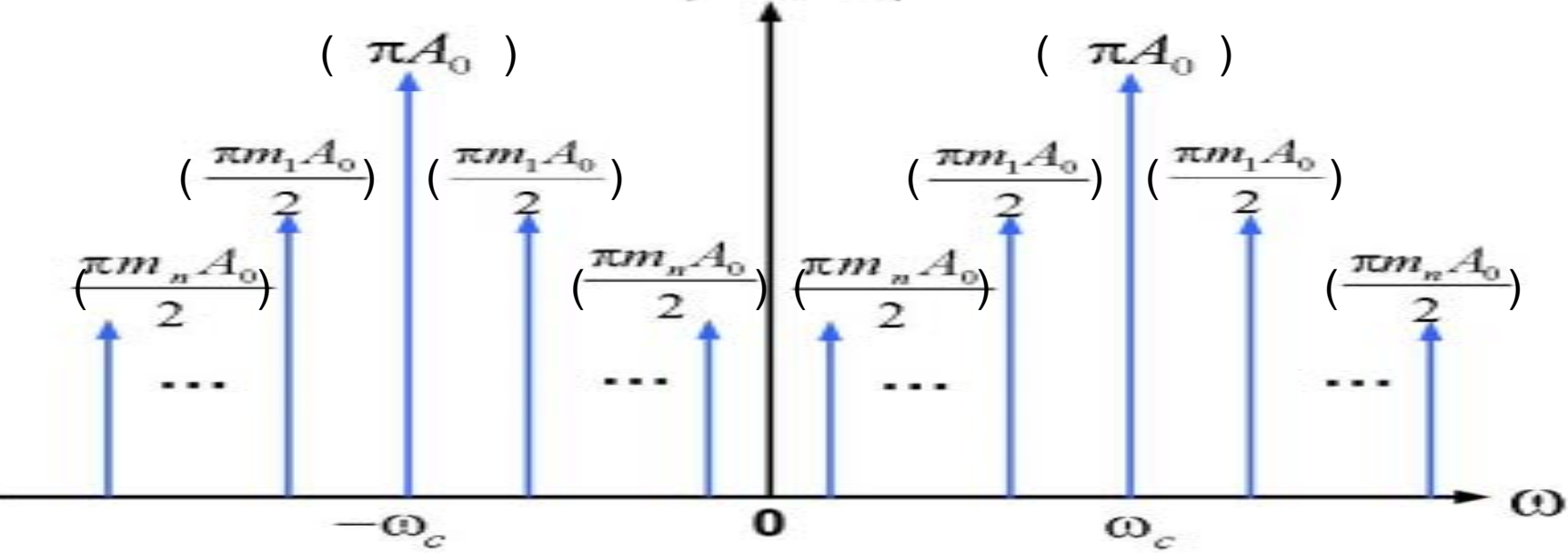
$$|E(j\omega)|$$



$e(t)$ 的幅度谱



$|E(j\omega)|$



三、抑制载波调幅 (AM-SC)

去除调幅波

$$a(t) = A(t) \cos(\omega_c t - \varphi_c) = [A_0 + ke(t)] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

中的载波分量 $A_0 \cos(\omega_c t - \varphi_c)$, 得

抑制载波调幅 :

$$a(t) = Ke(t) \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

即 第三章中傅里叶变换的调制性质 !

解调采用前述相干解调

四、 脉冲幅度调制 (PAM)

高频载波不是采用正弦波，而是采用周期性冲激序列或矩形脉冲的幅度调制。

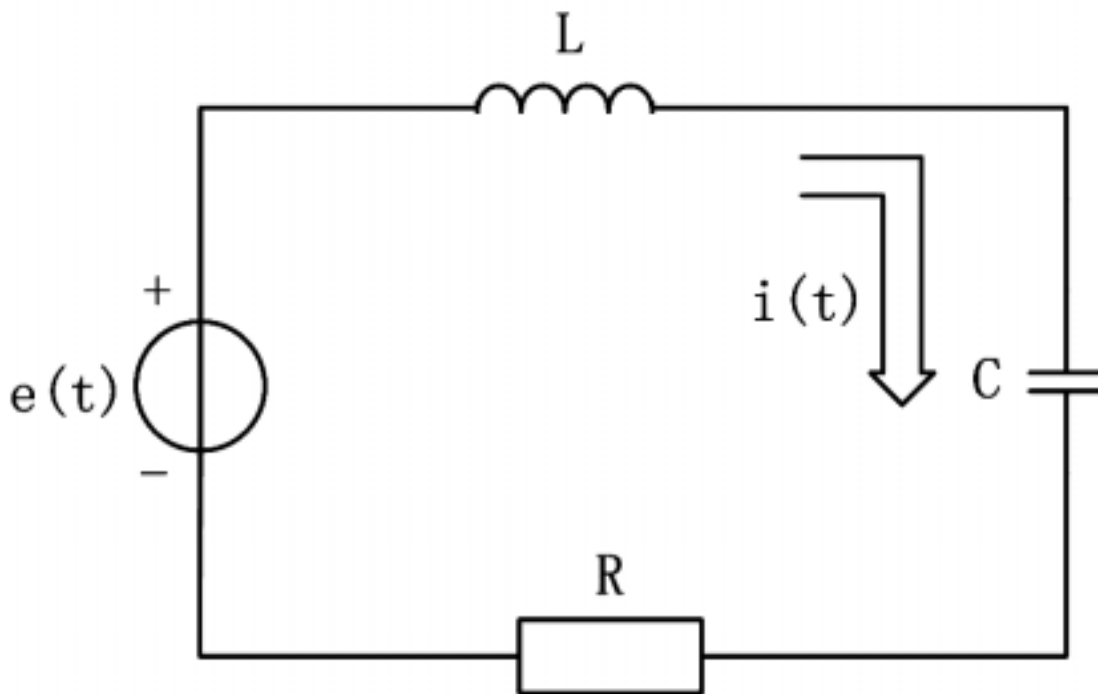
讨论第七章中**抽样定理**（理想抽样与自然抽样）时详述。

§ 4.6 频分复用与时分复用的概念

频分复用 (FDM : Frequency Division Multiplex)

时分复用 (TDM : Time Division Multiplex)

附：调幅波通过谐振回路的稳态分析



如图， $e(t)$ 是调幅电压，求响应 $i(t)$ 。

1. 单频调幅

由：

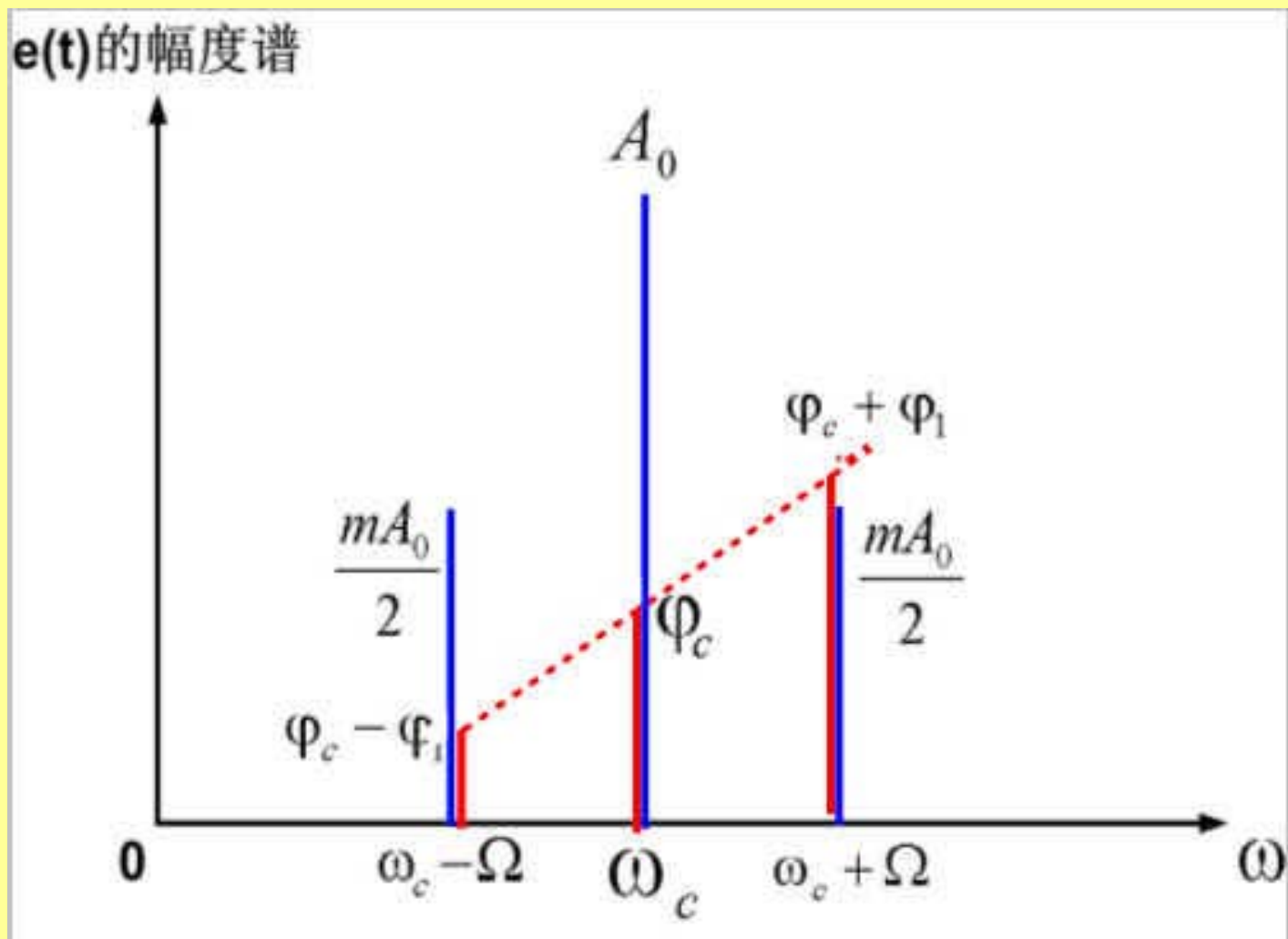
$$\begin{aligned} e(t) &= A_0 [1 + m \cos(\Omega t - \varphi_1)] \cos(\omega_c t - \varphi_c) \\ &= A_0 \cos(\omega_c t - \varphi_c) + \frac{mA_0}{2} \cos[(\omega_c + \Omega)t - (\varphi_c + \varphi_1)] \\ &\quad + \frac{mA_0}{2} \cos[(\omega_c - \Omega)t - (\varphi_c - \varphi_1)] \end{aligned}$$

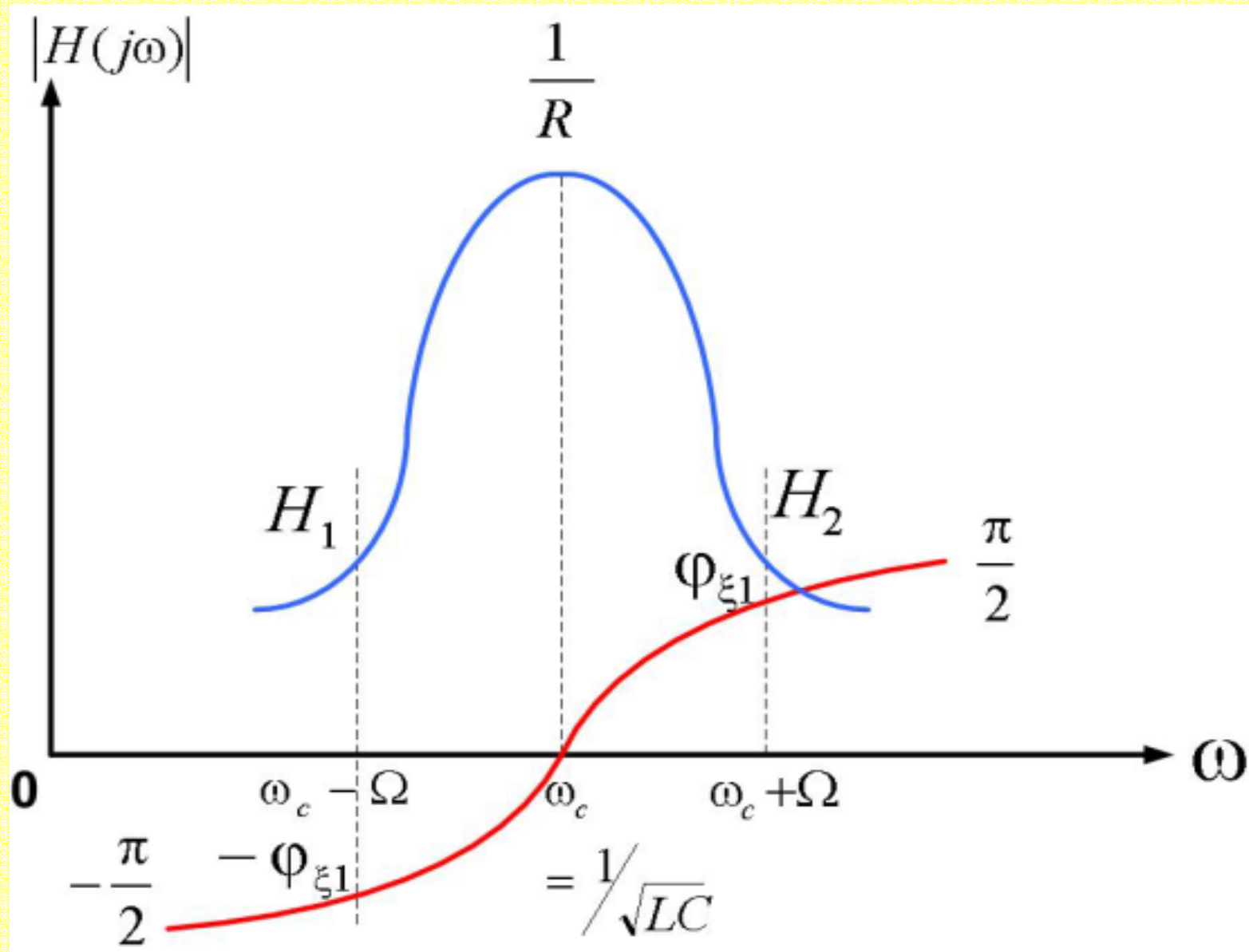
由
$$H(j\omega) = \frac{\dot{I}(j\omega)}{\dot{E}(j\omega)} = Y(j\omega) = \frac{1}{R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{R(1 + j\xi)}$$

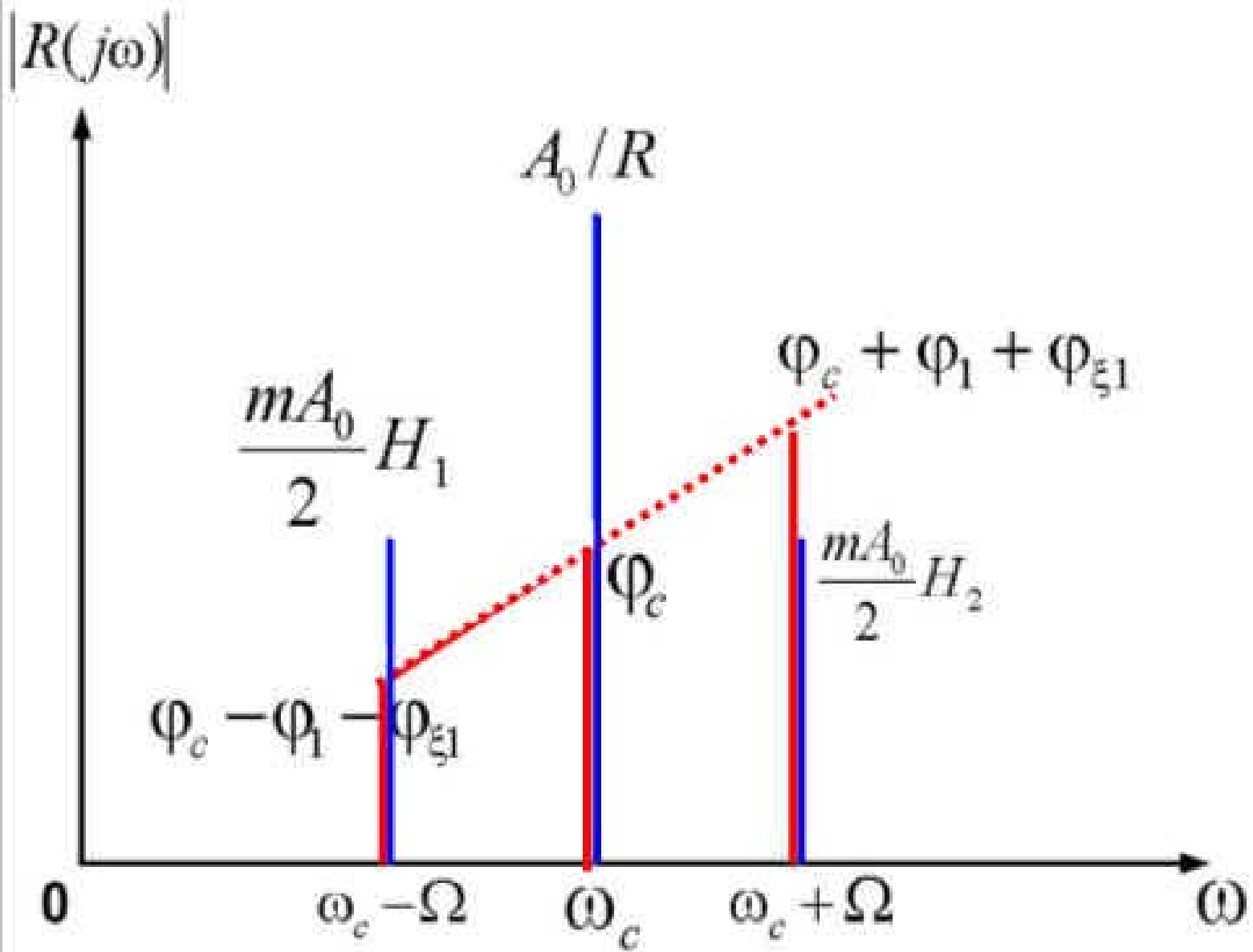
其中,
$$\xi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$
 称为**一般失谐**。

则
$$H(j\omega) = \frac{1}{R\sqrt{1 + \xi^2}} e^{-jtg^{-1}\xi}$$

$e(t)$ 和 $H(j\omega)$ 的频谱特性分别如下图所示







讨论：

) 载频分量 $\omega = \omega_c = \omega_0$, $\dot{I}_{\omega_c} = A_0 e^{-j0} \frac{1}{R} = \frac{A_0}{R} \stackrel{\text{记作}}{=} A_0$

) 上边频 $\omega = \omega_c + \Omega$,

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\omega_c + \Omega} &= \frac{mA_0}{2} e^{-j(\varphi_1 + \varphi_c)} H(j\omega) \Big|_{\omega = \omega_c + \Omega} \\ &= \frac{mA_0}{2} \frac{1}{R\sqrt{1 + \xi_1^2}} e^{-j(\text{tg}^{-1}\xi_1 + \varphi_1 + \varphi_c)} \end{aligned}$$

其中 ,
$$\xi_1 = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \Big|_{\omega = \omega_c + \Omega}$$

记
$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 + \xi_1^2}} \leq m$$

则
$$i_{\omega_c + \Omega} = \frac{m' A'_0}{2} e^{-j[\varphi_c + (\text{tg}^{-1} \xi_1 + \varphi_1)]}$$

同理，下边频分量 $\omega = \omega_c - \Omega$ ， $\xi_{\text{下}} = -\xi_1$

$$\begin{aligned} \dot{i}_{\omega_c - \Omega} &= \frac{mA_0}{2} \frac{1}{R \sqrt{1 + \xi_1^2}} e^{-j(\varphi_c - tg^{-1}\xi_1 - \varphi_1)} \\ &= \frac{m'A'_0}{2} e^{-j[\varphi_c - (tg^{-1}\xi_1 + \varphi_1)]} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow i(t) = A'_0 [1 + m' \cos(\Omega t - \varphi_1 - tg^{-1}\xi_1)] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

仍是调幅波，但包络幅度改变，

且相位改变 \Rightarrow 延时 $\frac{tg^{-1}\xi_1}{\Omega}$

2. 多频调幅 ($\omega_c = \omega_0$)

类似对多频调幅：

$$e(t) = A_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} m_n \cos(n\Omega t - \varphi_n) \right] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

有：

$$i(t) = A'_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} m'_n \cos(n\Omega t - \varphi_n - \text{tg}^{-1} \xi_n) \right] \cos(\omega_c t - \varphi_c)$$

其中， $\xi_n = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \Big|_{\omega = \omega_c + n\Omega}$

$$m'_n = \frac{m_n}{\sqrt{1 + \xi_n^2}} \leq m_n$$

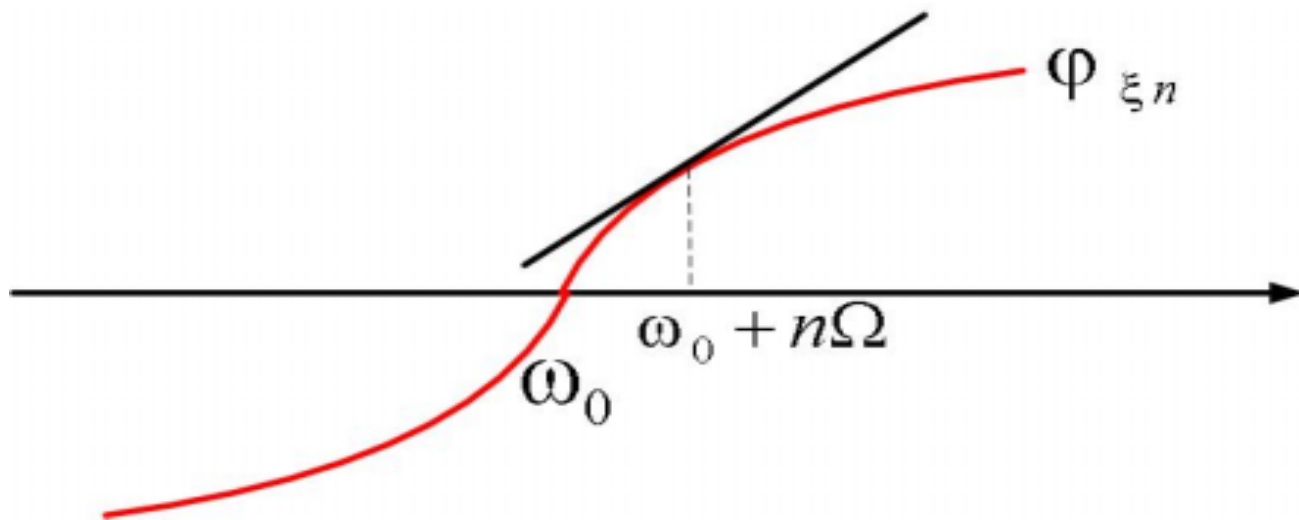
记： $\Phi_{\xi_n} = \text{tg}^{-1} \xi_n$

3. 多频调幅响应的几点说明

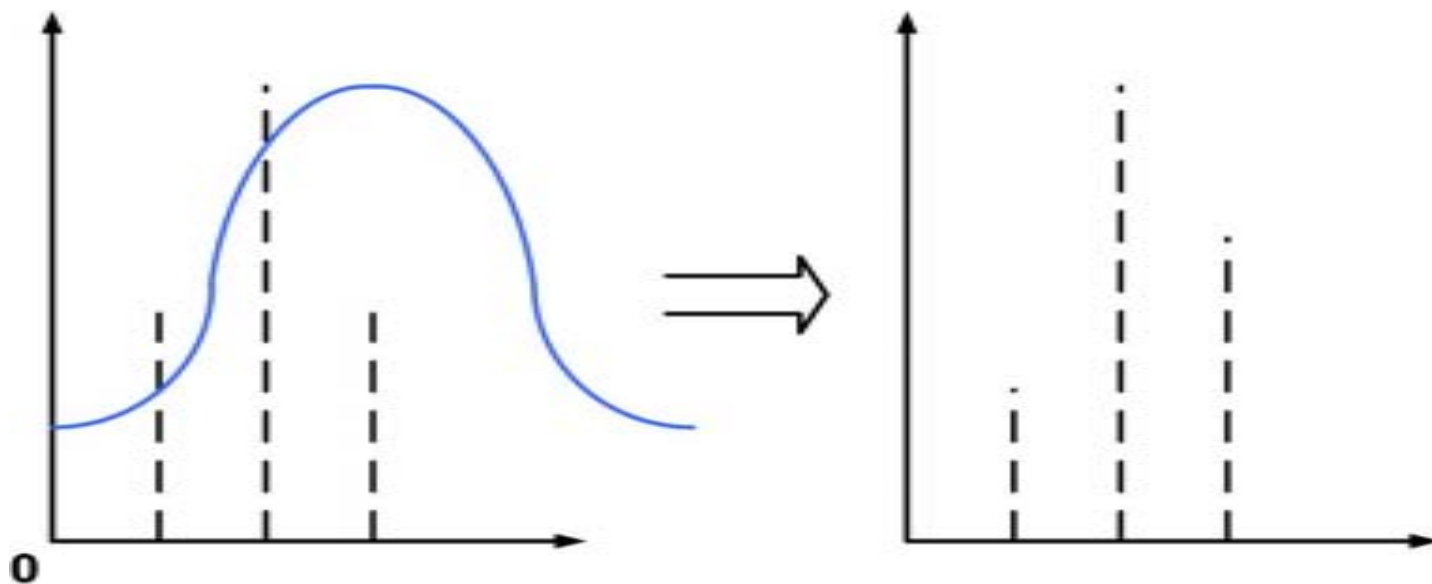
(1) 幅度失真：各个分量幅度比例关系的改变；

(2) 相位失真：各个分量的延时 $\frac{\varphi_{\xi n}}{n \Omega} = t_n$ ；

($\omega_c + n\Omega$ 点处切线斜率)



(3) 失谐失真： $(\omega_c \neq \omega_0)$



不是调幅波；

(4) 耦合谐振：可能产生过调幅。

(图 略)

~ End of Chapter 4 ~

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>