

单边带载波机的几种调制方式

王奎甫 朱延章 许继电气股份有限公司(461000)

摘要 目前单边带电力线载波机所采用的调制方式主要有三种,即滤波法、哈脱莱法、韦瓦法,本文从理论上详细地分析这三种调制方式的原理和优缺点。

关键词 调制 解调 滤波法 哈脱莱法 韦瓦法

单边带(SSB)传输系统比起调幅(AM)、调频(FM)、双边带(DSB)这些系统有显著的优点,主要表现在:

- (1)发信功率的有效利用率高
- (2)占用的频带窄,信道间的干扰小
- (3)具有较高的信噪比

在单边带系统中,一般采用三种调制方式,即滤波法、哈脱莱法(Hartley)、韦瓦法(weaver)。这三种方法都是使用平衡调制器产生抑制载波的双边带信号,如果用一个高Q值的滤波器抑制掉不需要的边带来产生SSB信号就是滤波法,如果用一对正交的全通滤波器对音频信号进行正交相移,然后再和一对正交的载波信号调制,最后再用相加或相减的办法抑制掉不需要的边带从而产生SSB信号就是哈脱莱法;如果先用一对频率位于音频信号频带中间的正交副载波和音频信号进行调制,用一对低通滤波器提取下边带信号,然后再与一对正交载波信号调制,最后用相加或相减的方法抑制掉无用边带从而产生SSB信号就是韦瓦法。而SSB信号的解调则是上面的逆过程。如果用一种方法产生的SSB信号,可以用另外两种方法中的任一种来解调。下面就阐述这三种方法的调制与解调。

1 滤波法调制与解调

1.1 滤波法调制

我们都知道,话音信号的频率范围为0.3~3.7kHz,它是一个有限带宽信号,因此可以用下面的表达式来描述话音信号:

$$x(t) = \sum A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1)$$

如果载波信号为:

$$c(t) = 2\cos\omega_c t \quad (2)$$

那么经过平衡调制器调制后,其输出信号为:

$$y_1(t) = \sum A_i \cdot \cos[(\omega_c + \omega_i)t + \varphi_i] + \sum A_i \cdot \cos[(\omega_c - \omega_i)t + \varphi_i] \quad (3)$$

从式3可以看出,经过平衡调制器后,产生了一个上边带,一个下边带,由于这两个边带有一定的频率间隔,因此用带通或带阻滤波器就可以从中提取一个边带(图1),更确切地说,如果用一个带内波动在 $\omega_c + \omega_i$ 处为 e_i ,在 $\omega_c - \omega_i$ 处有 a_i 的衰减、其相位是任意的带通滤波器(BPF)取出上边带信号,则输出的信号为:

$$y(t) = \sum A_i \cdot (1 + e_i) \cdot \cos[(\omega_c + \omega_i)t + \varphi_i] + \sum A_i \cdot a_i \cdot \cos[(\omega_c - \omega_i)t - \varphi_i] \quad (4)$$

如果BPF的带内波动很小,阻带衰耗很大,则式4可以简化为:

收稿日期:1995-01-10

$$y(t) = \sum A_i \cdot \cos[(\omega_c + \omega_i)t + \varphi_a] \quad (5)$$

可以看出,滤波法调制其电路结构比较简单,但所用的BPF必须是高Q值的多节滤波器,要有高的阻带衰减特性、体积大、价格高昂,而且对于不同的工作频率需要有不同的滤波器,现场调试也不太方便。

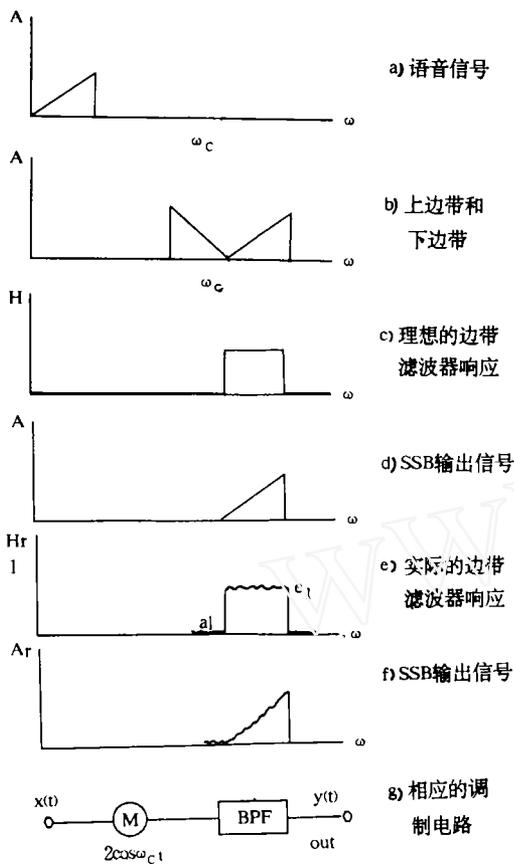


图1 滤波法调制

1.2 滤波法解调

用一个与调制电路中相同的BPF将所需的信号提取出来,滤除不需要的信号(图2),然后与频率为 ω_c 的载波信号相乘,即可解调出两个间隔明显的边带,下边带是所需要的音频信号,上边带在频率为 $2\omega_c$ 的位置上,由于上边带与下边带具有明显的过渡带,因此用一个很简单的低通滤波器即可把不需要的上边带抑制掉(图3)。在滤波法解调中,对BPF的要求是非常高的,它要求BPF对带外的无用信号的衰减要足够大,这样才能保证无用信号不致于串扰到有用信号的频带内。

2 哈脱莱(Hartley)调制与解调

2.1 哈脱莱调制

在话音信号与载频信号进行调制前,先通过一对正交高通滤波器(Q_1 和 Q_2)进行正交相移(图4),如果设:

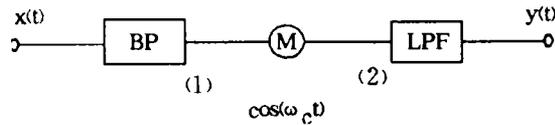


图2 滤波法解调电路

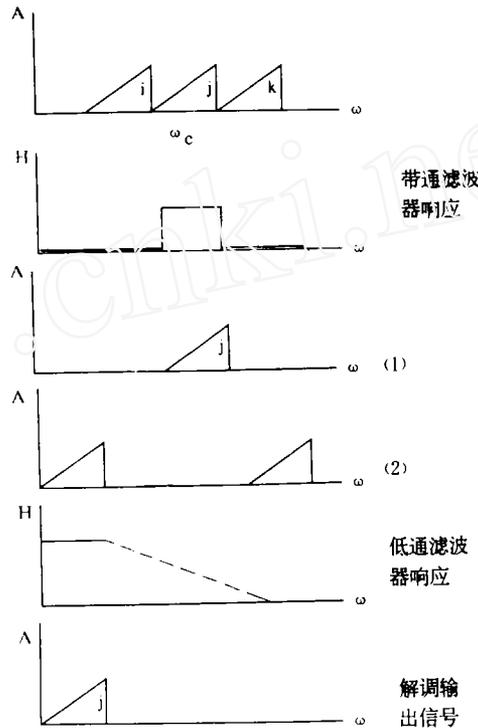


图3 滤波法解调波形图

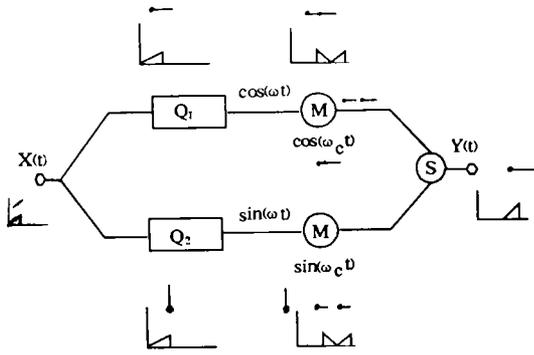


图4 哈脱莱调制

$$X(t) = \cos \omega t$$

则通过 Q_1, Q_2 后, 输出的两个信号为:

$$x_{q1}(t) = \cos(\omega t + \varphi_a)$$

$$x_{q2}(t) = -\sin(\omega t + \varphi_a) \quad (7)$$

设两个正交载频信号分别为:

$$C_1(t) = \cos \omega_c t$$

$$C_2(t) = \sin \omega_c t \quad (8)$$

则经过平衡调制器后, 可以得到:

$$y_1(t) = \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega t + \varphi_a) \\ = \frac{1}{2} \{ \cos[(\omega_c + \omega)t + \varphi_a] + \cos[(\omega_c - \omega)t - \varphi_a] \} \quad (9)$$

$$y_2(t) = \sin \omega_c t \cdot [-\sin(\omega t + \varphi_a)] \\ = \frac{1}{2} \{ \cos[(\omega_c + \omega)t + \varphi_a] - \cos[(\omega_c - \omega)t - \varphi_a] \} \quad (10)$$

如果取上边带, 则:

$$y(t) = \frac{1}{2} [y_1(t) + y_2(t)] = \cos[(\omega_c + \omega)t + \varphi_a] \quad (11)$$

可以看出, 哈脱莱调制其原理和电路都很简单, 它不象滤波法那样需要一个随工作频率而改变的高 Q 值的带通滤波器, 现场调试也比较方便。但这种方法也有缺点, 这种调制的边带抑制与正交载波信号之间的正交相移误差以及音频信号正交相移误差有关, 如果要求边带抑制大于 40dB 时, 这些正交相移误差均不能大于 1° , 不过现在有用有源滤波器来实现正交全通滤波器, 可以保证音频信号在其频率范围内通过正交全通滤波器后, 其正交相移误差不大于 1° , 正交全通滤波器目前已有现成的设计程序, 这里不再介绍。正交载频信号可以用一个频率为 $4\omega_c$ 的信号经过 D 触发器 4 分频后得到。

2.2 哈脱莱解调

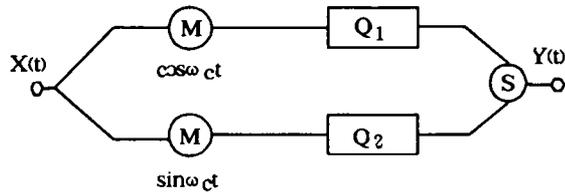


图5 哈脱莱解调

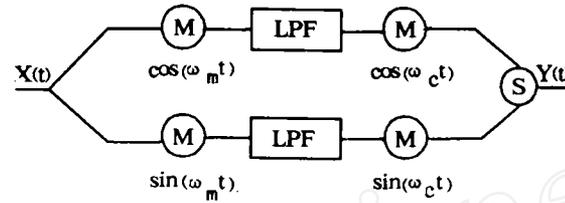


图6 韦瓦调制电路

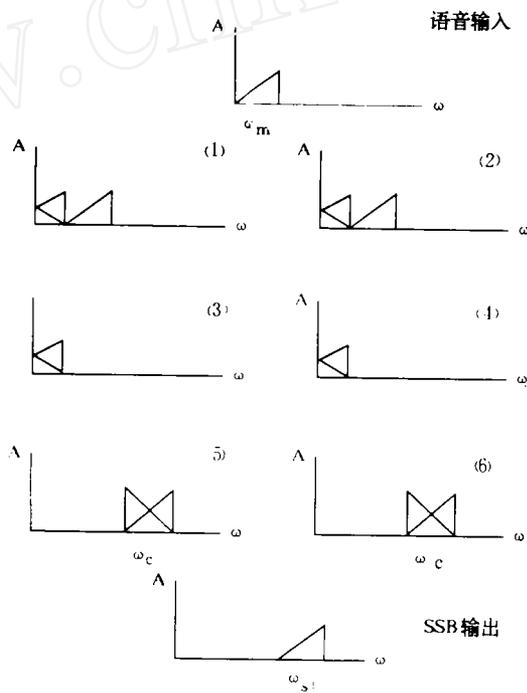


图7 韦瓦调制

及音频信号正交相移误差有关, 如果要求边带抑制大于 40dB 时, 这些正交相移误差均不能大于 1° , 不过现在有用有源滤波器来实现正交全通滤波器, 可以保证音频信号在其频率范围内通过正交全通滤波器后, 其正交相移误差不大于 1° , 正交全通滤波器目前已有现成的设计程序, 这里不再介绍。正交载频信号可以用一个频率为 $4\omega_c$ 的信号经过 D 触发器 4 分频后得到。

从图 5 可以看出,哈脱莱解调是哈脱莱调制的逆过程,不过对于解调部分,如果要求对无用边带的抑制大于 70dB,必须在解调器与正交全通滤波器之间加一对低通滤波器。哈脱莱解调的原理分析与其调制的原理分析基本相同,这里就不再阐述。

3 韦瓦(weaver)调制与解调

3.1 韦瓦调制

在韦瓦调制中(图 6),取频率位于音频信号频带中间的一对正交副载波信号和音频信号进行调制,那么将会产生一个频谱出现折叠的下边带,而上边带没有出现频谱折叠现象(图 7),其上边带用低通滤波器(LPF)抑制掉。为了研究韦瓦调制,设输入信号为:

$$x(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_m \cdot \cos(\omega_m t + \varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \quad (12)$$

其中: $\omega_{\min} < \omega_1 < \omega_m, \omega_m < \omega_2 < \omega_{\max}$,

ω_m —— 副载波频率

那么经过副载波调制后,其输出信号为:

$$x_1(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_m t + \omega_1 t + \varphi_1) + A_1 \cdot \cos(\omega_m t - \omega_1 t - \varphi_1) + A_m \cdot \cos(2\omega_m t + \varphi_m) + A_m \cdot \cos(\varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_m t + \omega_2 t + \varphi_2) + A_2 \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2 - \omega_m t) \quad (13)$$

$$x_2(t) = A_1 \cdot \sin(\omega_m t + \omega_1 t + \varphi_1) + A_1 \cdot \sin(\omega_m t - \omega_1 t - \varphi_1) + A_m \cdot \sin(2\omega_m t + \varphi_m) - A_m \cdot \sin(\varphi_m) + A_2 \cdot \sin(\omega_m t + \omega_2 t + \varphi_2) - A_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2 - \omega_m t) \quad (14)$$

用 LPF 抑制掉大于 ω_m 的频率成分,可得到: $x_1'(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_m t - \omega_1 t - \varphi_1) + A_m \cdot \cos(\varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2 - \omega_m t)$ (15)

$$x_2'(t) = A_1 \cdot \sin(\omega_m t - \omega_1 t - \varphi_1) - A_m \cdot \sin(\varphi_m) + A_2 \cdot \sin(\omega_m t - \omega_2 t - \varphi_2) \quad (16)$$

再经过正交载波信号调制后,其输出信号为:

$$y_1(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_c t - \omega_m t + \omega_1 t + \varphi_1) + A_1 \cdot \cos(\omega_c t + \omega_m t - \omega_1 t - \varphi_1) + A_m \cdot \cos(\omega_c t - \omega_m t + \varphi_m) + A_m \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_c t - \omega_m t + \omega_2 t + \varphi_2) + A_2 \cdot \cos(\omega_c t + \omega_m t - \omega_2 t - \varphi_2) \quad (17)$$

$$y_2(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_c t - \omega_m t + \omega_1 t + \varphi_1) - A_1 \cdot \cos(\omega_c t + \omega_m t - \omega_1 t - \varphi_1) - A_m \cdot \cos(\omega_c t - \omega_m t + \varphi_m) + A_m \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_c t - \omega_m t + \omega_2 t + \varphi_2) - A_2 \cdot \cos(\omega_c t + \omega_m t - \omega_2 t - \varphi_2) \quad (18)$$

令 $\omega_{s1} = \omega_c - \omega_m, \omega_{s2} = \omega_c + \omega_m$

如果取上边带,则 SSB 输出信号为:

$$y(t) = \frac{1}{2} [y_1(t) + y_2(t)] = A_1 \cdot \cos(\omega_{s1} t + \omega_1 t + \varphi_1) + A_m \cdot \cos(\omega_{s1} t + \omega_m t + \varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_{s1} t + \omega_2 t + \varphi_2) \quad (19)$$

如果取下边带,则 SSB 输出信号为:

$$y(t) = \frac{1}{2} [y_1(t) - y_2(t)] = A_1 \cdot \cos(\omega_{s2} t - \omega_1 t - \varphi_1) + A_m \cdot \cos(\omega_{s2} t - \omega_m t - \varphi_m) + A_2 \cdot \cos(\omega_{s2} t - \omega_2 t - \varphi_2) \quad (20)$$

从上面的原理分析可以看出,哈脱莱调制与韦瓦调制都是通过相加或相减的方法抑制掉不需要边带,它们都是以正交载波为基础。韦瓦调制所抑制掉的成份是在输出信号的频带内进行的,而哈脱莱调制所抑制掉的成份是在输出信号的带外进行的。韦瓦调制中所用的一对 LPF 的设计比哈脱莱调制中所用的一对正交全通滤波器的设计要容易得多。在目前的载波机中,趋向于采用韦瓦调制,西门子公司最新研制的 ESB-2000 型载波机中就采用了数字韦瓦调制。

3.2 韦瓦解调(下转 79 页)

3.4 稳定剂

RS-1 能使二价锡向四价锡的氧化过程得到抑制,从而延长溶液的处理周期。其消耗量只与溶液带出有关。

3.5 阴极电流密度

阴极电流密度过低时,沉积速度太慢,镀层发暗,过高时镀层粗糙。

3.6 工作温度

工作温度不可太高,否则溶液氧化严重,处理周期缩短,且沉淀物增多,镀层结晶粗糙,另外,温度过高,光亮剂分解加快,消耗增大,光亮区变窄。工作温度过低,工作电流密度降低,沉积慢,镀层易烧焦。

4 影响镀液稳定性的因素及维护办法

经过半年的试生产,我们发现酸性镀锡用于生产的最大困难是电解液稳定性差,经试验分析,我们认为主要原因有以下几点:

- (1)有机杂质的污染:添加剂在电解过程中易起氧化、聚合等作用。
- (2)无机杂质的影响:三价铁离子、铜离子、氯离子的存在会使槽液浑浊。
- (3)温度过高,PH 值过高易引起二价锡的氧化和四价锡的水解。
- (4)阳极电流密度过大,导致阳极钝化,阳极呈四价锡溶解。

维护办法:

- (1)定期分析溶液,控制各组分含量在工艺范围内;
- (2)镀前弱酸洗严禁使用盐酸;采用去离子水配制镀液;严禁补加工业级硫酸。
- (3)控制好阳极电流密度,不可太大。

5 结束语

经过半年多的试生产,该工艺得到了考验,实践证明,酸性滚镀锡完全能满足我公司电器小零件大生产的要求,它在生产中显示出下列特点:

- (1)工作温度范围宽,无需加温,节约能源;
- (2)电流效率达 90%以上,节约电能;
- (3)沉积速度快,生产效率高;
- (4)采用滚镀,减小工人劳动强度,改善操作环境;
- (5)焊接性能好。

(上接 47 页)

如果将一对正交载波信号的频率 ω_c 选在所解调的信号的频带中间(图 8),那么所得到的解调信号的下边带会发生频谱折叠现象,用一对 LPF 提取下边带信号,然后与频率为 ω_m 的一对正交副载波信号进行解调,将会得到没有频谱折叠的信号,最后用相加或相减的方法得到所需的音频信号。

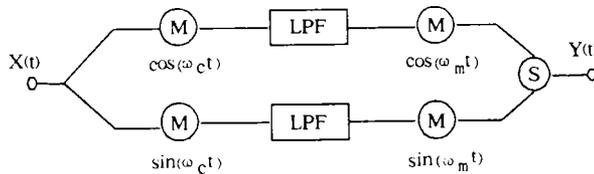


图 8 韦瓦解调电路

以上所介绍的三种方式都是目前常用的模拟调制与解调,以后我们将介绍用 DSP(数字信号处理)实现这三种调制与解调的方法。