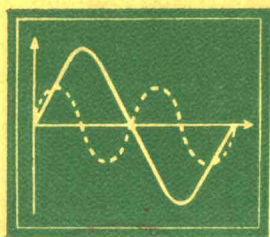


分 频

FEN PIN

苏联 И. X. 李兹金 著



人民邮电出版社

苏联
业余无线电
丛书



И. Х. РИЗКИН
ДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ. 1956

在这本小册子里讲述正弦振荡分频器的作用原理、现有的各种类型的分频器、某些实用电路以及分频器在无线电技术中的主要应用。

本书可供一般无线电技术人员和有一定基础的无线电爱好者阅读。

分 频

著 者: 苏 联 И. Х. 李 兹 金
译 者: 鍾 佐 华
出 版 者: 人 民 邮 电 出 版 社
北 京 东 四 条 13 号
(北京市书刊出版业营业许可证出字第 048 号)
印 刷 者: 北 京 新 华 印 刷 厂
发 行 者: 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32
印张 1 页数 16
印刷字数 26,000 字
印数 1—6,000 册

1959 年 1 月北京第一版
1959 年 1 月北京第一次印刷
统一书号: 15045·总 947—无 248
定价: (9) 0.13 元

目 录

緒論	1
分頻器电路	4
最簡單的分頻器	5
具有功率放大器的分頻器	6
具有受激振盪器的分頻器	15
分頻器的特性	28
分頻器的应用	27
分頻器用于頻率穩定电路	27
分頻器用于調頻技术	29
分頻器用作濾波器	31

緒 論

現代無線電技術所應用的振蕩的頻率占據了一個很寬的頻帶，從十分之几赫至几万兆赫。

如果人們不能進行頻率變換，也就是說不能把對應於一定信號（語言、音樂、圖象等）的頻率（或頻帶）從一個波段移到另一個波段中去的話，那麼無線電技術就是不可思議的。在調制過程和檢波過程中，我們正是要利用到這種頻率變換。

但是，在許多情況下，需要一種與上述稍有不同頻率變換。有時需要將頻率準確地增加到一定的倍數，或者準確地減少到若干分之一。這兩種情況分別叫做倍頻或分頻。

這本小冊子是講述正弦振蕩的分頻器的，也就是講述那種能將正弦振蕩的頻率準確地減小到若干分之一的裝置，而脈沖振蕩的分頻器，在本書中則不加以講述。

分頻器是怎樣一種東西呢？分頻器是這樣一種裝置，它能夠分頻，也就是說能夠將頻率減小到若干分之一。我們不但可以把頻率減小到整數分之一，也可以減小到分數分之一。例如，我們既可以把頻率減小到二分之一，三分之一或五分之一，也可以減小到 $\frac{1}{3}$ 分之一、 $\frac{2}{5}$ 分之一等等。當然，後一種情況我們也可以說是把頻率增加到一个分數的倍數（ $\frac{3}{4}$ 倍， $\frac{5}{3}$ 倍等等），但是這與普通倍頻器把頻率增加到整數倍毫無共同之處。同時，在以後將要講到，它在原理上卻與把頻率減小到整數分之一的情況完全相同。

然而並不是所有能夠分頻的裝置，即能夠把頻率 f 變換成 f/n （數 n 稱為分頻系數）的裝置都可以稱為分頻器。稱為分頻器的裝置，除了能分頻以外，至少還應該滿足兩個要求。第一個要求是：

当輸入端所加电压的頻率改变时，輸出端电压的頻率也应该改变，而且要使得輸入端振蕩頻率与輸出端振蕩頻率之比值仍旧絕對准确地等于分頻系数；第二个要求是：当分頻器元件（电感，电阻，电容等等）的值改变时，只要所加电压的頻率維持不变，分頻器輸出端的頻率就完全不應該发生偏移。換句話說，分頻系数不应与分頻器的参数有关。

但是，只有在相应变化不太大，即輸入电压的頻率偏移不大，或分頻器元件的值变化不十分利害的时候，上述两个条件才能实际上滿足。

分頻器的一个显著特点是：已分頻率（即分頻器輸出端电压的頻率）的稳定度等于被分頻率的稳定度。的确，令被分頻率 f 增加 Δf 而等于 $f + \Delta f$ 。如果輸入端頻率 f 对应于輸出端頻率 f/n ，那么，当輸入端頻率增加 Δf 时，輸出端頻率就等于 $\frac{f + \Delta f}{n} = \frac{f}{n} + \frac{\Delta f}{n}$ 。換句話說，輸入端振蕩的頻率变量 Δf ，在輸出端所引起的頻率变量为它的 n 分之一。但是輸出端原始頻率也是輸入端原始頻率的 n 分之一，所以被分頻率的稳定度 $(\Delta f/f)$ 与已分頻率的稳定度 $(\Delta f/n : f/n = \Delta f/f)$ 是相等的。

因此，分頻器減小了頻率对其原始值的偏移，但此偏移和原始值的比值（即頻率稳定度）則保持不变。

分頻器可以降低頻率而不改变頻率稳定度这一情况以及分頻器在分頻时可以减小頻率偏移这一性質，在无綫电技术中得到了广泛的应用。

分頻器与普通变频器的区别可以用下面例子来表明。利用其原理图如图 1 所示的装置可以将頻率 f 变换成 $f/2$ （我們研究把頻率分小成二分之一的情況作为例子）。图中在混頻器 2 的輸入端有两个电压：其中一个电压的頻率是 f ，这电压是从主振蕩器 1 的輸出端供給的；而另一个电压的頻率是 f_0 ，它是从輔助振蕩器 3 供給的。在

混頻器輸出端产生了频率为 $f_s - f$ 和 $f_s + f$ 的振荡。如果选取 f_s 等于 $\frac{3}{2}f$ ，那么差频 $f_s - f$ 正好等于 $f/2$ ，也就是說我們得到了所要求的已分频率的电压。

但是上述这种由混頻器和輔助振荡器組成的装置并不是分頻器，而是普通的變頻器，因为这种装置并不滿足上述两个要求。这种装置与分頻器不同，当主振荡器的频率沒有发生变化时，差频也可能有变化而不等于 $f/2$ ，因为只要輔助振荡器的频率由于不稳定性而不等于 $\frac{3}{2}f$ 时，差频即随之而发生变化。

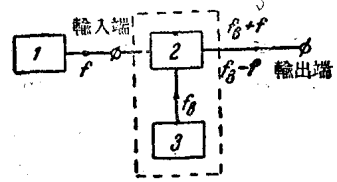


图1 能够得到原有频率之半的变頻器
1——主振荡器； 2——混頻器；
3——輔助振荡器。

正是由于这个緣故，当主振荡器的频率发生变化时，變頻器輸出端的频率变化可以是完全任意的，因为輔助振荡器与主振荡器完全沒有关系。不但如此，我們还可以想象这样一种情况：虽然主振荡器的自然振荡频率有了变化，但是由于輔助振荡器频率也作相应的变化而使混頻器輸出端的振荡频率总可以不发生变化。

因此，變頻器与分頻器不同，分頻器輸出端振荡频率的变化与輸入端频率的变化“坚固地”联系着，而變頻器輸出端振荡频率以相等的程度同时依赖于两个振荡器。这样，举例說，就使得變頻器輸出端电压频率的稳定度有时会小于主振荡器的频率稳定度，因为两个振荡器的频率的偏移可能是相加的。因此，与分頻器不同，在这种装置的輸出端不能得到与輸入端相同的频率稳定度。

分頻器应用于許多无綫电技术领域里，例如，在雷达和电视設備中，在广播用調频发射机中，在测量频率和时间的設備中，以及在有綫高频通信技术中都应用分頻器。

对分頻时所发生现象的主要的理論上和实验上的研究主要是在苏联完成的；如果不了解这些现象，那么分頻器就不可能获得如此

广泛的应用。苏联科学院院士Л.И. 曼捷尔什达穆和H.Д. 巴巴列克西在这些问题的研究上有特殊的贡献。

分频器电路

实际应用的正弦振荡分频器电路可以分成三类。

第一类是最简单的分频器，在这类分频器中靠着使分频器输入端电压波形发生畸变而得到已分频率的电压分量。在这类分频器中，能产生已分频率振荡的唯一电源就是被分频率电压振荡器，而分频器本身则是这样一种装置，它只使所加电压的波形发生这样的畸变，以致在输出端能够出现已分频率的振荡。在这种分频器中，不需要再有任何振荡器、电池或其他能源。

第二类分频器的特点是：当分频器的输入端加上电压且分频器具有足够大的放大量时，它能够激励出已分频率的振荡。在这类分频器中，激励振荡的过程与普通电子管振荡器中的激励振荡有许多共同之处。同时也还有着重大的区别，因为分频器中的激励只有当输入端加上电压时才有可能，而且振荡频率完全决定于输入电压的频率（与分频器元件的值毫无关系），并准确地等于输入频率的若干分之一。与第一类分频器不同，这类分频器的被分频率电压振荡器不再是已分频率振荡的电源，它的电压只不过是為了創造激励出已分振荡的必要条件而已。因为如果没有功率放大器以放大所生微弱振荡的功率就不可能激励出振荡来，所以在分频器中必须包含功率放大器。因此，这类分频器也称为具有功率放大器的分频器。这些功率放大器的阳极电池就是用以产生已分频率振荡的能源。

第三类分频器是这样一些分频器，其中有独立的振荡器，当被分频率电压没有加在分频器的输入端时，这些振荡器也可以产生振荡，而振荡频率也只决定于它们的参数，这与所有其他振荡器是一

样的。但是只有当分频器输入端没有电压时才是这样。如果输入端加有电压，并且还能满足某些补助条件的話，那么这个振荡器的振荡频率就等于外电压的分频，而且只决定于外电压的频率。这种情况我們叫做受激振荡器在作用频率的分谐波上的同步（ $\frac{f}{n}$ 称为频率 f 的分谐波，即分谐波为原来频率的若干分之一）。第三类分频器称为具有受激振荡器的分频器。

最简单的分频器

設想有一种装置，它有这样一种特性：如果在它的輸入端加上一个周期为 $T_{\text{輸入}}$ 的正弦电压（图 2, a），那么在一个周期內这个电压将其振荡輸給輸出端而没有畸变，但在另一个周期內則有一些畸变。例如，假設在每个偶周期內波形有畸变，而在每个奇周期內波形没有畸变（图 2, б）。在这种情况下輸出电压的周期 $T_{\text{輸出}} = 2T_{\text{輸入}}$ 。如果在每三个輸入振荡周期中的第三周期內发生畸变，那么 $T_{\text{輸出}} = 3T_{\text{輸入}}$ 。

在上述这个能产生畸变的装置之后接上一个滤波器，把它調諧到輸入频率的二分之一或三分之一，于是我們在輸出端就可得到已分频率的正弦电压。为了放大电压的振幅，可以把滤波器配合放大器一起使用（例如，使用諧振放大器）。

除此之外，如果这装置輸出端的振荡频率在某一范围內完全与綫路元件的大小无关，而只是决定于輸入端电压的频率，那么这样的装置实在就是正弦振荡的分频器了。

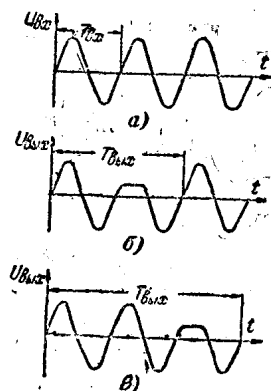


图 2 由于輸入电压波形发生畸变而得到分频

a——輸入电压； б——以 2 来分频时的輸出电压； в——以 3 来分频时的輸出电压。

在这里还要指出的是：我們使輸入端电压波形发生怎样的畸变是完全无关重要的，而重要的只是在每两个周期中的第二个周期內，电压波形与相邻两周期的波形不同（在以2来分頻的情况下）。因此，可以使所加电压波形在所有周期內都发生畸变，只要这些畸变对于不同周期來說是不相同的就行。

所謂磁分頻器就是屬於这一类分頻器。磁分頻器的优点是构造简单，机械强度大，以及效率很高。

具有功率放大器的分頻器

这类分頻器的主要元件是处在具有不同頻率(f_1 和 f_2)的两个电压作用下的变頻器。变頻器輸出电压是由两个正弦振蕩相加而成，其頻率為 $mf_1 \pm nf_2$ ，这里 m 和 n 都是正整数。这样形成的頻率称为組合頻率（或簡称頻率 f_1 和 f_2 的“組合”），而 m 与 n 的和称为組合頻率的“級”。可能有这样的組合頻率，例如： $1f_1 + 1f_2$ 和 $1f_1 - 1f_2$ （这两个組合的級均等于2）以及 $2f_1 + 2f_2$ （4級）等等。在这里我們要指出：在超外差接收机的变頻器（混頻器）中所形成的中頻就是一个二級的組合頻率 $f_s \sim f_c$ ，这里 f_s 是本机振蕩頻率， f_c 是信号頻率。

在分頻器的变頻器輸出端的組合頻率振蕩的功率，应大于加在变頻器輸入端那两个振蕩的任意一个的功率。这样的变頻器可以由无源元件（例如，氧化銅整流器，电真空二极管或鍍二极管）和普通的无畸变功率放大器构成，也可以由有源元件（例如，电真空三极管或半导体三极管）构成。在后一种情况下，在变頻过程中可能就包含有功率放大。

在給定的具体分頻器中，不管采取上述两种方法中的那一种来构成变頻器，分頻器都必須具有一定的放大量。在这里我們再一次指出：在最简单的分頻器中，放大器的存在与否只决定輸出端上已

分频率振荡的振幅的大小，而与能否分频一点也没有关系。相反地，在第二类分频器中，如果没有功率放大器，分频就是不可能的。

除了变频器 and 功率放大器外，第二类分频器中还应包括只让与已分频率 f/n 相近的振荡通过的滤波器。

具有功率放大器的分频器方框图如图 3 所示。图中放大器 1，滤波器 2 和变频器 3 构成了一个闭合电路（有回授的电路）。放大器 1 具有较宽的通带，其放大系数选择得使分频器输入端没有电压时，在分频器中不能激励出振荡来。作用在变频器上的有两个电压：一个是具有频率 f （需要分频的频率）的正弦电压，这电压作用在变频器的输入端（点 a），而另一个电压（作用在点 b）则具有频率 f/n ，是从分频器输出端而来的。

在下面我们用 2 来分频这样一个最简单的例子来研究一下分频器的作用原理。在最初瞬间，分频器还没有开始工作，其输出端电压是由各种电压起伏而引起的，是无数十分小的正弦电压的和。这些十分小的正弦电压具有所有的频率，其中也包括频率 $f/2$ 。由于这个复杂电压在变频器中与频率 f 的振荡相互作用的结果，在变频器的输出端出现了很多各种不同频率的振荡。

首先我们假设在变频器中只形成第二级的组合频率，于是由于频率 f 的振荡与频率 $f/2$ 的振荡相互作用的结果，就只产生差频 $f - f/2 = f/2$ 的振荡以及和频 $f + f/2 = 3f/2$ 的振荡。其他频率与频率 f 相组合也产生和组合频率以及差组合频率。但是在这些频率之中有一个频率占有很特殊的地位，这个频率就是 $f/2$ 。如果我们把频率 $f/2$ 加到变频器上（加在 b 点），那么，它与频率 f 相

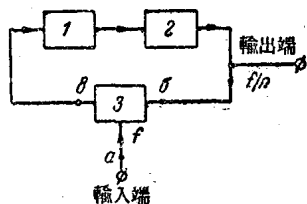


图 3 具有功率放大器的分频器方框图

- 1——功率放大器； 2——按频率 f/n 设计的滤波器；
3——变频器。

作用而在变频器的输出端 (B 点) 产生频率等于“它自己”的振荡, 这是因为在输出端除了形成频率 $\frac{3}{2}f$ 外, 频率 $f/2$ 又重新形成的缘故。任何其他频率都不具有这种特性, 在通过变频器时都不能“重复出现”。因此, 在系统中就能够激励出频率准确地等于 $f/2$ 的振荡。

事实上, 在变频器发生的具有频率为 $f/2$ 的电压为放大器 1 所放大, 这个电压自由地通过滤波器 2, 而重新加在变频器的输出端, 因而也重新加在变频器的输入端上。如果放大量超过闭合电路其他元件所引起的衰减的话, 那么频率为 $f/2$ 的电压, 由于通过回授电路而被放大。频率为 $f/2$ 的振荡的振幅将不断加大, 直至为装置的非直线性所阻止为止 (装置的非直线性可以是变频器中的, 可以是放大器中的, 或者这两部分中都包含有非直线性也可以)。一半频率的振荡就是这样激励出来的。

至于其他频率的振荡又将发生怎样的变化呢? 让我们来研究一下频率与 $f/2$ 很靠近的振荡 (频率为 f_1) 作为例子。无论 f_1 多么靠近 $f/2$, 频率 f 与频率 f_1 之差不再等于 f_1 了。因此, 具有频率 f_1 的振荡, 经过变频以后即改变了它自己的频率, 当它经过回授电路而进入变频器的时候, 就已经不能在其中产生频率 f_1 的振荡了。尤其是频率距离 $f/2$ 很远的振荡, 就更加不能激励出来, 这首先是因为对于这些频率来说, 上面对于频率 f_1 所说的仍然有效, 其次是由于滤波器会給这些频率的振荡带来很大的衰减。

这样一来, 如果在我們所讨论的装置中, 在频率为 f 的外部电压作用下激励出振荡来的话, 那么振荡频率只可能等于 $f/2$ 。任意脱离这个关系的偏移, 即使是任意小的偏移, 都是不可能的。因此, 在这种情况下, 分频系数等于 2。为了能激励出振荡来, 闭合电路 (对频率为 $f/2$ 的电压而言) 中的放大量必须超过相应的衰减。

但上述情况还不足以说明系统是一个分频器。现在我们来看看

輸入电压頻率的变化（裝置的参数不变）以及参数的变化（輸入电压頻率不变）对輸出电压頻率有些怎么样的影响。

頻率 f 的变化对变频过程的本身是没有什么影响的，但是如果 f 的变化很大，那么滤波器2将帶給变频产生的电压較大的衰减，从而使振蕩可能停止下来。但是当这种現象沒有发生的时候，裝置輸出端振蕩頻率将追随着輸入端振蕩頻率，前者仍然准确地等于后者的一半。

如果輸入振蕩的頻率不变，而发生变化的只是裝置的某些元件的值，那么虽然如此，輸出端电压的頻率仍将完全不变。但是在这种情况下，振蕩也是可能消失的（例如，当滤波器由于其元件的值发生变化而开始对頻率為 $f/2$ 的振蕩有很大衰减的时候）。

現在我們把上面所講的做个总结。在由处在被分頻率电压作用下的变频器、功率放大器以及設計在已分頻率附近的滤波器三者构成的具有回授的裝置中，能够激励出頻率等于輸入端頻率的二分之一的振蕩来。既然这样的振蕩是在电路中激励出来的，那么振蕩的电源就是使振蕩有可能产生的放大器。但是激励的发生只有在外加电压存在时才有可能。外加电压与輸出电压一起作用在变频器上，形成了組合頻率电压，其中一个組合頻率就是已分頻率。因此，变频器就是分頻器中能够改变輸入电压頻率的一个主要部件。

上面我們研究了在变频器中只产生二級組合頻率的情况。在这种情况下，分頻系数等于2。决定已分頻率的法則的一般形式可以表述如下：

在分頻器中激励出并分頻器輸出端进入变频器的振蕩，其頻率是这样的，就是在它与被分（輸入）頻率构成的組合頻率中，有一个重新等于輸出电压的頻率。

如果用 $f_{\text{輸出}}$ 表示輸出电压的頻率，而用 f 表示輸入电压的頻率，那么在我們所討論的情况下，上述条件可以写成：

$$f - f_{\text{輸出}} = f_{\text{輸出}},$$

或

$$f + f_{\text{輸出}} = f_{\text{輸出}}.$$

显然，第二个等式是不能满足的，而从第一个等式我們得到 $f_{\text{輸出}} = \frac{f}{2}$ 。由此可見，和的組合頻率与差的組合頻率不同，它的形成并不能作为发生分頻过程的原因。

为了以大于 2 的数来分頻，就必须应用高于二級的組合。例如，如果頻率 $f_{\text{輸出}}$ 与被分頻率 f 构成三級的組合頻率 $f - 2 f_{\text{輸出}}$ ，那么激励出来的振蕩的頻率应该滿足条件 $f - 2 f_{\text{輸出}} = f_{\text{輸出}}$ 。由此可得 $f_{\text{輸出}} = f/3$ ，也就是說，应用三級組合頻率时我們得到將輸入頻率减小到三分之一的分頻。用以分頻的数越大，組合的級也应越高。提高組合的級就可以实现以分数来分頻。例如，如果我們应用組合頻率 $3 f - f_{\text{輸出}}$ ，那么我們就可实现以 $2/3$ 来分頻（或 $3/2$ 倍倍頻）。这样一来，以分数来分頻与以大于 2 的整数来分頻毫无不同之处。

在我們所討論的情况下，我們必須提高变频器中組合頻率的級。要提高組合頻率的級是有一定困难的，这就使以大的数来分頻大大地困难起来，而有时甚至于成为不可能。

为了在具有功率放大器的分頻器中产生已分頻率的振蕩，輸入电压的振幅照例应该在一定范围之内。当提高組合頻率的級时，这个范围的上下限就不断靠近，并且必要的最小振幅在不断地增加。在某些情况下，如果分頻器沒有受到特別的作用，那么振蕩的激励一般是不可能的。如果說在分頻系数很小时，可以使分頻器輸出电压的波形与正弦波形十分靠近，那么当以大的数来分頻时，波形就会有显著的畸变，同时已分頻率振蕩的振幅也在减小，以至于甚至在电路元件的值变动不大时分頻过程也会遭到破坏。由于这个緣故，分頻系数越大，分頻也就越难。

在需要获得稳定的以很大数字（好几百）来分频时，我們常常不得不把大量分频器串联起来，这样当然就会使得整个装置大大地复杂化，而其价格也就大大地昂贵起来。所有这些不利的因素迫使我們去寻找其他途径来设计这些装置的电路。例如，人們曾經建議过使用这样一种分频器，它不是具有一个变频器（如图3的电路中所示），而是具有两个变频器。这样做的目的，在于以大于2的数来分频时也可以应用二級組合。

具有两个变频器的分频器的方框图如图4所示。图中除了包含放大器1，按频率 f/n 设计的滤波器2以及变频器4以外，还包含有具有相应滤波器的第二个变频器3（倍频器）。假设我們需要把频率 f 减小到三分之一。在这种情况下我們选择倍频系数等于2。频率为 $f/3$ 的振荡进入倍频器的輸入端，倍频器把它变成频率为 $2f/3$ 的振荡。这样一来，就有两个电压作用于变频器4（与图3电路中的变频器3相似），其中一个电压具有频率 f ，而另一个电压則具有频率 $2f/3$ 。这两个频率的二級差频 $f - 2f/3$ 重新給出频率 $f/3$ ，所以当放大量足够大时，频率 $f/3$ 的振荡就可以为反馈电路所維持，而将不断地加在分频率的输出端。

这样，利用了倍频以后，我們总是可以在变频器中应用二級組合频率；要提高分频系数只需增大倍频器的倍频系数即可（例如，以4分频时倍频系数应等于3）。

二級組合频率的应用在很大程度上消除了上面所講的具有大分频系数的分频器的缺点。因此，具有倍频器的分频器电路得到了广

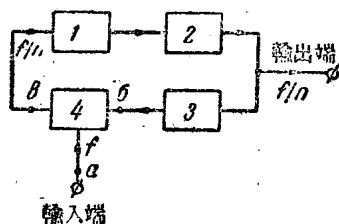


图4 具有一个功率放大器和两个变频器的分频器方框图。

1——功率放大器；2——倍频器，按频率 f/n 设计的滤波器；3——具有按倍频设计的滤波器；4——变频器。

泛的应用。

具有功率放大器的实际分频器电路。图5表示分频系数等于2的分频器电路，这种分频器可以用来分几兆赫以下的频率。分频器是由具有电子管6Ж4的谐振放大器和具有半导体整流元件的变频器

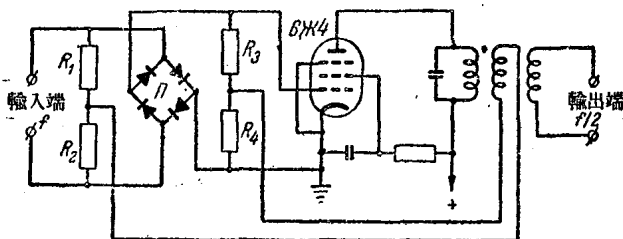


图5 具有功率放大器和环形变频器的分频器电路（分频系数等于2）

器构成的，变频器是按“环形”线路做成。在图中形成了闭合回路如下：放大管栅极——放大管的阳极电路（带有调谐在一半输入频率上的谐振回路）——回授线圈——环形变频器Π的电阻的中点。这种分频器的优点首先是其中包含有能给输入频率的电压带来很大衰减的环形变频器，其次是输出电压的波形接近于正弦波形。

如果在普通变频器（例如单管混频器）的输入端加上频率不同的两个电压，那么在变频器的输出电压中，除了包含差频与和频两个分量外，还包含了加在变频器输入端的频率的分量。但是在环形变频器的输出端输入频率分量是不存在的（它们由于变频器的特殊电路而被抑制住了），因此在分频器的环形变频器的输出端，就没有频率为 f 的电压以及具有从回授电路来的振荡频率的电压。而在电子管控制栅上出现频率 $f/2$ ，并不是由于回授电路来的振荡直接通过变频器的结果，而是由于它们与频率 f 的振荡相互作用的缘故。这样一来，当没有输入电压时，在分频器中就不可能激励出振荡来，因为在这种情况下，通过变频器的回授电路是被断开了。

应该指出，变频器中的半导体整流元件和电阻都是应该很仔细地选择的（整流元件的参数应互相接近，而 $R_1=R_2$, $R_3=R_4$ ）。锲二极管或氧化铜元件都可以用作整流元件（后者只在分低频时使用）。

虽然带环形变频器的分频器具有上述的优点，但是人们常常采用更为简单的仅用电子管做成的变频器电路。在这种情况下，在变频的过程中伴有放大过程，这有时使我们有可能会在分频器电路中不接入放大器。

图 6 表示这类分频器的一种电路，其分频系数大于 2。第一级具有电子管 Π_1 ，是一个变频器，其阳极谐振回路 LC 调谐在差频

$$f - (n-1) \frac{f}{n} = \frac{f}{n}$$

上。

频率为 $(n-1) \frac{f}{n}$ 的振荡从倍频器（其倍频系数等于 $n-1$ ），的输出端加在变频器上，

而频率为 f/n 的振荡则从变频器的阳极谐振回路加到倍频器的输入端上。

级间耦合（电路 C_1 R_1 和电路 C_2R_2 的参数）和电子管的工作状态应该这样来选择，以使在输入端没有电压时系统不至于激励出振荡来。

我们可以采用普通的混频管作为变频管，而作为倍频的电子管，则可采用电子管 6Ж4，这电子

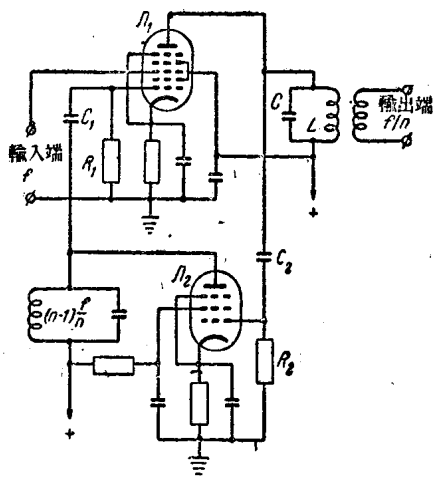


图 6 包含有源变频器和倍频器的、带功率放大器的分频器电路（分频系数大于 2）。

管的工作状态应该这样选择，以便获得振幅足够大的所需谐波。

在与图 6 所示电路相似的电路中，也常常采用由半导体整流元件做成的环形变频器，以代替电子管变频器，但倍频器通常都是由电子管做成。

刚才所研究的分频器电路是较好的。这种电路的主要优点在于分频过程具有很高的稳定度，即使在电源电压和装置参数（其中包括谐振回路的自然频率）等等有很大变动时，分频过程也不因此而遭到破坏。其次，这种电路的分频系数也是足够稳定的，这与其他型式的分频器不同，当电源电压或装置的参数发生变化时，其他分频器的分频系数可能发生跳跃式的变化。再其次，这种分频器输出电压的波形，在很好地选择工作状态和输入电压振幅的情况下也是接近于正弦波形的。

但是这种分频器很是复杂，因此我们常常采用质量指标虽较低，但构造却较简单的分频器来代替它们。在较简单的分频器中，利用同一部件来完成变频过程，而在复杂的分频器中，变频过程由好几个部件来完成。图 7 表示一个简单的分频器电路，这个分频器的分频系数等于 5。图中在电子管（用作三极管）的控制栅极上加以频率为 f 的电压（从输入端来）以及频率 $f/5$ 的电压（从回授线圈来）。由于电子管特性曲线的非直线性，在阳极谐振回路中可以分

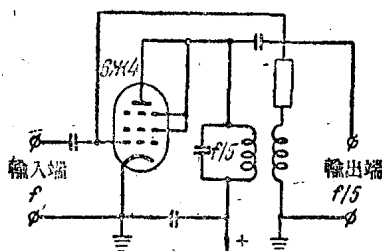


图 7 具有功率放大器的简化分频器电路

出五级组合频率 ($f - 4 \frac{f}{5} = \frac{f}{5}$)。这样一来，一个能产生高级组合的变频器即可代替一个产生二级组合的变频器和一个倍频器的联合。在这种装置中，分频过程的进行情况与图 4 所示分频器的分频过程相同。

应用了这样高级的组合频率以后，分频器的稳定度就显著地降