

电磁振动机的理论、计算 和励磁问题

[苏] Г. Б. 别罗扎什维利
B. H. 格拉什维利

张宏智 译

李庆萱 校

机械工业出版社

本书是关于电磁振动技术的专题著作，书中对电磁振动技术作了一系列新颖、独到而又实用的阐述。着重阐明了电磁振动机新式励磁电路工作原理的理论基础，它们的供电、控制以及用外加直流电源进行辅助磁化等问题。

此外，书中还介绍了新式辅助磁化电磁振动机的计算方法和主要电机机械参数的调节问题，同时谈到在国民经济中采用这些机器的效果以及它们的发展前景。

本书可供从事电工技术和电机专业的技术人员以及在科研、实验和设计部门从事电磁振动机设计和制造的科技人员参考。

**ТЕОРИЯ, РАСЧЕТ И ВОПРОСЫ
ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН**

Г. В. БЕРОЗАШВИЛИ, В. Н. ГЕЛАШВИЛИ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «САБЧОТА САКАРТВЕЛО»
ТБИЛИСИ, 1978

**电磁振动机的理论、计算
和励磁问题**

[苏] Г. В. 别罗扎什维利 В. Н. 格拉什维利
张宏智 译 李庆萱 校

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/32 ·印张5¹/₂ ·字数117千字

1985年9月重庆第一版·1985年9月重庆第一次印刷

印数 0.001—4,420 ·定价 1.40 元

统一书号：15033·5822

译 者 的 话

电磁振动机是一种结构简单而又经济的往复运动振动机，是机械化和自动化装置中的重要部件。随着力能指标的提高和使用特性的不断改善，电磁振动机已在国民经济各部门中展现其广阔的应用前景。

本书第一、二章为电磁振动机的分类和基本理论。第三章为电磁振动机的供电电路和带辅助磁化的电磁振动机的设计计算程序。第四章介绍了电磁振动机的实际应用。

在译文中，对原书的一般错误作了更正，并对重大错误加了译者注，供读者参考。

由于时间及水平所限，译文难免有错误，恳请读者批评指正。

一九八三年十一月

前 言

在实现科学技术革命的新阶段中，广泛研究和采用综合机械化和自动化装置具有特别重要的意义。在调节工艺过程的自动化系统和电力拖动及其它装置中，经常使用各种类型的电机。而且多年来，主要是使用旋转电机。但是，由于电磁振动机能使机械作往复运动，因而近年来在工业中获得广泛应用。就能量指标而言，电磁振动机略低于旋转电机。但因为不需要将旋转运动转化为往复直线运动的附加装置，因此结构简单，比其它振动机构更为经济。

振动技术及相应的振动机的科学虽刚刚形成为一门独立的学科，但最近几年中已获得了显著发展，其应用范围也逐步扩大。苏联、美国、联邦德国、法国、意大利、英国、南斯拉夫和世界上其它各国在电磁振动机生产方面做了大量的工作。

在苏联，这些机器已应用于冶金、建筑、矿山选矿、食品工业、运输、电工工业、农业、日用工具等方面^[6,7,8,47,57,59,71]。

在苏联，一贯从事电磁振动机各类问题研究的部门有：全苏电工研究所(ВЭИ)，斯科奇斯基儿童玩具厂(ИГДим Скопинский)，全苏小型电机工艺科学研究所(ВНИИТМЭ)，格鲁吉亚动力工程及水工建筑物科学研究所(ГрузиниИЭГС)，梯比里斯电遥测科学研究所(ТНИИЭТИ)，全苏建筑及道路工程机械制造科学研究所(ВНИИстройдормаш)，有用矿物机械加工科学研究设计院(МЕХАНОБР)，莫斯科农业生产工程学院(МИИСП)。

格鲁吉亚农业机械化电气化科学研究所(ГрузНИИМЭСХ)及其它一些组织。

从事振动技术理论和实验研究的苏联学者有: И.И.阿尔托鲍列夫斯基(И.И.Артоболевский), И.И.勃列赫曼(И.И.Блехман), К.М.拉古利斯基(К.М.Рагульский), И.И.贝霍夫斯基(И.И.Бнховский), Д.Д.巴尔坎(Д.Д.Баркан), Н.Ф.冈恰拉维奇(Н.Ф.Гончаревичи), Г.Ю.德扎涅利德泽(Г.Ю.Джанелидзе), А.А.杜勃罗夫斯基(А.А.Дубровский), Л.П.列文(Л.П.Левин) А.И.莫斯科维京(А.И.Москвитин), Д.Д.马尔金(Д.Д.Малкин), В.А.波维戴洛(В.А.Повидайло), В.Н.波图拉耶夫(В.Н.Потураев), М.В.赫文基(М.В.Хвингий)等。许多学者对发展振动系统的新结构以及电磁振动机合理的供电线路设计作出了重要贡献^[2]。

本书所引用的大部分资料是首次公开发表。在所分析的系统中, 所引证的研究资料阐明了往复直线运动电磁振动机新的重要原理。同时阐明了励磁方式及电机械参数的调节。除此以外, 作者提出了励磁和供电的相补偿电路的新理论以及在辅助磁化时电磁振动机的计算方法, 并详细地研究了稳态及过渡状态下的物理过程。

对于考虑奇次谐波时工作电压和电流的研究业已完成。书中说明了标准磁路下电磁振动机的计算方法。在处理实验数据的过程中部分地采用了现代计算技术。

本书对振动技术作了一系列新颖的, 独到而又实用的阐述。并阐明了在生产中的某些使用效果。

由于本书篇幅有限, 作者不能更多地介绍目前在苏联及其它国家正在进行的探索性工作。本书所引用的资料, 不仅

对于现在，而且对于将来用于国民经济中的振动技术也作了充分的叙述。

科学技术博士、教授 杜勃罗夫斯基
(А.А.ДУБРОВСКИЙ)

目 录

译者的话

前言

第一章 电磁振动机的分类	1
1. 振动过程和现代电磁振动机	1
2. 反应式单拍电磁振动机	2
3. 同步电磁振动机	13
4. 冲击式电磁振动机	19
5. 复拍电磁振动机	23
6. 电磁振动机的结构	27
第二章 电磁振动机动力学	42
1. 电动状态下的电磁振动机	42
2. 电磁振动机的磁能	44
3. 考虑脉动电动势和运动电动势时电磁振动机中衔铁运 动的动力学	45
4. 电磁振动机磁动势的基本方程	47
第三章 电磁振动机控制和励磁的基本原理	52
1. 电磁振动机相平衡电路的分类	52
2. 以组合方式供电的单绕组反应式电磁振动机的相 平衡装置	53
3. 单绕组电磁振动机组合供电的相平衡电路	66
4. 单绕组同步电磁振动机组合供电的相平衡电路	76
5. 单独供电的单绕组和多绕组电磁振动机的相平衡电路	81
6. 用附加直流电源辅助磁化的电磁振动机的供电电路	89
7. 带有自身辅助磁化的电磁振动机的供电电路	93
8. 带辅助磁化的电磁振动机的计算方法	101

确定弹簧刚度	107
振动机械弹簧的验算	107
确定联接块的重量	108
确定基本振动参数	108
确定励磁的基本电参数	111
调节电阻器的计算和线圈的热校验	123
确定电磁振动机的效率	126
电磁振动机的控制电路	127
电磁振动机的供电装置	128
第四章 电磁振动机在国民经济中的应用	133
1. 电磁振动机在电工工业中的应用	133
2. 电磁振动机在建筑业中的应用	139
3. 振动运输装置	152
4. 电磁振动机在农业中的应用	154
结束语	161
参考文献	163

第一章 电磁振动机的分类

近年来，往复直线运动电机已广泛应用于国民经济的各个领域。它既能将电能转换为机械能，也可将机械振动能转化为电能。这种多功能电机与其它形式的拖动机相比，具有结构简单，体积小，材料利用合理，重量轻等优点。电磁振动机可做成不同功率、不同电压和不同机械振动频率的单相电机。这种电机的特点是使用可靠，寿命长，磁路结构简单，运行维护简单，能量的输入输出方便等等^[5, 12, 86]。

总的来讲，电机可分为往复直线式及旋转式两大类。由力能指标来看，电磁振动机远不如旋转电机，但与旋转电机相比它的结构很简单，更重要的是它能适应各种振动机械的工作特点，并且不象其它电机那样，在改变运动形式时需要复杂的附加装置。

在工业上采用电磁振动机的实践表明，由于它本身的力能指标和运行指标较低，因而阻碍了它的广泛应用^[53, 54]。如上所述，这种电机的力能指标比旋转电机差，它的功率因数和效率都较低($\cos\varphi=0.2$ ，效率为30%)。

电磁振动机虽然结构简单，但由于存在上述严重缺点，所以不仅限制了它在电工行业中的应用，而且也在某种程度上阻碍了它在国民经济的其它部门的应用。电磁振动机基本可以分为单拍、复拍和冲击往复直线运动式三类。

1 振动过程和现代电磁振动机

当交流或脉动电流通过磁化绕组时，在电枢与定子之间

的气隙中形成了主工作磁通，因而产生了电磁振动机的振动动力。

这些机器的共同特点是：靠电枢运动时改变绕组电感的调制深度而形成其有效机械功率。而电感可以与供馈交流电的频率或它的二次谐波的倍频同步地改变。

2. 反应式单拍电磁振动机

最简单的电磁振动机是反应式单拍电磁振动机。如图1和图2所示，它们由下列元件组成：II型或III型的定子1，电枢2，弹性元件3和载流绕组4。反应式电磁振动机的绕组直接与交流电源联接。振动机的振动力是一种周期性的变化力，其频率等于两倍的交流电源的频率，这个力能使振动机振动。

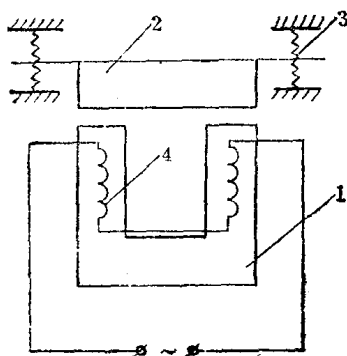


图1 反应式单拍电磁振动机

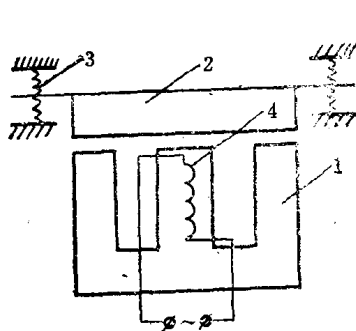


图2 反应式单拍电磁振动机

尽管它们结构简单，但是电磁振动机作为消耗电能的元件，它具有非常低的技术运行指标，它的效率为25%左右，而功率因数在0.25~0.27之内^[66,14]。由于这种情况，电磁振动机作为拖动振动机械使用时受到了一定的限制。

为了提高反应式电磁振动机的力能指标，可采取如下措施：

(1) 借助电容产生电流谐振。在电动状态下，这些机器的电感调制深度系数较大，它可达到0.6，因此不可能完全补偿无功分量。有电容补偿时， $\cos\varphi$ 最大值也不超过0.3，因此远远不能满足要求，而且也不能补偿所增加的费用。

(2) 调整电磁振动机系统，使其在电流二次谐波频率下产生机械谐振。

在这种情况下，最大的 $\cos\varphi$ 可增加到0.4，但这种工作状态不稳定，需经常调节弹性元件，因而使得运行大为复杂。由于这个原因而经常使电磁振动机处于即将发生谐振状态，这时最大的 $\cos\varphi$ 值不超过0.3^[59, 60]。

(3) 为了减小电感调制深度系数而改变电磁振动机的磁路结构。这类结构包括：外电枢式和内电枢式以及费列时温格尔式电磁振动机^[62]，但用这些方法都不能收到明显的效果。

(4) 采用高档电工材料。从经济观点来看，以上方法都不能获得明显的好效果。为了提高效率和功率因数，反应式电磁振动机可以采用脉动工作状态。

如图3所示，这个电磁振动机的供电电路不同于图1和图2所示电路，它带有一个与线圈相串联的单相半

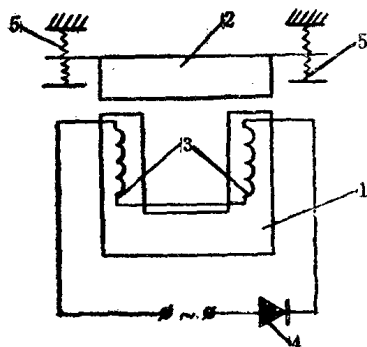


图3 带整流器的反应式电磁振动机

波整流元件4和弹性元件5。这个电磁振动机的机械频率等于电源频率。由于有整流的直流分量，使它的 $\cos\varphi$ 提高到0.35，同样相应地提高了它的效率。该电路的不足之处是在电路的交流回路中有整流的直流分量。

用直流励磁的振动机本身带有整流器(参看图4)。有用矿物机械加工科学研究设计院的Л. П. 列文提出带有整流器

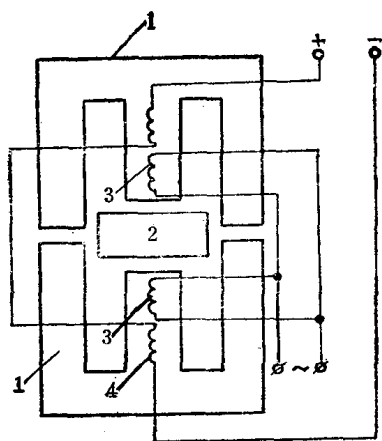


图4 用直流电源进行复合磁化的电磁振动机

的直流励磁的振动机，并将它用于传动机，供料机，筛选机的拖动。这些电磁振动机的工作原理是：在定子上有两个绕组并且用交流和直流励磁，从而在定子里产生脉动磁通。脉动磁通作用于机器的电枢上而使电枢振动。此时电枢振动的频率等于交流电的频率。尽管所采用的附加励磁供电电路是简单的，但总的工作效率和 $\cos\varphi$ 较低，所以这个供电电路没有获得实际的应用。

近来，为了简化电磁振动机的系统，采用永久磁铁的电磁振动机有了较大的发展。带永久磁铁的电磁振动机的振动频率等于电源频率。这种机器与其它机器相比，其主要优点是能直接由交流电路供电而不需要某个附加的电抗元件，从而提高了使用的可靠性。

永磁式电磁振动机如图5所示，它由下列元件组成：装有交流绕组2的III型铁心1，马蹄型永久磁铁3和弹性元件4。

铁心固定在振动器的工作机构上。永久磁铁与阻尼装置连在一起。永久磁铁在电磁铁的气隙中移动。在此情况下，由于永久磁铁的极性是不变的，而电磁铁的极性是以电源频率在改变

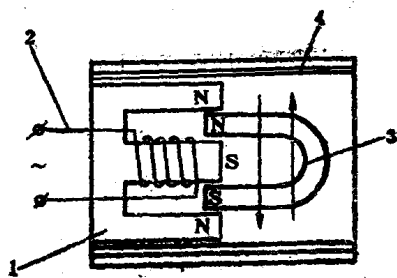


图5 带有永久磁铁的电磁振动机

着，因而导致周期性地拉推磁铁。如图所示，永久磁铁的北极被上面磁极推离并被电磁铁中间极吸引。永久磁铁的南极则相反，它被电磁铁的中间极排斥并被吸向下面那一极。由此可知，在振动机的两部分中同时有四个作用力，两个推力和两个吸力，使磁铁发生相对移动。磁极的吸力随着磁铁间间隙的减小而增加，而磁极的排斥力由于磁铁间间隙的逐渐增加而减小。在电流方向改变时，电磁铁的极性也改变，所以振动机运动部件又向相反的方向运动。

由于磁通经过电磁铁和永久磁铁而形成回路，因而显示出辅助磁化的作用。在这种情况下去磁力不大，因为吸力总比斥力大很多倍，则永久磁铁在振动机工作过程中也不会去磁。

这种系统的电磁振动机传递给工作机构的不仅仅是定向的脉冲力，而且有交变的力矩。产生这个力矩是因为振动机两个运动部分的重心不是沿一条直线而是沿着两条平行的直线运动。两条平行直线间的距离即为力臂的大小。这个作用力的综合特点在许多情况下是极为有用的。例如，此种振动器可作为料箱的推动器。

但是在大功率电磁振动机中使用这种机械振动励磁系统

不合适。所以大功率振动拖动机构不采用这种励磁系统。对小功率电磁振动机，为了在一定的范围内微调它的机械振动和频率，有时采用铁磁谐振原理。

铁磁谐振机械振动器的原理可参看图 6，它由下列元件组成：交流牵引磁铁 1 及与线圈相串联的电容 R_c ，电枢 2 放在弹簧 3 的自由端。当接上电源电压时，如果电容和气隙值符合产生电压谐振的条件，那么电枢即产生振动并作往复直线运动。这就是该系统的动作原理。铁心的牵引是靠磁铁的拉力，而释放是靠弹簧的推力。这个振动运动的特点是电枢振动的频率可能不同于电网频率。振动机振动频率的调节是借助于饱和扼流圈来实现的。该线圈可以与电容或牵引磁铁的线圈或是并联，或是串联。铁磁谐振电磁振动机的电路及结构均比较

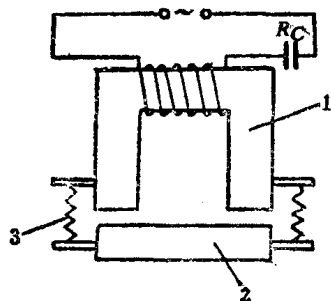


图 6 铁磁谐振电磁振动机

简单。在需要调节工作状态的小功率振动机中，有可能获得较广泛的应用。

在电动状态下，为了平滑调节电磁振动机的振幅和频率，敖德萨工艺学院设计了离子控制的装置，它的振动频率可在较大的范围内调节。

离子控制电路原理可参看图 7，它由下列部件组成：振动机 2，电枢 1，支撑 3 用于固定振动机，牵引电磁铁 4 产生的脉冲力使电枢发生振动。系统中其余元件均为控制电磁铁的部分，它可供给电磁铁所需频率的脉冲电压。电磁振动机的工作过程如下：牵引电磁铁 4 的线圈与闸流管串联后接入交

流电路。当闸流管导通时，电磁铁线圈有电流流过并吸引电枢，同时使弹簧压缩。在闸流管不导通时，电磁铁断电，电枢在弹簧作用下恢复到初始位置，并由于惯性作用而继续向相反方向偏移。如果给闸流管栅极以导通或截止的电压，使得

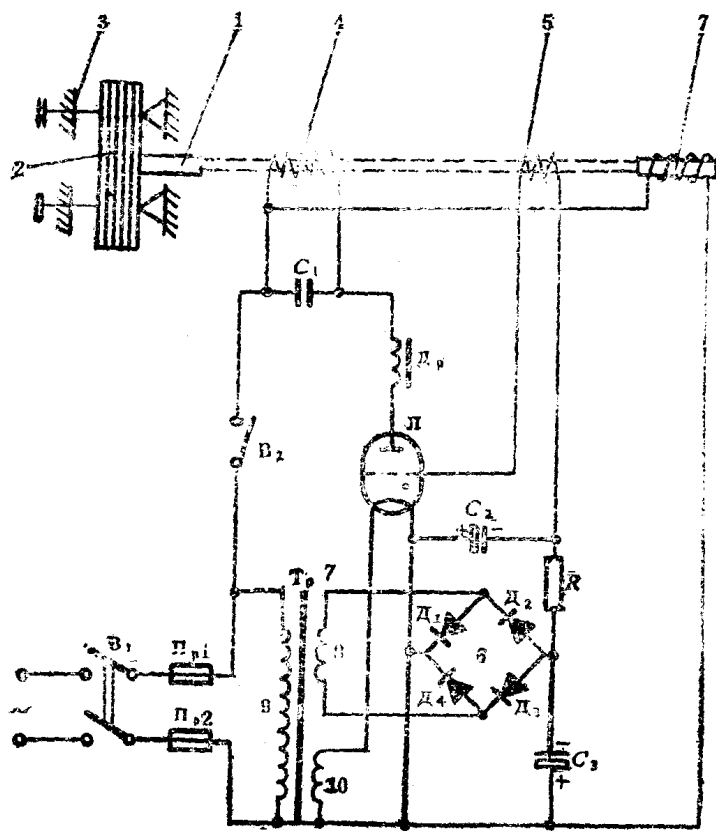


图7 电磁振动机的控制电路⊖

⊖原图误将变压器上部原绕组与次级绕组相连，应改为变压器下部原绕组与次级绕组相连。——译者注

闸流管以一定的频率周期性的导通和截止，则可以保证电枢作相应振动。

截止电压采用带相应滤波器的小型整流器 6 供给。整流器用降压变压器的次级绕组 8 供电。而使闸流管导通的栅极交变电压是由变压器绕组 9、10 供给的，并借助可动铁心 7 改变变压器初级绕组 9 与次级绕组 8 之间的耦合。铁心位于线圈内部时耦合最强，铁心在线圈外部时耦合最弱。改变铁心位置，绕组 8 上的电压便可在一定范围内改变，靠改变铁心位置使电压达最小值而使闸流管导通。

从以上情况可知：变压器铁心作直线运动可使闸流管周期地导通和截止，并且引起牵引电磁铁的振动。与此同时，电枢的振动应使变压器铁心移动，为了这个目的，这两部分要有机械的联系。这种联系应使电枢被拉入线圈后闸流管截止、电枢离开线圈时闸流管导通。闸流管栅极回路与它的阳极回路的耦合关系也应保证振机电枢作连续往复直线运动。电磁振动机的机械振动频率取决于弹性系统的固有频率，并且能在每分钟 50~1000 次的范围里调整。

但是，只有需要经常在大范围内调节振动频率时，使用这个系统控制电磁振动机才是合理的。

在振动运输机的拖动中广泛使用线圈移动型电磁振动机，它是带有整流器或带有直流励磁的反应式振动机^[69]。

最简单的电磁振动机是线圈可移动的电磁振动机，如图 8 所示。它由下列元件组成：定子 1，固定在弹簧 3 上的电枢 2，在电枢上固定着装有可动绕组 5 的骨架 4，该绕组用交流电供电。流过可动绕组的交流电与环形气隙中直流磁化磁通相互作用产生对电枢的拉力。电枢的振动频率等于交流电的频率。在这种类型的振动机中，可动绕组可用半波整流器供电

(如图9所示)。由于采用半波整流供电,就有可能出现这种状态,当振动机处在较大振幅下工作时,其频率偏离系统的基本谐振点的频率。

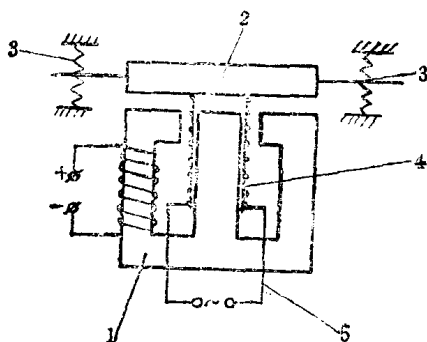


图8 带有可动线圈的电磁振动机

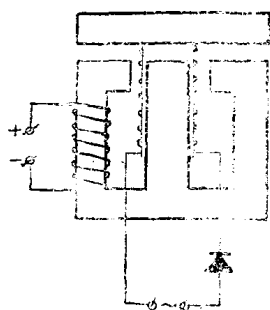


图9 可动线圈带整流器的电磁振动机

由于振动机磁路中交变磁通的脉动面在辅助磁化绕组中感生电动势,因而引起振动机载流绕组的发热,这是这类机器的缺点。

图10所示为格鲁吉亚农业机械化电气化科学研究所设计的、用可控硅控制的自动调节电磁振动机机械振动频率的通用电路。装置由下列主要元件组成:电源;晶体管-磁性转换器——II(包括晶体管 T_1 和 T_2 ,变压器 T_{p-1});晶体管推挽放大转换器和作为负载的电磁振动机带有中心抽头的两个线圈。上述自动调节和控制电路可使电磁振动机机械振动频率在10到150赫的范围内平滑地改变。

但是,这种自动调节电磁振动机机械参数的系统比较复杂,而且需要由外部因素进行特殊补偿。因此只是在有特殊要求时才使用它。

Л.М.希利基涅尔(Л. М. Шильдинер) 工程师设计