

原 序

苏共第十九次党代表大会向苏联人民提出了发展国民经济的巨大任务。要胜利地完成这项任务，只有用先进的技术把工业企业部门装备起来和培养出大批精通先进技术的干部。

应用高频电流是运用现代技术的最有效的方法之一。

各种材料的高频热处理在国民经济中的应用已越来越广泛。要掌握高频技术，必须运用“B. П. 沃洛格金教授”高频电流科学研究所的经验。因为该院从事工业用高频电流加热金属和其他材料的研究工作已有很多年。

本书是第一次尝试通俗地阐述有关用机动发电机供电给高频装置方面所积累的经验。

目 录

原序

1. 高频装置的主要元件及其用途	1
2. 自动控制用的辅助元件	17
3. 淬火过程的自动控制	27
4. 高频装置的集中供电	31
5. 高频电能的输送	40
6. 加热装置的调整	46
7. 由 100 千瓦 8,000 周的发电机供电的高频装置——万能淬火机的主要电气设备及仪器的范例明细表	51

1. 高頻裝置的主要元件及其用途

高頻裝置是由與電力系統聯結的一些通用元件構成的。每個元件均有其固有的用途，並以此確定它在電路內的位置。高頻裝置工作的可靠性、運轉上的便利和熱處理結果的穩定性是取決於正確地選擇設備元件的型別和線路中元件的相互聯系以及它們的布置。

現代化的車間常裝備有高頻裝置，因此它們的供電及高頻電能輸送管道等問題就有着特殊重要的意義。

採用集中供電可將高頻發電機裝在總變電站上，並把它們和加熱裝置聯接到公用母線上。

廣泛地應用集中供電，能大大提高發電機安裝容量的利用和改善負荷狀況，同時也簡化了電能的輸送系統。

熟悉熔煉金屬、鋼件淬火及鍛件毛坯加熱用的高頻裝置後，我們發現它們有一些通用的元件。每台裝置都是由感應器、高頻電源、提高負荷功率因數的電容器組、接觸器、測量儀器和自動控制設備等元件所組成。

要進行感應加熱，首先應具備感應器。感應器在構造上是有區別的（圖1、2和3）。它們的尺寸和外形由需要淬火的零件、被加

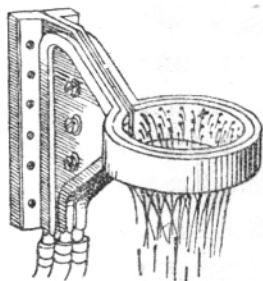


圖 1. 同時感應加熱法用的
的淬火感應器

热毛坯的尺寸及外形或感应炉坩埚的容积决定之。高频电流通过感应器,即在其内产生交变磁场,放在感应器内的金属中就感应出电流来,这电流就使金属发热^①。

高频电流是由专用的高频发电机供给的,该发电机是高频装置的第二个必备元件。

工业中广泛应用的发电机有两类:频率达到10,000周的机动发电机(或称电动机-发电机组)和射频在100,000周以上的电子管振荡器^②。

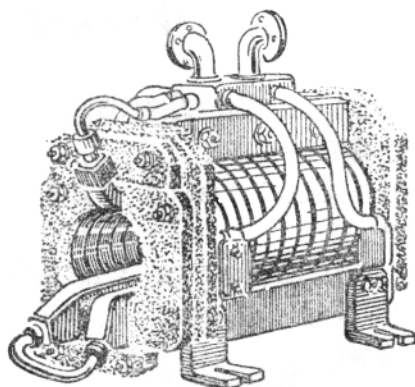


图 2. 感应加热锻件毛坯用的多匝感应器

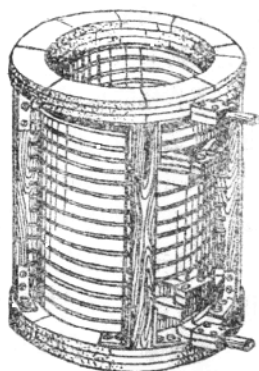


图 3. 熔炉感应器

电子管振荡器通常制成为完善的高频装置,其内部所有的元件都装在一个组合装置上(图4)。由电子管振荡器发出的电流频率的变更范围很大,电流频率的高低决定于回路的参数,而回路的参数又受负荷参数的影响。机动发电机发出的电流频率是不能改变的,因为这种结构的机动发电机所发出的电流频率只决定于电动机的转数。

^{①②} 见“高频热处理丛书”第6、8、9、12和14册。

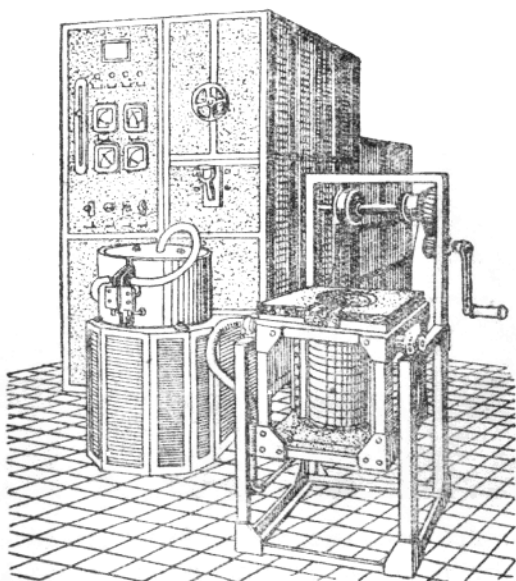


图 4. 带有电子管振荡器的淬火及熔炼用 JII 型高频装置, 其频率为 150~250 千周, 功率为 30~60 千瓦

机动发电机(图 5)是按照一定的(即所谓额定的)功率、频率、电压、电流和功率因数而制成的。只有当负荷参数符合于说明书中的数据时, 发电机才能发出全部功率。我们把有效电阻和电抗理解为负荷参数。为了加热或熔化金属, 应将一定的电能传给它, 或在规定的加热时间内以必需之功率输送给它。若感应器的形状和尺寸一定, 则只有在其上加以一定的电压, 才能输送必需的功率。

因而, 为使发电机和感应器正常工作, 它们的电压必须匹配, 对于感应炉或毛坯加热用的感应器来说比较容易, 只要适当的选择匝数就行了。淬火加热用的感应器大多数都是一匝, 其

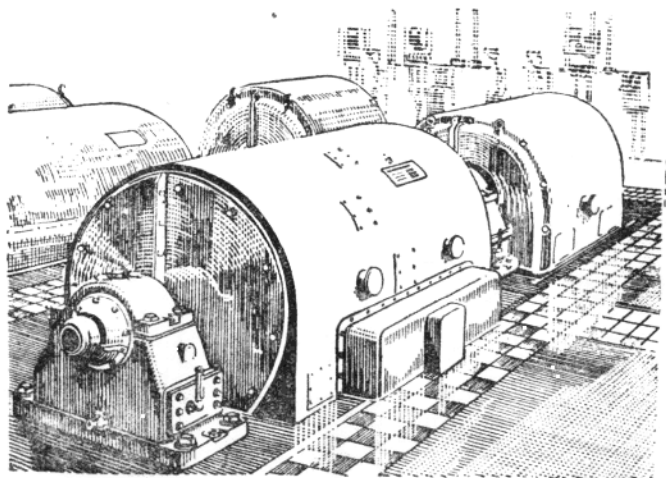


图 5. BFO-500-2500 型 2,500 周、500 千瓦的空气水冷式机动发电机

必需电压在 15 到 100 伏范围内。机动发电机制造得使电压为 375、750 和 1,500 伏。因此,为了要使感应器和发电机的电压相匹配,须利用降压变压器(图 6)。降压变压器(或通称淬火变压器)按铁心结构一般分为壳式的和芯式的^①。为了减小变压器的外形尺寸,铁心和绕组都用水来冷却。因此,线圈用铜管制成。次级绕组一般为一匝或二匝。感应器接在次级绕组的输出端上。高频发电机输出的电压加到初级绕组上。初级绕组的匝数应选择得使感应器上有必需的电压。

直接或经过淬火变压器与发电机接通的负荷(带零件的感应器)有很大的电感。具有电感的电路在与电源接通时,能在磁场中储藏能量。

^① 见 Bc. B. 沃洛格金著“高频加热变压器”,本丛书第 7 册。

磁場随着发电机发出的頻率而周期地消失，同时在其內儲藏的能量也周期地回輸給电源，在下一瞬間能量又重新儲藏于磁場中，如此周期地循环着。

同負荷相連的高頻发电机的功率，不是完全用来加热金属的，有一部分功率轉变成用来將能量儲藏在磁場中的無功功率。

发电机的功率

$$P_r = U_r \cdot I_r \text{ 千伏安,}$$

式中： U_r ——发电机的电压； I_r ——发电机的电流。

消耗到負荷上的由电能变为热能的功率称为有功功率

$$P_a = U_r \cdot I_r \cdot \cos\varphi。$$

有功功率与視在功率之比称为負荷功率因数：

$$\frac{P_a}{P_r} = \cos\varphi。$$

負荷的功率因数在数值上等于負荷电流与电压間相角的余弦。若負荷为純电阻，則在相同的发电机电压情况下，可以在較小的电流下將功率輸送給被加热零件。

在具有电感的負荷情况下，发电机的电流就含有有功及無功二种分量，并等于

$$I_r = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \frac{I_a}{\cos\varphi}。$$

無功分量加大了总电流，同时也使发电机和供电綫路过荷。

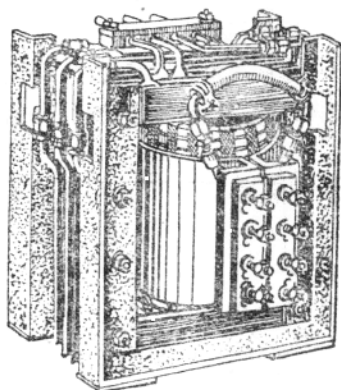


图 6. 頻率为 2,500~8,000 周、功率为 500 千伏安的淬火变压器

为了用無功功率减小发电机負荷，將电容器組与感应器并联接通。电容器組的單位功率經濟价值通常比发电机單位功率經濟价值低数倍。电容和負荷电路的电感組成了諧振回路，通常称它为振盪回路。

在这种情况下，儲藏在感应器磁場內或儲藏在感应器变压器系統的磁場內的能量就傳送給电容器，并变成了电場能量。然后电容器組放电，于是能量又重新变为磁場能量。这样，負荷电路的电感与电容器組的电容不停地交換着儲藏的能量；发电机及將电能由发电机輸給振盪回路的電纜就仅載有有功电流。

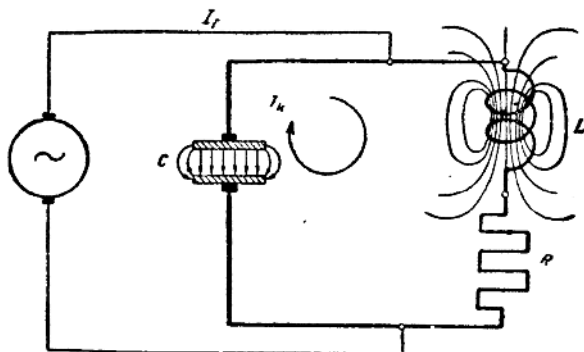


图 7. 負荷电路的振盪回路

L —回路电感； C —回路电容； R —負荷电阻； I_T —发电机电流；

I_K —回路电流。

無功电流只在振盪回路上流动(图 7)。現在，发电机的全部功率都能用来加热。电容的大小应由計算来選擇，应使电感磁場內的全部儲藏能量都轉变为电容器的电場能量，即使电容器組能完全改正感应器的低功率因数，也就是說，回路产生了諧振。要滿足这个条件，必須使

$$P_c \approx \frac{P_a}{\cos \varphi} \text{ 千伏安} \textcircled{1},$$

式中: P_c ——电容器组的功率, 千伏安; P_a ——从电源得到的有功功率, 千瓦。功率因数的近似计算可按下一方程式:

$$\cos \varphi \approx \frac{\Delta R_2}{R_1^2 - R_2^2},$$

式中: R_1 和 R_2 ——感应器及被加热金属的半径, 公尺; Δ ——被加热金属内的电流透入深度, 公尺。

当温度为 760°C 时, 钢的电流透入深度可按下式计算:

$$\Delta = \frac{0.5}{\sqrt{f}} \text{ 公尺},$$

式中: f ——电流频率, 周。

上式表示: 功率因数是随着电流频率的增高而减小。当用频率由 1,000 到 10,000 周的电流进行感应熔炼和锻件毛坯加热时, 功率因数值通常取为 0.5 至 0.15。感应淬火时功率因数值在 0.5~0.2 范围内变化。

最简单的电容器是由二块金属片制成的平行极片电容器, 在其间夹有均匀的电介质。

在工业用的电容器主要有三种: 用于频率达到 10,000 周的纸-油电容器、用于射频的——云母电容器和最近出产的陶瓷电容器。这些电容器通常制成水冷式的。工业上用的纸-油电容器是按下列方法制成的: 将几层铺有薄层亚麻纸的长铝箔卷成一卷, 然后放到压床上去压扁。每层铝箔都抽一个引出头, 再用一个引出头把所有的引出头并联起来, 这样就组成了接通外部电路用的两个极。把这样的四卷或四个分部装到金属箱(罐)

① 近似计算, 当 $\cos \varphi < 0.2$ 时, $\sin \varphi$ 接近于 1。精确计算应为 $P_c = P_a \cdot \tan \varphi$ 。

內。將每一分部上的两个极之中的一个接到一个公共的引出头上，而另一个极通常有其单独的引出头。因此，在箱盖上有五个引出头：每一分部上的单独引出头以及一个公共的引出头。在真空中往裝有分部的电容器箱里灌注变压器油，并密封地钎焊好。

这种电容器的电容可以部分地接入，因此很便于諧振的調节。电容器的功率取决于电容、频率和电压，并按下式計算：

$$P_c = 2\pi f \cdot C \cdot U^2 \cdot 10^{-3} \text{ 千伏安,}$$

式中： P_c ——电容器的功率，千伏安； U ——电容器上的电压，伏； f ——频率，周； C ——电容，法拉。

电容器的功率受其內电能损耗的限制；电能的损耗与频率及电压的平方成正比。

电容器內能量的损耗会引起其本身的发热，这就減弱了介質的絕緣性能，并有可能引起电击穿和热击穿現象。

为了排除热量，电容器常制成水冷式的。它的箱子是两层壁的，壁間通入使油冷却的水。水从箱子下部的橡皮軟管流入，而由上部的橡皮軟管流出，使电容器內經常充滿冷却水。

工业上制造的 ПМВ 型电容器，其频率为 1,000、2,500 和 8,000 周，其电压为 1,500/750；750/375；2,000/1,000 和 1,000/500 伏(图 8)。

一个电容器的功率在 100~150 千伏安范围内。

电容器的数据載于产品說明書中。电容器須按产品說明書中的綫路图接到各种电压上。电容器可以接到与产品数据不同的电压和频率上；但必須注意，电压和电流频率不得超过产品說明書中所規定的数值。在这种情况下，电容器的功率不能全部利用，因此只有在极个别的情况下才采用这种接法。只有在制

造厂允许的情况下，电容器才能接入电路参数与说明书中规定参数不同的电路上。为了获得必需的电容，可把一些电容器并联起来，这样就形成了电容器组。电容器组的总电容为各个电容器电容的总和。

接触器是高频装置的必需元件，其作用是使电源发电机与负荷接通和切断，或者说是使加热开始和中止。工业上制造的专用高频接触器，其电压达到1,500伏，其切断电流——当频率为2,500周时

达700安和当频率为8,000周时达400安。高频接触器具有一个磁力熄弧装

置，用来熄灭电路带电切断时产生的电弧。每一个极具有由2~3匝铜条绕成的感应线圈，该线圈设计成能长期通过切断电流。电流通过线圈就产生磁场。当电路切断的一瞬间，磁场与电弧电场相互作用，将电弧从切断区域中驱逐出去，促使电弧熄灭。

为了更好地熄弧，在接触器的每个极上装一个缝隙狭小的石棉板盒，高温的电弧与较冷的盒壁接触，由于空气的电离条件变坏，电弧就可很快地熄灭。

有一种接触器，其每个极上有二个并联触头——工作触头和辅助触头(图9)。熄弧装置上仅有使自己断开的辅助触头。在这种情况下磁力熄弧线圈上要装有铁心。工作触头及辅助触头应调节得当，使之在断开的一瞬间首先断开工作触头，而不切

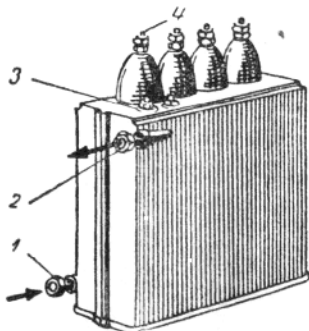


图8. 水冷式IIMB型纸-油绝缘电容器。
当频率为2,500~8,000周时，功率为100~150千伏安

1—进水口； 2—出水口； 3—公共极；
4—每分部的另一个极的引出头。

断电路,此时,所有的电流便都沿着辅助触头通过。当辅助触头断开时,所形成的电弧便被熄灭。由于通过电流的时间很短,所以辅助触头的截面也就做得很小。

工作触头是设计成适用于长期工作的。这种型式的接触器只在正确的调整下才能正常的动作。在辅助极上附装有石棉板

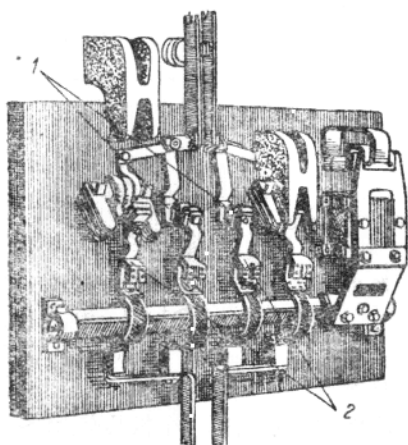


图 9. 将加热装置与供电电源接通的高频接触器
1—切断无电电路用的工作触头; 2—与工作接点并联的、在切断电流的一瞬间熄灭电弧的辅助触头。

盒。接触器的断开和接通由电磁铁来操纵。电磁铁的线圈制成交流 380 和 220 伏。

在电路上还采用一种载荷时不能切断电路的接触器,安装这种接触器是为电流通路,它们的接通和断开是在电源断开时进行的。当由一个电源供给一些变压器轮流工作且它们仅有一组公共的电容器组时,在降压变压器的电路上要安装有这种型式

的接触器(图 10)。

这种接触器是没有磁力熄弧装置的,它们的工作触头仅供通电之用。第一种接触器称为熄弧接触器,而第二种称为无熄弧接触器。无熄弧接触器能承受的电流可达 1,000 安。

有时在线路中与淬火变压器的初级绕组串联接有扼流圈。扼流圈和淬火变压器都是使感应器和发电机电压相匹配的元

件。由于感抗较大，在扼流圈内降低了一部分由发电机输出的电压，这样就降低了变压器初级绕组上的电压，因而也就降低了感应器上的电压。扼流圈的结构正确时，有功损耗是很小的。仅在感应器上的电压需要降低，即是说在变压器初级绕组的匝数不足的情况下，扼流圈才起作用。

若要增高感应器上的电压，则以电容器来代替扼流圈。然而实际上应用电容器是极少的，因为这样的线路不是平滑调节的线路，并会造成从加热一个零件转换到另一个零件时重新调谐的困难，所以常用一只中间自耦变压器来代替扼流圈和电容器。

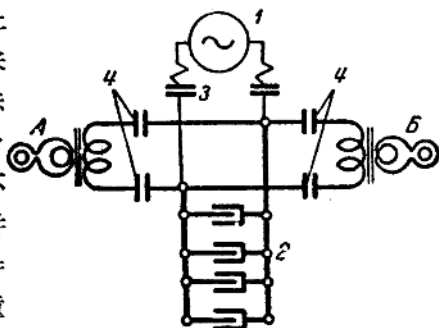


图 10. 由同一台发电机供电的二个淬火装置 A 和 B

- 1—发电机； 2—二个装置公用的电容器组；
- 3—接通发电机用的主熄弧接触器； 4—当发电机断开时轮流接通淬火装置用的无熄弧接触器。

上述元件是高频装置的动力部分(图 11、12 和 13)。这些元件的工作状态可由测量仪表来检查。线路上接有五个或六个仪表：测量发电机电压、电流和功率用的电压表、电流表和瓦特表；测量负荷功率因数用的相位表；测量发电机激磁电流用的直流电流表和测量熔炼装置电容器上电压用的电压表(图 14)。

每个仪表只有在校准的频率时才能准确的指出读数，这个频率的大小示于仪表的标度盘上。

仪表是通过测量用电压互感器和电流互感器接入测量线路的。工业上制造的仪表，其频率为 1,000、2,500 和 8,000 周。

图 11. 淬火装置元
件联接图

- 1—淬火感应器;
- 2—供电给淬火装置
的高频发电机;
- 3—使发电机电压与
感应器电压相匹配
的变压器;
- 4—电容器组;
- 5—接触器;
- 6—辅助电压匹配用
的扼流圈;
- 7—电动液压开关。

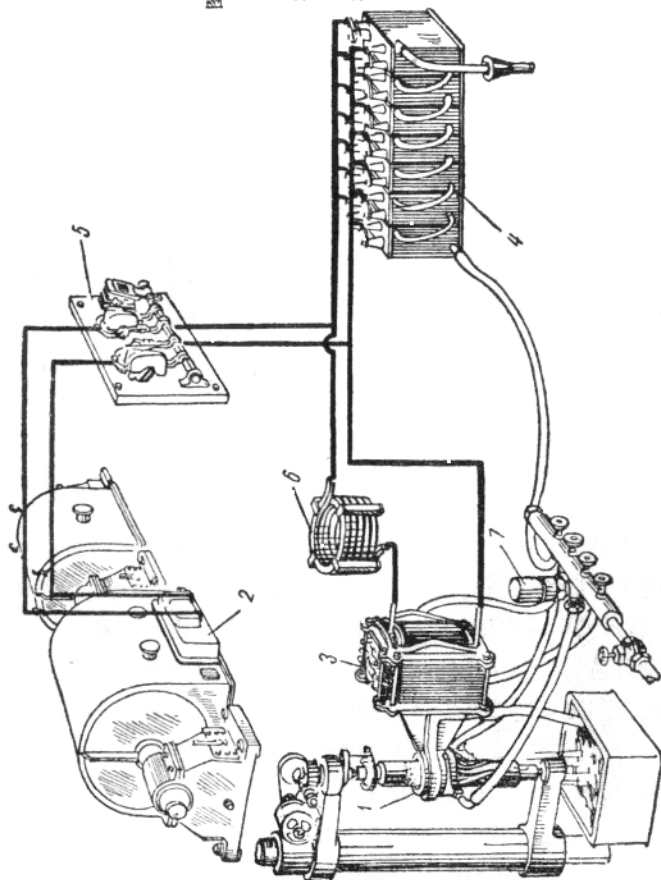


图 12. 电子毛瑟加
热用的高频
装置元件联
接图

- 1--多匝感应器;
- 2--发电机;
- 3--电容器组;
- 4--接触器;
- 5--发电机和感应器
电压匹配用的自
耦变压器。

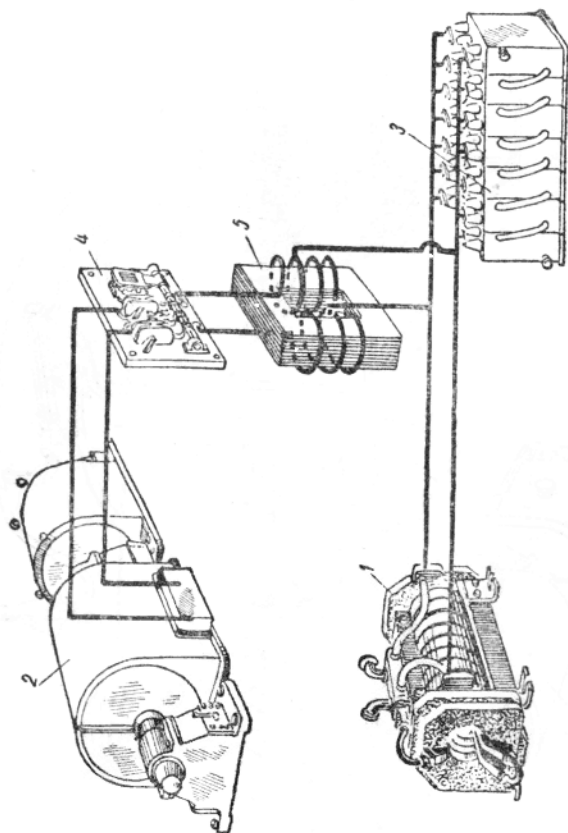
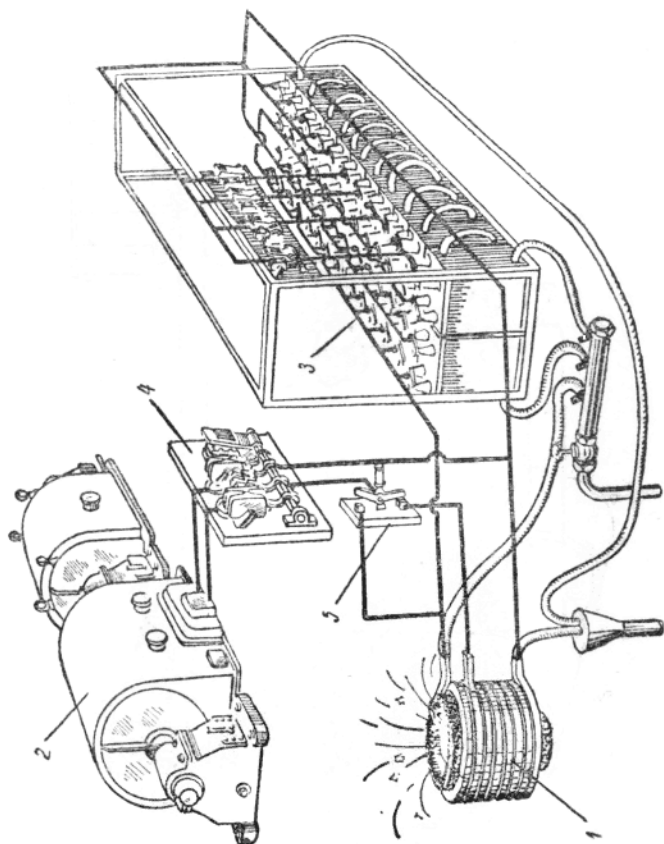


图 13. 熔炉元件联

接图

- 1—感应炉;
- 2—发电机;
- 3—电容器组和在熔炼过程中接通电容器的接触器;
- 4—主接触器;
- 5—炉子感应器匝数的变换器。



除了上述电器元件之外，每台高频装置还有一个相当大的水冷却系统：水箱或水池、水管、水泵、集水和溢流装置、开关、液压按钮及其他等。水冷却系统基本上是由标准件装配成的，所以在本书内就不再叙述了。

然而，当确定水冷却系统时，应考虑到由发电机输送到淬火装置上的全部能量于工作終了时应能由水带走。水冷却系统是用来冷却电容器、降压变压器和感应器的，有时也用来冷却导线和发电机。此外，冷却水还可用于零件的淬火。淬火时冷却水的压力最好不低于4~6大气压。

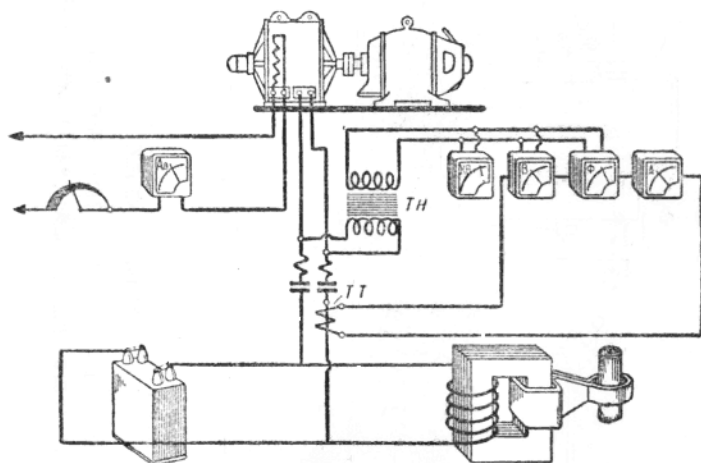


图 14. 检查淬火过程用的仪表接线图

AB—激磁电流表； KB—电压表； B—瓦特表； Φ —相位表；
A—电流表； TH—电压互感器； TT—电流互感器。

由电源输给熔炼金属和锻件毛坯加热装置的一半以上的能量也是由水带走的。这时冷却水的压力应为2~3大气压。

当水的平均温度为20~30°C时，带走每千瓦损耗功率的