

目 录

第一章 載波通訊在电力系统中的重要性	2
第二章 利用輸电綫路傳輸高频电流的特点	4
第一节 电力綫載波通訊的概述	4
第二节 利用輸电綫路傳輸高频电流的优点	5
第三节 利用輸电綫路傳輸高频电流的缺点	6
第三章 各种結合設備和附加設備的說明	11
第一节 耦合电容器	11
第二节 高频阻波器	24
第三节 結合滤波器	33
第四节 高频饋电綫	41
第五节 保安設備	46
第六节 分离滤波器	49
第七节 天綫	53
第八节 携帶型接地阻波器	54
第四章 高频通道的形成	55
第一节 各种結合方式的优缺点比較	55
第二节 高频桥路的联結方法	57
第三节 通道衰減的計算和測量	59
第五章 載波机	68
第一节 各种不同的調制方法及其优缺点比較	68
第二节 頻率固定式和頻率变换式載波机	73
第三节 电力綫載波机和通訊綫載波机的不同点	74
第四节 我国目前採用的几种載波机	75
第五节 携帶型載波机	88
第六节 載波机的电源設備	89

第一章 載波通訊在電力系統中的重要性

通訊工具在電力系統中是佔着很重要的地位。隨着國家經濟建設的發展，用電的需要，許多單獨的電廠或電力網利用輸電綫路連接起來，而成為更大的電力系統。輸電的距離和容量愈來愈大，為了達到遠距離的輸送，輸電的電壓也是愈來愈高了，由110千伏、220千伏到400 千伏，現在正趨向更高電壓的直流輸電發展。要求提高供電質量和設備利用率，做到安全、經濟的發供電。在一個電力系統中必須要有一個運行管理的中心機構，來掌握全面的生產情況，這機構一般稱為調度所。調度所的職責是指揮全面的生產，所以需要精確而及時地掌握各發電廠和變電所的運行和檢修情況，因此必須利用電話聯繫方法來完成。其次如由於電力系統的擴大，對整個企業的业务和行政管理，輸電綫路的維護和檢修上也是少不了通訊工具的。為了更明確通訊工具在電力系統中的作用，必須首先了解一下電力調度業務的內容和性質；調度業務的內容和性質可分為下列三大類：

一、電力負荷預計 可以分為下列三種：

(1)短期負荷預計 調度所必須掌握每天或幾小時以內的負荷情況、系統中設備的運行和檢修情況，這是需要用電話來聯繫的。

(2)定期負荷預計 如季節負荷的預計等。掌握了生產和需用的季節或其他的週期性特點，進行合理的安排生產和檢修計劃。

(3)長期負荷預計 這是在幾年以內的負荷預計，掌握幾

年內的用戶的用电量，提供扩充電力設備容量的計劃。

二、控制業務 電力生產的指標由調度所控制的有：如系統的頻率、電壓和有功功率、無功功率的分配等，頻率和電壓是供電的質量指標，有功和無功功率的分配是如何獲得經濟運行的因素。所以調度所必須監視每一時刻的生產情況，如果有不正常的現象，就必須立即採取有效的措施，來指揮各單位的生產，從而不使供電中斷或損壞設備等，造成國民經濟上的損失。因此必須經常地向各發電廠或變電所詢問發供電的情況 and 下達調度命令。控制業務對時間上的要求比較迫切，所以它都是通過電話來解決的。

三、事故處理 調度所在電力系統發生事故時的更重要的任務是維持生產和指揮對事故的處理。大家都知道，事故處理的時間愈快愈短，對事故擴大的可能性也就愈小，往往由於二三分鐘的延遲，就可能造成事故的擴大，對事故的迅速處理，不僅能使停電的時間縮短，主要的是防止了事故的蔓延，換句話說，如果事故處理得不及時，會影響一個很大地區的停電或發生設備的損壞，要達到對事故的迅速處理，對通訊工具的要求就更高了，應該是隨要隨通，不應有片刻的延遲和終斷。

在現代的電力系統中使用的通訊方法，有各種不同的方式，例如：架空通訊綫，通訊電纜、通訊綫載波電話、電力綫載波電話、短波無線電通訊和微波接力通訊等。但是直到目前為止，仍是以電力綫載波電話為最主要的通訊方式。輸電綫路有堅固的構造，在電氣上又能構成一個完善的高頻通道，再加上近代電力綫載波設備本身具有高度的可靠性，因此這一種安全和經濟的通訊設備，在電力系統中已成為通訊的骨幹了。

第二章 利用輸電綫路傳輸高频电流的特点

第一节 电力綫載波通訊的概述

图1是电力綫載波电话的实际布置情况，电力綫載波电话可以分为三个部分：

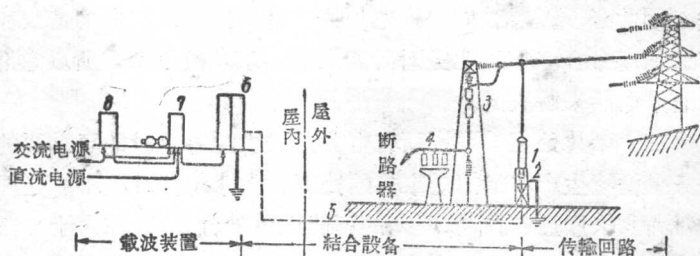


图1 电力綫載波电话布置图

1—耦合电容器；2—結合濾波器；3—高频阻波器；4—隔离开关；5—高频電纜饋電綫；6—載波終端机；7—备用电源裝置；8—自动电压調整器。

一、傳輸回路 电力綫載波电话是利用高压輸電綫路来作为高频电流的傳輸导綫，綫路上經常有极高的电压和强大的电流。工頻电流的頻率是50週波，在上面所傳輸的高频电流的頻率很高，頻带范围規定是50~300千週，电压很低，电流微小，这点和在通訊綫上的傳輸有显著的不同。所以高频电流的傳輸損失、波形的失真和輸電綫路的电量現象等对載波通道的杂音干扰問題，都是我們以后要詳細分析的。

要在輸電綫上传輸高频电流，首先必須克服輸電綫路上的工頻高压所引起的困难，此外，当輸電綫路在各种不同的換接和結綫时，如經過斷路器、升压或降压变压器和分支綫等，应适当地裝設高频桥路裝置和高频阻波器，以保証通話的質量

不間斷的运行。

二、結合設備 利用輸電綫路來傳輸高頻電流，最主要的
是載波終端機和輸電綫路的連接問題，以保證人身、設備的安
全和獲得高頻電流傳輸的最大效率，所以必須要有一套完善的
結合設備，其中包括有：耦合電容器、結合濾波器、接地溢流
綫圈和保安設備等。

三、載波裝置 是產生載波電流的設備，包括載波終端機
和電源設備二部分。

一般電話的話音頻帶是 300~2700 週，雖然這話音頻帶最
低的 300 週已經在工頻電流 50 週波以上，但是它們兩者靠得很
近，工頻電流很大，而且除了 50 週基本週波的電流以外，還有
高次的諧波電流存在。由濾波器分開它們是很困難的，因此需
要載波機先把話音電流對較高頻率的載波電流調制，搬移到較
高的頻率，然後經過結合設備耦合到輸電綫上去，這樣利用載
波來傳輸，由濾波器把工頻電流分開是很容易的。

電源設備中包括自動電壓調整器和備用電源裝置，用以保
持電源電壓的穩定和供電的連續性。

第二節 利用輸電綫路傳輸高頻電流的優點

利用輸電綫路來傳輸高頻電流的優點可以分為下列三方
面：

一、電氣上的 輸電綫路上传輸的是高壓、大功率的工頻
電流，所以在電氣特性上的要求和通訊綫路有顯然的區別。輸
電綫路導綫直徑很大；而且要有高度的絕緣水平，這些對傳輸
高頻電流來講，就遠遠地勝過了通訊綫路。

二、機械強度上的 輸電綫路不但有上述的良好電氣特
性；而且有很高的機械強度。例如：導綫的截面大、杆塔和附

006440/01

件等堅固，這些也就是電力綫載波電話運行可靠性較其它各種通訊方式為強的主要因素。根據統計，電力綫載波電話傳輸回路事故（包括綫路作業在內）佔全部事故次數的9.5%；通訊綫載波電話約佔44%左右。以事故持續時間比較，電力綫載波電話傳輸回路事故佔全部時間的18%，而通訊綫載波電話佔68%。

三、經濟上的比較 利用輸電綫路來傳輸高頻電流，我們知道是符合經濟原則的。可以不需要通訊綫路的建設投資，而且又不用對綫路另行單獨的維護和檢修，節省了一筆經常性的維修費用。在建設的高潮中，節省大批的木料和綫材，可以應用於其他的工程上，這也是極有意義的。但是高頻通道建設的首次投資是比較高，要在某一定的通話距離以上方為合算，因為載波電話是不論綫路的長短，總是需要一對載波裝置和兩套結合設備，對於太短的綫路，這些設備的投資可能超過架設一對通訊綫的投資。

按照國內的情況，架設一對通訊綫路，以鐵綫為導綫，其單位造價為1000元/公里，建立一個大地回路結合方式的載波通道，包括兩端的結合設備、載波裝置和安裝費用約為50000元，這樣來比較，架設50公里的通訊綫路的投資和建立一個載波通道相等。以上只作了建設的首次投資的比較，在日常的維修費用上，仍是以載波電話為經濟，需要的維修費用是極少的，所以若應用於更長距離的通道時，載波電話就更為經濟。

根據載波電話在經濟上和質量上的優越性，為了保證通訊上的可靠，只要通訊距離不太短時和考慮工作上的重要性，裝設載波電話是符合經濟和安全原則的。

第三節 利用輸電綫路傳輸高頻電流的缺點

雖然利用輸電綫路傳輸高頻電流有上節所述的各項優點，

但是美中不足的是輸電線上經常有高電壓的存在和受綫路中連接的電力設備操作的影响，這是和通訊綫的傳輸所不同的。

一、雜音干擾 電力綫載波通道在通話質量上的最大缺點，就是雜音干擾比較大。由表1可以知道，電力綫載波通道的雜音電平是較一切其它通訊通道為高。

表1 各種通訊通道的雜音電平的比較

通 道 的 種 類	雜 音 電 平(奈貝)
電力綫載波通道	-2.3~-4.60
通訊綫載波通道	-3.45~-8.05
鉛包通訊電纜	-11.5~-15.0
無線電話	-6.9~-9.20

(1) 雜音的種類和來源 輸電綫路上產生的雜音，可以歸納為二種：分布雜音和脈沖雜音。分布雜音又稱為白色雜音，這種雜音是由於輸電線上所存在的導綫的電弧和絕緣子上的部分放電所引起的。因為雜音電波頻率譜展開後，它的性質和日光光譜類似，雜音電流中包含的許多頻率，它們的平均波幅是相等的，日光光譜也是如此。分布雜音中的某一頻率雜音電流和其相鄰接頻率的雜音互相間無一定相位關係，它們之間的關係只是偶然的，理論和實驗上證明，雜音干擾電壓和帶寬 Δf 的平方根成正比。

脈沖雜音是某一頻率雜音電流和其相鄰接頻率電流互相間有一定的相位關係，所以形成一定的脈沖式波形，為若干種頻率不同的正弦波的相加，它的雜音電壓是和帶寬 Δf 成正比例的。

就雜音的來源來分，雜音又可以分為下列二種：

1. 正常运行時的雜音

一) 電量雜音……………連續的。

二) 电力设备的操作, 例如: 断路器的开闭和避雷器的充电现象等……………持續時間为数週(以1/50秒为一週)。

三) 特殊的电气设备, 例如: 电气炼钢炉、水银整流器和其它有高频电流发生的机器……………持續時間不規則的。

四) 雷电和其它, 例如: 雷电感应和电力设备施工不良, 接触不好等……………持續時間不規則的。

2. 事故时的杂音

一) 电量杂音(中性点不接地系统, 单相接地时)……………事故中。

二) 弧光杂音……………事故中。

三) 设备异状, 例如: 隔离开关、断路器的接触不良、电压互感器保险丝将要断而连接不良时、瓷瓶绝缘不良和系统上发生过电压产生的瓷瓶火花放电, 雷击和事故时机器的动作……………不規則的。

3. 电量杂音的分析 在输电线的杂音中以电量杂音所佔的比重为最大, 而且它的持續時間也較长, 所以对电力線載波电话的影响是比較严重的。电力綫上的电量現象是由于导綫外部或絕緣物的电位梯度比較大, 使周圍空气游离而产生的。因此电量的产生是和綫路电压、导綫的直徑、导綫或电极間的距離、大气压力、溫度、濕度、輸电綫路的結構(木杆或鉄塔的區別)和磁瓶的种类(針式或悬式瓷瓶)等有关。

一) 电量杂音的大小决定于綫路电压的高低和电量損失的多少, 並和电力系統中性点接地或不接地等情况有关。

二) 电量杂音受气候条件而变化, 一般的气候变化時約有1.15奈貝(相当功率的10倍)的增加, 最恶劣时可能至1.7奈貝以上的增加, 尤其是在暴雨或下雪时为最严重。

154 千伏以下电压, 使用悬式瓷瓶的輸电綫路, 在晴天时的

电量杂音电平，在300~3000週的頻率范围内，一般均在-3.45~-4.6奈貝以下。

三) 电量杂音在每一个週波中发生一次，当电流为正半週时为最强烈，图2是輸电綫上杂音干扰变化的情况，对工頻50

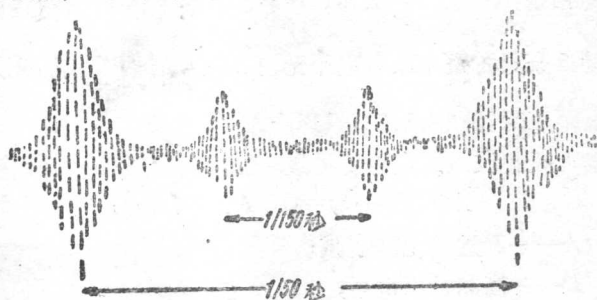


图2 輸电綫上的杂音干扰变化

週的电流，就是每隔1/50秒出現一次，每隔1/150秒有一个較小的幅度产生，这是由于受邻相感应所引起的。

四) 电量杂音在电力綫載波电话使用頻带在50~300千週以內，均有分布。

4. 事故和操作时的杂音 輸电綫事故和操作时的杂音一般持續的时间比較短，是以数週或数毫秒来計算的，其中以电压互感器保險絲的断綫、瓷瓶絕緣不良和事故时电量杂音的持續时间較长，但是在发生这类事故时，电力設備維修人員是应立即进行修理的，所以影响並不太大。

一) 操作时的杂音，如断路器拉開时的杂音，一般較合閘时的持續时间为长，約2~3週，杂音电平是以合閘时为較高。

二) 杂音的振幅在事故发生后的1週以內为最高，以后逐漸減弱。

三) 事故时的杂音，通过±100週的狹带滤波器測量时，

很少有达到+0.6奈貝，一般都是在-0.6奈貝以下。

(2) 杂音对高频通道的影响 高频通道的質量决定于载波机收訊部分入口端子上的訊号杂音比，就是指訊号电平和杂音电平的相差，一般以 $\frac{S}{N}$ 表示， S 是訊号电平； N 是杂音电平。

如 $\frac{S}{N}$ 为3奈貝，那末杂音电平为-1.5奈貝时，受訊部分入口的訊号电平应保持在+1.5奈貝以上。

电力綫載波通訊允許的通道衰減，可以按下列公式計算，

$$A = (P - N) - Q = P - (N + Q)$$

式中 A ——通道的允許衰減；

P ——高频輸出电平；

N ——杂音电平；

Q ——訊号杂音比。

以上公式表示，如果載波机的輸出电平为一固定值时，那末杂音电平越小，通道衰減就可以允許比較大，也就是說能够傳輸比較远的距离。杂音电平在2.5千週的帶寬內，110千伏的線路一般是-4~-5奈貝；220千伏線路是-2~-3奈貝，訊号杂音比的規定是不得小于3奈貝，所以10瓦特輸出的載波机运行在110千伏線路上时，通道的最大允許衰減值是5.5奈貝；而在220千伏線路上时是3.5奈貝。表2是以听觉来判断訊号杂音比的标准。

(3) 杂音防止的对策

1. 較細的導綫是电量产生的原因之一，例如：电压互感器、避雷器和耦合电容器的連接綫，虽然通过的电流很小，但也不應該使用較細的導綫，以防止在这部分導綫上产生电量現象。

2. 放电間隙，导电体和支架的距离，应符合規定，防止在

表 2

訊号杂音比的判断标准

訊号杂音比(奈貝)	杂 音 程 度
4.60	杂音少，通話明了。
3.45	感有少量杂音。
2.30	感有杂音較大，实用上可以进行通話。
1.15	感有相当大杂音，通話困难。
0	杂音大，通話不明了。

正常电压下产生电量。

3. 瓷瓶和套管等絕緣物絕緣不良时应及时更換。

4. 电压互感器的保險絲应定期进行檢查。

5. 采用狹带滤波器和調頻或单边带載波机。

二、有高压危險 載波机和輸电綫的连接必須經過一套比較复杂的結合設備；在这一部分附屬的設備中必須消耗一部分电能，參閱第四章第三节中的介紹。

此外，在輸电綫运行时，要对通道带电部分进行测试和檢修是比较困难的，因为輸电綫上經常有高压存在，为了檢修或試驗高频阻波器和結合設備，而使輸电綫路停电，这是應該儘量避免的。在檢修和試驗时，操作手續上比較复杂，为了保证作业的安全，应按照“輸电綫路的高频通道、远方机械、保护装置安全工作規程”中的規定执行。

第三章 各种結合設備和附加設備的說明

第一节 耦合电容器

一、耦合电容器的应用 在第二章中已經談到，高频电流在輸电綫和通訊綫上传輸的最显著的区别，是輸电綫路上經常有50週的工频的高电压和强电流存在。我們想利用它来傳輸高

頻电流，必須首先考虑这一問題，过去曾被采用和研究的方法很多，但是目前在实际上被采用的只有二种，一种是既便宜、效率高和安全的耦合电容器，其次是在某些場合下，也有采用天綫耦合的方法，在本章第七节中将詳細介紹。

二、耦合电容器的种类和構造 耦合电容器共有四种：图3 电綫式电容器；图4 圓筒式电容器；图5 瓷質电容器和图6 油浸紙絕緣式电容器

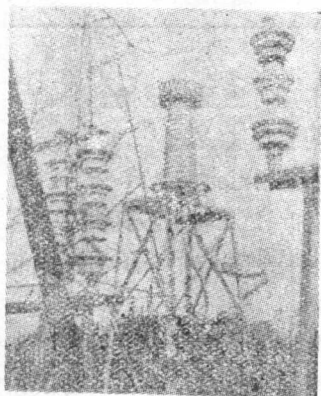


图3 电綫式电容器

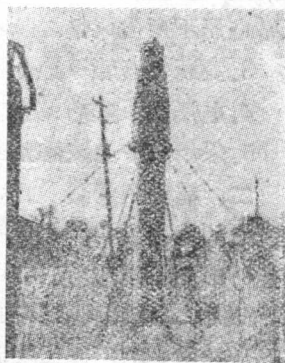


图4 圓筒式电容器

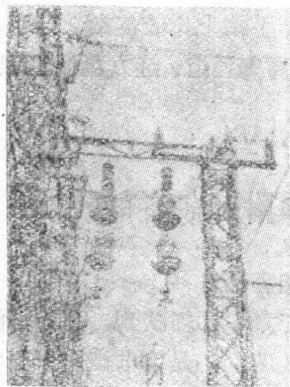


图5 瓷質电容器

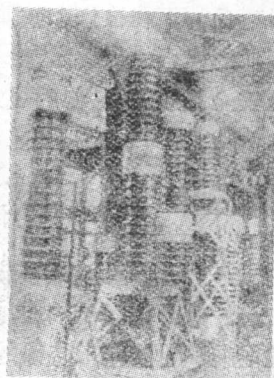


图6 油浸紙絕緣式电容器

浸紙絕緣式電容器。

(1)電纜式和圓筒式電容器 前者的構造和電力電纜相似，利用外殼(鉛皮)和芯綫之間的電容量。後者是由一圓柱形的金屬外筒和中心圓金屬棒構成，它的原理和電纜式電容器相同，這兩種電容器在現在已很少使用。

(2)瓷質電容器，它的構造是在一個瓷質的圓套管的內外貼上二片薄金屬片作為電容器的電極，瓷質套管就是電容器的介質，這種電容器的優點是乾式的構造堅固，所以在維護上較方便，但是在製造上有些困難，特別在承受高電壓下要作成較大的電容量是不容易做到的，並且要保證在使用相當時間後而它的絕緣能力不下降，也是在製造上比較困難的。

近代由於對電介質的研究已有很大的成就，所以電容器的發展將趨向於乾式的，由於瓷質的介質常數提高，可以使電容器的同容量體積縮小很多。蘇聯已有應用瓷質電容器，介質常數是100，製造方法是將四個瓷盤疊在一起，用膠膠合，20組串連成一個單元，這種單元電容器用不同的联接方法，可以做成不同電壓和不同容量的電容器，然後放在瓷套筒內浸以絕緣油。

(3)油浸紙絕緣式電容器 其構造如圖7和8，油浸紙絕緣電容器是用紙和極片(金屬箔)卷成一盤一盤的單元電容器，每個單元電容器盤的耐壓較低，電容量也較小，根據實際需要可以按各種不同的串聯和並聯的方法，製成所適用的電容量和耐壓，然後放在瓷質的圓筒容器中，經過真空處理後，再注入絕緣油，有些工廠出品的套管上部留一點氣隙或充以氮氣，可以防止溫度升高油質膨脹，而發生滲油或脹裂瓷套管等弊病，也有些電容器的上部裝有一特制的可壓縮浮筒，作為內部油壓的調整裝置，如圖7電容器上部的浮筒。老式的電容器也有裝設油壓表，作為內部油壓大小的指示。

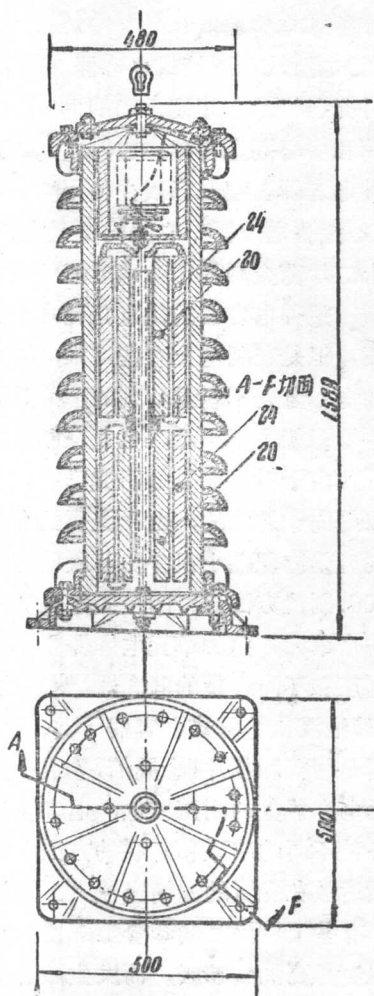
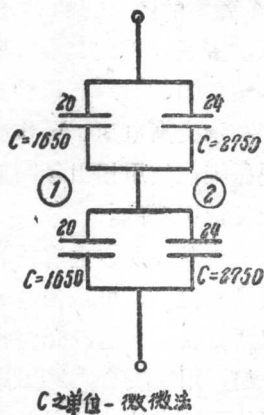


图7 油浸紙絕緣式电容器的剖面图
(德国RFT工厂出品110千伏电容器)

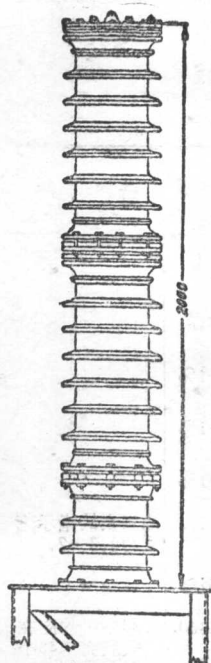


图8 苏联出品CMP-70型标准型电容器组成用于110千伏的电容器

各单元电容器的连接和引出线，应设法儘量减低漕布电感量的存在，一般规定应小于10毫亨。因为有了电感的存在，就相当于形成了电感和电容的串联电路，这样会影响电容器高频特性的平滑，这是不容许的。

三、耦合电容器的特性

(1)适用地点 耦合电容器因为装设地点的地理环境等的不同，在它的规格上有些区别。

1.耦合电容器安装地点周围的最高温度、最低温度和海拔高度应符合电容器制造厂技术说明书的规定，一般的规格如苏联CMP—70—0.0044型电容器的技术要求是最高温度 $+40^{\circ}\text{C}$ ，最低温度 -40°C 和海拔高度1000公尺。

2.耦合电容装设在发电厂和变电所内，由于发电厂和变电所的防雷设备比较完善，所以可以较少地来考虑受直接雷击的影响。如电容器是供装设在输电线的检修站或巡线站等使用，因受直接雷击的机会比较多，所以耐冲击电压的要求也较高，一般采用的冲击电压的波头陡度是1000千伏(1×40 微秒)，绝缘强度约增加10%。

(2)耦合电容器的电容量，电容器的电容量自1000~18500微微法，因国家标准和用途而有所不同。在110千伏输电线上使用电容器的标准电容量是2200微微法；220千伏线路上最常用

的是1100微微法。表3和4是各种类型电容器和电容器絕緣油的标准。

表3 各种类型电容器的标准

型 式	工作电压 (千伏)	試驗电压 (千伏) 1分鐘	标准电容量	損失角	备 注
CMP-50-0.0044	55		$4,400\text{pf} \pm 10\%$	0.5%	
CMP-70-0.0044	70	160	$4,400\text{pf} \pm 10\%$	0.5%	
住 友	66	200	$2,000\text{pf} \pm 10\%$	0.5-1%	
住 友	154	385	$2,000\text{pf} \pm 10\%$	0.5-1%	
住 友	220	545	$2,000\text{pf} \pm 10\%$	0.5-1%	
古 河	154	385	$2,000\text{pf} \pm 10\%$	0.5-1%	油压表的指示范围 为0.3—2.0
古 河	220	545	$2,000\text{pf} \pm 10\%$	0.5-1%	
ELEKIPOSOL PRAHA 厂出品	110	230	8,000pf	0.3-0.36%	1. 耐压試驗应在 安裝完畢48小 时后进行 2. 油平面标准 20°C时距上蓋 为12—15公分
RFT	220		2,200pf		
RFT KOF22105型	110	262(5分鐘)	2,200pf		

表4 电容器絕緣油的标准

型 式	电 气 强 度	介 質 損失角	酸 价	納試驗等級	凝固点	国 家 标 准
CMP-70-0.0044	66千伏/2.5公厘	0.0005 70°C50~	KOH毫克/油克 0.02	1		ГОСТ-952.43
捷 克	220千伏/1公分, 55千伏/3公厘				-40°C	B类变压器油

使用大电容量电容器的优点，

1. 大电容量电容器是用于通路路多的线路上，它可以加宽整个结合设备的通过带域，改进结合滤波器的特性，使很多通道有可能合用一组结合设备，另外我们也可以使用频带较低的那一部分。

2. 大电容量电容器对冲击波的波头能起阻尼作用，可以保护电力变压器，但实际上电容器的下端均连接有一电感线圈而接地(于本章第三节中详细介绍)，因而对削波不能起显著的作用。

3. 在高压输电线路如利用耦合电容器来抽取测量电压，如图9，而需要很高的准确度时，就需要大电容量的耦合电容器，如用于同步装置和继电保护等。

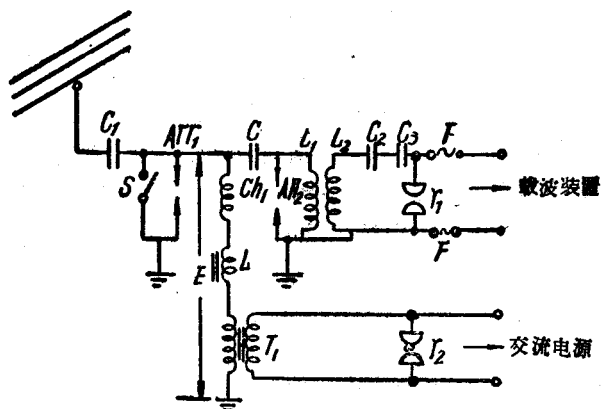


图9 利用耦合电容器作电压抽取装置的接线图

C_1 —耦合电容器； S —接地刀闸； ATR_1 —间隙放电器(放电电压 $=\sqrt{3}E \times 1.3 + a$)； ATR_2 —间隙放电器(放电电压=2000伏特)； L, C 和 T_1 —电压抽取之耦合回路； Ch_1 —高频扼流圈； L_1, L_2 —结合滤波器—二次侧线圈； C_2, C_3 —电容器； r_1, r_2 —放电管； F —保险丝。