

中国大电网论说及选译

电力系统规划和运行

1972

水利电力部科学技术情报室

国际间（土地面积较小国家）的联网，可以使大容量机组的安装和投资年份有所协调，能收到一些效益（32-02）。

在系统规划方面，若干国家制定了“设计准则”，即根据本国的具体情况，从全系统的运行可靠性出发，对规划和设计，提出一定的要求。例如对机组的备用容量和线路容量的裕度等作出一些规定，以便在系统发生某种较轻事故时，不致影响用户；而在发生较重事故时，即使影响一些用户，也不致造成连锁反应，或使系统瓦解等等（32-07、32-02、32-15）。

为了使读者对其它（未选译的）论文内容的概要有所了解，我们已把这些论文的提要译出，以供参考。

出版说明

第24届国际大电网会议是1972年8月在法国巴黎举行的。会议共有论文154篇。为了供有关同志了解当前国外高压电网方面的技术动向，我们组织选译了其中大部分，将陆续按专业分专辑出版。参加这一专辑编译工作的，有华东电管局中心试验所和东北电力局调度局的同志。

译文中有错误或不当之处，请批评指正。

1972年国际大电网会议论文翻译小组

1973年10月

前 言

1972年国际大电网会议收到了有关电力系统规划和运行方面的论文22篇，其内容可大致分为两类：

I. 数字计算机在电力系统中的广泛应用；

II. 电力系统的规划和安全准则问题。

我们从22篇中，选译了10篇。

随着电力系统的不断发展，数字计算机已成为系统工作人员在研究、规划和日常运行的安排与管理的有力工具。

在运行的安排与管理方面，数字机的应用主要在于经济调度、自动控制、安全监视和数据检测。

关于长期和短期的水库运用，负荷预计，运行机组的选择及其出力分配，以及运转备用容量的合理分布，通过数字机的在线或离线计算，以至全面的在线分级控制，可使运行费用降低，并使系统频率准确而稳定（32-11、32-06、32-20、32-16）。

专业小组邀请了六个成员国，根据拟定的典型系统结构、机组容量、负荷与安全要求以及其它参数，分别用各自的计算方法，提出了经济调度的计算报告（32-19）。这些计算的结果，虽由于某些条件不完全相同而不宜作直接比较，但对于了解各种方法的特点仍有参考价值。

关于数字机对电压和无功功率的自动控制，包括对系统电压的全面分级控制，已有若干研究成果，并在进行试点（32-03、32-05）。至于数字机对变电所和线路的保护，用以代替目前的继电器，有的国家也作了一些研究（32-08）。

数字机在调度人员对系统的安全监视和数据检测中，已能起到“实时”作用。例如，系统各部的潮流（有功和无功）、电压、开关的开合位置、主要结线、重要据点的频率等等，都能由远动设施，通过数字机处理，在电视屏上，用图形、数字或表格等作出显示，必要时以声光信号报警。甚至在较小的电视屏上，采取图象移动装置，可以显示系统的任一部分。过时的潮流数据，也可用磁带记录，随时重新显示出来，以便研究事故发生的前因后果。所有数据，还可打印成表格，也可向远方传递。在日常运行中，根据各种事故预想，可以检查哪些机组或线路会出现过负荷情况，哪些开关的遮断容量不足，哪些继电器会误动作，甚至系统稳定会遭到破坏等等，使调度人员能有所准备。远动信号（遥测遥信）的正确性，也能随时进行检查（32-11、32-12、32-06、32-22）。除以上对系统安全的静态估计外，近年来，对系统动态稳定的在线计算和估计，也给予了较多的注意（32-14、32-06）。

关于电力系统的规划问题，注意力主要集中于供电的可靠性和投资的经济方面。

所谓可靠性，首先是负荷的预计，电源的准备和缺电的估计。这里涉及到一些基本概念和方法，例如调查统计资料的积累和分析，以及概率论的应用等（32-07、32-18）。在这里，数字机也是重要工具之一。

目 录

前 言

论 文

法国输电系统中的电压自动调整 (32-03)	(1)
发电机励磁系统的在线数字最佳控制 (32-05)	(15)
电力系统中的计算机	
——托凯区电厂发电和全面保护的在线闭环控制 (32-06)	(26)
数字计算机在电网保护中的应用 (32-08)	(39)
美国 PJM 联合系统用数字机集中监控和运行安排 (32-11)	(54)
英国中央发电局全国调度中心的在线控制 (32-12)	(59)
电力系统运行最佳化问题的研究 (32-19)	(67)
北欧联合电力系统的网络规划 (32-02)	(88)
芬兰电力系统的供电安全准则 (32-07)	(98)
土耳其超高压系统规划准则 (32-15)	(109)

附 录

大型发电机组的可靠性问题 (32-01) 提要	(121)
模拟系统运行所需数据的处理与分析程序 (32-09) 提要	(122)
运用数字计算机对复杂的电力系统的静态非周期稳定性的分析 (32-10) 提要	(123)
安全准则在电网规划中的影响 (32-13) 提要	(124)
多机组动力系统暂态稳定性的通用判据的应用 (32-14) 提要	(125)
火力和水力的电力系统规划——有关参数及其相互影响 (32-16) 提要	(126)
动力设施及其组成部件的设计准则 (32-17) 提要	(127)
铁门水电厂的 400 千伏联合电网及其发展可能性 (32-18) 提要	(128)
计算机在联合系统中的应用 (32-20) 提要	(129)
供电的事故率及超高压系统的规划 (32-21) 提要	(130)
发展中国家电力系统自动化问题 (32-22) 提要	(131)

法国输电系统中的电压自动调整

(32-03) *

提 要

从一般的系统运行原理的分析中,足以说明更广泛地采用电压调整自动化的优越性。从法国系统现状看来,在今后十年中,这种自动化将成为必要。报告中对这种自动控制的组成及其应有的特性作了介绍。有关这方面的试点工作,已在系统的一部分中开始进行。要使控制扩大到全系统,还有待于报告中所略举的一些新的研究方法的完成。

1. 系统控制概论

在正常情况下,有功和无功功率的生产,按功率需求的变化作连续不断的调整,就能保证系统正确运行,其特征是:频率恒定,系统各点电压变化不超过允许范围。

频率调整和电压调整的条件不同。概括地说,当有功的生产和需求之间达到全面平衡,就能使系统各处保持同一频率;而电压则只有在无功的生产、消耗和交换三者之间达到就地平衡时,才能把它的变化控制在允许范围以内。

补偿负荷的变化,是系统控制工作的一部分。在技术上,它可分为“自动”和“手动”二种。前者在系统的局部或扩大到它的全部执行;后者一般在一个控制中心进行协调,这个控制中心,可以是地区一级的或国家一级的。

控制方法依据两个方面:一方面,从历来对负荷的分析经验,可以掌握其变化的特征;另一方面,这些由轻微扰动所引起的随机的负荷变化,使它对某一平均值产生偏移,而这种偏移,一般是可以预先掌握其坡度的。

其实,上述随机变化,是由系统内各种设备直接推动的“一次动作”来作轮廓性的补偿的,其目的是或多或少地使系统的负载状况保持其平均值。这些“一次动作”必须迅速,因而必须是自动的,其所起作用为初级的,其目标是使系统的某些运行特性参数保持恒定。如所周知,这些动作,对转速是由调速器来执行的;对电压是由发电机的电压调整器,并在较小程度上由超高压/高压和高压/中压变压器的分接头来执行的。

必须注意,在满足功率需求的平均值时,一方面应使负载状况能符合系统设备的技术限制;另一方面还应使之遵守对系统安全运行的规定,特别要考虑到发生故障的或然率以

* 作者 F.BERTIGNY & G. RICHERME 法国电力公司发电 输电 局, G.BLANCHON & F.MAURY 法国电力公司科学技术局(法国)。

及故障的后果。

当上述平均值发生较大变化时，就需要确定一个新的负载状况，于是发电任务要重新安排，系统结线亦可能进行修改。

在最初阶段，新的负载状况是由所谓“二次动作”来完成的，它比“一次动作”更为“敏锐”，因为它要从系统的全面运行情况来考虑。目前，这些“二次动作”包括“地区调度”手动操作的“地区性控制”，以及自动的负荷-频率控制。

由于联合系统中各点的频率是一致的，并且目标主要是对邻国之间（而不是对地区之间）的交换功率实行控制，因而频率的自动控制就集中到国家一级。

系统的“地区性控制”的各种动作必须协调。在调整负载状态以适应负荷需求时，所作出的某些决定，应考虑到远距离输送功率的可能性、各个地区的可调出力、发电成本等等。

现在的情况是要重新安排发电系统的负载方式，这就需要所谓“三次动作”，用以协调前述的“二次动作”。例如，在法国，负荷-频率的三次自动控制目前正在研究中，它应当叠加于现有的常规控制之上。众所周知，这种控制的目的是使火力和水力资源的经济管理能实时地最佳化，同时考虑到一些准则，诸如可靠性，或对常规的负荷-频率自动控制的一些必要的极限（控制带）的遵守。

上述考虑意味着正常情况下对系统控制程序的概括分析。显然，控制程序最终将是几种不同控制动作的组合，可以看作是一种分级的结构：

1. 一次动作发生于系统的元件一级；
2. 二次动作控制着一批元件，因而重新调整了一次动作；
3. 三次动作对二次动作进行协调。

必须注意，当一个动作叠加于另一个动作时，控制的动态就立即变得不那么分明，这可为经济性和可靠性的最佳化创造条件。

分级控制对复杂的电力系统的运行来说，是不可缺少的。在某种程度上，它与企业中各级之间的分工负责，有相似之处。

当分析了控制动作所用方法时，可以再次发现典型的三部曲：信息、作出决定、发出命令。当从一次动作到二次、三次时，完成这三部的的方法愈来愈复杂。所以目前只有一次动作完全实现了自动化；二次则仅仅局部实现，即主要在于负荷-频率的控制；至于三次动作，在法国仍然是全部手动的。

频率控制与电压控制相比，前者已自动化到“二次”，而后者则仅仅到“一次”。这种差别的主要理由有二：

1. 电压值是由无功的就地平衡来确定的，它的控制必然需要在系统中作全面调整，因而比频率的自动化复杂得多。

2. 对国家之间或同一国家的地区之间的无功交换，实行精密的控制的必要性迄今还不明显。

目前，电压控制还需要手动的二次动作，如能实现自动化，则将大大简化控制中心的操作任务。

本报告将介绍法国的电压控制自动化的前景。如上所述，它将与二次和三次动作自动化的逐步完善相配合，而这些对系统的完善运行都是必需的。

2. 法国电网的电压控制

2-1 现在情况

在说明对电压自动控制的意见以前，首先需要介绍（应用这种装置的）系统情况，及各级电压水平是如何控制的。

2-1-1 电网简介* 1971年法国电网所供的全年用电量为1480亿度，最高日用电量为5.25亿度。最高负荷达2550万千瓦。这些电力是通过3.2万公里的超高压线路（380、225、150千伏），3.1万公里的高压线路（90、63千伏）及90万公里的配电线路（20~0.23千伏）来输送和分配的。

电力的生产，在全系统并不是均衡分布的。火力与水力发电约各占一半。火力发电主要集中在法国北部，而水力则主要在南部。因此，在丰水或枯水期间，大量电力要通过南北联络线来交流。

2-1-2 现在的电压控制 法国电网的电压控制，主要是按地区调度的指令，用手动操作来维持给定的电压值。只有发电机组和某些变压器的分接头的一次控制是自动的。所发指令和所用方法视系统所起作用（如联络作用、功率分布作用或配电作用）而异。

（1）联合系统（一次系统） 所有380千伏线路和大部分225千伏线路都用作联络线。这些系统的电压并不固定，而是保持在两个极限之间的。因此，它们因水量的多寡和一日内的不同时间而有所不同。

这些系统的实际工况，即依照负荷水平而发出或吸收无功能量，对电压控制有很大影响。可供运行人员使用的电压控制手段主要是发电机组和系统上所接的电抗。

（2）二次输电系统（二次系统） 电力的分布是通过90和63千伏线路实现的。这些系统经过有载调压的变压器与联合系统相结，它们的电压尽可能控制在接近规定值。为此，运行人员可用的控制手段有：接在这些系统上的发电机组；电容器和同期调相机等补偿设备；超高压/高压变压器上的有载分接头；用户按规定在其供应点保持一定的功率因数的措施。

（3）配电系统 在这些运行电压为20千伏或以下的系统中，电压经再次调整，以保持用户的最佳电压质量。这次调整是由变压器上的有载分接头，可切换的电容器，以及最后由用户自己（因避免过多消耗无功）所作的安排来实现的。

2-2 新的要求—自动协调的必要性

关于发电机组的电压控制，唯一的自动是用简单的逻辑装置在机组的一次控制的水平上实现，即把发电机的端电压控制在规定数值。

规定数值的地区性协调工作，由调度员担任，目的是使地区的需求与机组的工况（生产或吸收无功）尽可能配合。这种运行方式要求对各台发电机所发的无功进行连续监视，以防止在机组之间互相交流无功。

另一方面，全国电压水平的最佳化，由全国控制中心负责，它可以要求任一地区改变其无功的平衡。

* 所给的数字是根据1971年的预测约数，对说明问题是合用的。

地区一级和国家一级的自动协调的必要性，迄今还未被察觉，在大多数情况下，系统的负载水平和可供使用的手段，也不能确认自动协调的必要性。然而从系统的利用、电压等级的提高和发电机群功率因数的提高等方面的发展趋势来看，就感到上述结论是不正确的。

直到最近几年，譬如从输送功率和短路容量这些方面来讲，系统还很少利用到它的技术极限。发电厂的集中和系统监视方法的解决，将使系统的一些技术性能得到进一步利用。而且，在投资费用、故障损失费用和系统运行费用三者之间探索最佳方案时，亦将导致上述的同样结果。这种探索工作，看来将日见重要了。

至于无功的控制问题，由于电压等级的提高，将有很大量的无功需要处理。例如，一条765千伏的线路在空载运行时，每百公里须供给20万千乏的电感性补偿；它在满负荷(360万千瓦)运行时，则每百公里须供给约100万千乏的电容性补偿。这足以说明，当系统产生扰动时可能出现的问题。

此外，发电机组单机容量的增大，往往会促使尽量缩小电机尺寸，从而提高它们的功率因数。

这里只提了一些电压调整应该更广泛地自动化的主要理由。必须指出，电压水平合理化的结果是降低系统损失。而自动化则有利于电压控制的最佳化。

联合系统中电压的分级和自动调整，如本文第一部分所述，是符合各种考虑的。一次控制使发电机组的出口电压仅有小的波动；它们的平均值，在一个区域内，由二次控制来调整，使之尽可能接近于某一基准值；而每一区域的基准电压，则由全国性的电压水平最佳化的设施通过三次控制予以协调。

3. 自动电压控制特性的一些定义

3-1 控制的组成

这个组成保留了现行的操作原理，以分级管理为根据，控制命令的产生过程包括三个阶段：

1. 一次电压控制：这在发生局部扰动时能快速动作（例如发生短路时提高励磁水平）。

2. 二次电压控制：设在地区一级，用动作较慢的装置，操纵发电机的无功出力，控制有限的几个点（叫做“监视点”）上的电压。

在一般的扰动下，电压与“监视点”的数值相差不多的那一部分系统，构成一个“区域”。

监视点必须如此选择，使区域内各点电压差别减至最小。在每一个地区内，各结点的电压应尽可能维持在给定的范围以内，必要时可增加监视点的数目。

凡具有几个区域的地区，电压调整必须集中，即地区控制中心必须对其所控制的各个区域进行引导监视。

3. 三次控制：设在国家一级，它对各地区控制中心之间的控制命令进行协调，并保证电压水平的最佳化。

协调应特别在系统发生扰动时起作用，使各地区之间能相互支援。

这种协调改善了运行的可靠性，例如：

(1) 当一个意外事件发生时，如线路被迫停电，或发电机跳闸引起大量电压变化时，它能使系统迅速恢复到可以运行的状态。

设想一台供大部分无功调节的发电机停止运行。电压于是下降，并将波及邻近区域。如果每一区域均装有“二次调整”，则所发无功总量将有所增加。当电压水平重新恢复时，发生故障地区的机组将供给所需的额外无功，而其它区域的机组，则可恢复原先的发电水平。假如必须反应迅速，则可能会引起持续振荡。

全国性的控制中心，应能在短时间内恢复原有状态，而无引起振荡的危险。

(2) 在发电不充足的情况影响下，一个区域内的无功供出或吸收，可能达到它能分担的极限。在这种情况下，由于与邻区之间一般存在着电压梯度，以致产生无功的交流，所以邻近区域就会及时作自发支援。全国性的控制中心能通过调整总的电压水平，使这种相互支援进一步改善。甚至在不太严重的情况下，能防止故障区域的无功达到其极限。

当全国与地区控制中心之间的远距离通讯发生故障时，这种组织形式能使后者自己执行地区内的电压控制。

更概括地讲，无论在系统那一部分发生什么困难或故障，系统的控制必须保证。

3-2 控制的性能

这种控制方式的设计是为了便利系统运行，并在扰动不太严重时限制调度人员的介入。主要目的是纠正电压的缓慢变化。

发电与消耗之间的差异存在着随机变化，在这种虚假的稳态下，产生了电压变化。要把这种隐藏的较高频率的电压干扰（的幅度）显著降低，看上去似乎是不可能的。事实上，使这种干扰的频率下降到接近机组的基本频率，需要使二次控制的反应时间缩短到与一次控制的相接近。这样，在发生局部波动时，二次控制很可能与一次控制的动作相对抗，而区域之间的无功变化所形成的自然补偿就不复需用，其结果是电压干扰水平的降低。某些技术规定必须遵守：被控制的交流发电机的无功出力变化速度应低于规定值，以防止由于热的作用而产生机械应力。再者，在区域内的输电系统中，所有变电所的电压必须保持在允许范围以内。

在考虑的对象中，需由控制设施来处理的扰动是：

1. 系统负载状态随着一日内的时间，季节（夏季或冬季）和水情而变化，特别注意对电压最有约束性的一些预想；

2. 无功出力的意外变化（例如损失一台正在吸收或发出无功的机组，跳脱一台电抗器），其结果可能引起电压的显著变化。

对稳态情况下控制的准确性和暂态情况下电压水平的恢复速度二者予以衡量，就能对各监视点之间的电压差和区域内的无功出力两者的控制法则作出规定。

准确性将受到系统的自然干扰水平以及测量和传送装置的精度的限制。

此外，鉴于符合安全或经济准则的电压水平是在每一瞬间确定的，因此不要使电压变化离这个水平太远。

最后，控制设施的稳定和阻尼情况必须是这样：无论由于系统中的连续扰动或者由于控制参数的意外变化（传输中断、测量错误、零点飘移等），都没有出现不稳定情况的危险。

4. 控制装置的运行

4-1 地区控制：在巴黎地区的实验

4-1-1 原理 巴黎地区被选作“二次电压控制”的实验现场，第一阶段涉及二个区域，伯列思（Plessis）I 和 II。

每一区域的监视点的电压值，被连续适时地发送到“巴黎地区”控制中心的一台计算机内。计算机每隔半秒钟对测量数据采样一次，进行加工处理，再通过“数据转换”，变成所谓“电平”的指令形式，然后发送到参加控制的各机组。

一台无功调节器，按照收到的指令，对机组的无功出力进行控制（见图 1）。

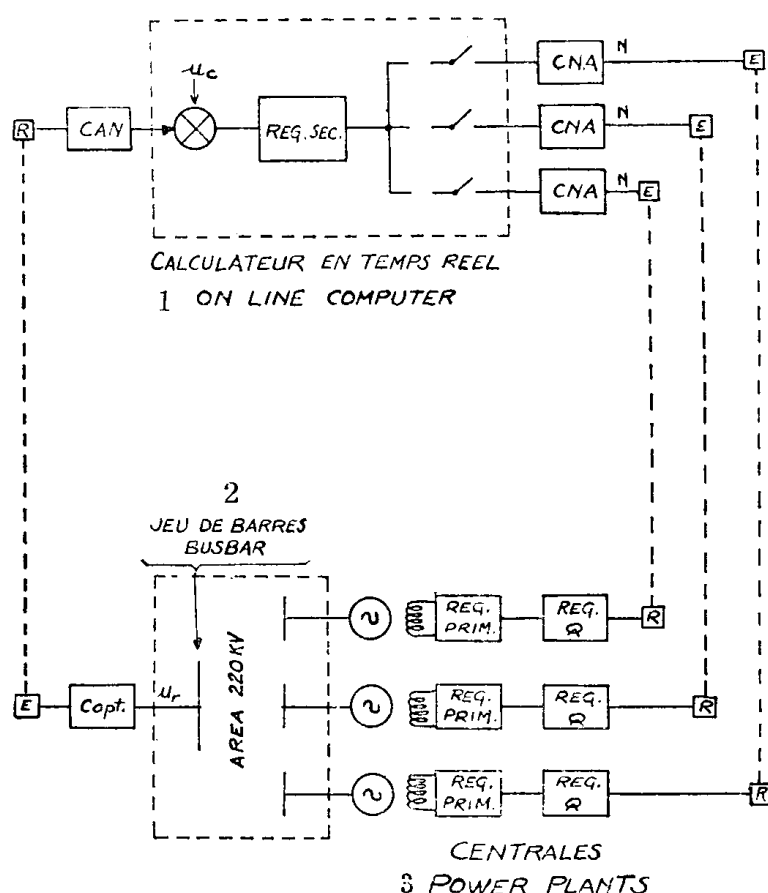


图 1 一个区域的控制原理示意图

1—在线计算机；2—母线；3—发电厂；

u_r —监视点电压； u_c —规定电压； N —电平；Capt—电压测量的传感器； E —发讯机 } 远距离通讯系统；
 R —收讯机 }
 CAN—模数转换器；CNA—数模转换器；REG. Q—无功功率调整器；REG. PRIM—一次电压调整器；
 REG. SEC—二次电压调整器

4-1-2 计算机有处理电平和把它们发送到有关机组上去的双重职能 第一个职能是把测得的电压值与规定值之差取得积分量，规定值是系统调度员从他的控制台上手动输入的。所以对每个“监视电压”有一个相应的“区域电平”，后者就被发送到当时接在受控

区域内的控制机组上去。

由于这种连接是可以根据结线需要而改变的，所以计算机可以分接以进行其它工作。

第二个职能要求计算机时刻了解系统的结构，这里具体要求它考虑到系统偶然部分地解列（系统孤立）的情况，或者（另一种情况），把一台机组转入一个区域以供给它相应的新电平，而同时保证（两个数值间的）过渡电平能比较满意。

4-1-3 无功功率调节器的作用 调节器的作用主要是使机组按照收到的电平来发无功，无功的分量是根据控制设施送来电平的百分比来确定的。为此，它与任何伺服机构一样，把测得的数值与规定值相比较，取得一个与两者之差成比例的量。这个量，借改变一次电压调整器的整定电压，使它去操纵机组的励磁。

作用于一次调整器上的量有二种形式同时存在：第一种是比例式的，用一个电气量（电压），另一种是积分式的，用一个机械量（可控电位计）。这个双重命令，除其它优点外，还能限制过渡过程中（例如当接入控制装置时）的变化幅度。这就提供了一个很简便的操作，即只要按一下控制台上的按钮，投入或切出的程序操作就能自动完成。

为使现有的无功功率在其技术允许范围内得到充分利用，好几个限额（定子的电压和电流、转子电流、内功角）具有抗拒电平命令的作用，如果命令有使机组超限运行的趋势的话。因此，可以选择一个大体上包括规定限额的控制范围，而不必忙于使限额随不同负载情况而改变。所以，与火电机组在负荷-频率控制中的情形相反，机组的所有无功功率都可利用。最后，如果由于发生某些故障，调整器将使机组过多地超限运行时，则有一套保护装置，将调整器平稳地切除。因而切除并不等待机组的保护装置动作。

4-1-4 实验的结果 只有一种模型式的调整器在一台 15.6 万千伏安的汽轮发电机组上作了试验。在无功控制（精度优于 0.5%）和限制动作方面，结果都比较好。由于只用了一台控制机组，所以控制监视电压的试验不能有什么意义。但试验还是做了，并且大体上证实了理论的假设和由模拟机所得的结果。

4-2 把控制扩大到整个系统

4-2-1 监视点和区域的确定 监视点应选择在这样的地方，那里可能发生的最极端的情况将妨碍系统的运行。

这些干扰一般发生在靠近负荷或机组的集中点，也就是大量供应电力的地方。

均匀分布于全系统的监视点，是从短路容量最大的结点中选出来的。接着对系统进行划分，使电压变化紧跟监视点的各个结点与监视点组合在一起。

从这次初步划分中，除去下列各点，即可确定控制区域：

（1）电压变化比监视点的某一百分比还要低的一些点，即距监视点的电气距离过远的一些点。

（2）由于种种技术原因，不参加二次电压控制的一些机组。

从控制区域这样排除的一些点，重新组成为一个所谓“零区”的特殊区域，那里所有机组电压仅作一次控制。这个“零区”是一个不划界限的区，但它掺杂于若干控制区域之中。

控制区域内的机组，都预定装设类似在巴黎区域试验过的无功控制系统。同一个控制区域内的所有机组，由同一个“电平”来控制，使控制机组的无功变化（与容量）成同一比例。

4-2-2 电压计划的探索 要研究一个电压计划，满足系统分成区域的设想，并使同一个控制区域内的机组在同一无功功率水平上运行，需要用一个新的潮流计算程序。

计算的基础是用一个带有有界变数的分配程序，来解决下列问题：

设想一个系统的结点总数为 N 。

必须求得各个结点 i ($i=1\sim N$) 的电压模数 V_i 和相角 θ_i (相位的基准取一个结点，它同时又作为平衡结点) 使得：

(1) 对所有结点，除平衡结点外，有功功率的进出差额等于一个给定值 P_i ；

(2) 对所有结点，无功功率的进出差额将处在 $\underline{Q}_i$ 和 $\overline{Q}_i$ 两极限之间；

(3) 对所有结点，电压模数将处在 $\underline{V}_i$ 和 $\overline{V}_i$ 两极限之间。

新的分配程序包括一系列叠代，其中每项要进行三次运算：

(1) 首先，用有界变数作负荷潮流计算，求得一个电压计划和每台机应供的无功功率。

(2) 其次，将求得的每一区域的无功功率重新按各机组的可能出力按比例分配，但保持每一区域所发无功总额不变。

(3) 最后，暂时假设每台机的无功极限约等于新的无功数值。

第一次叠代至此完成。用新的极限值作有界变数的再一次计算，将为每台机组求得新的无功值。这样的叠代继续进行下去，直至机组无功值的合理安排达到要求的精度为止。

这样，就得到一个满足上述设想的电压计划。

4-2-3 区域内无功功率变化对监视点电压变化影响因素的探索 设想，为所有机组规定一个以额定无功功率的正负值为界限的无功领域，在同一控制区域 i 内，各机组都以规定的无功领域的同一百分比 α_i 运行。

各控制区域的无功的向量百分比用 α 表示；其相应的监视点电压的向量模数用 V 表示。

根据克希荷夫方程式，系统内各结点的无功平衡为：

$$Q = \Psi(U)$$

与电压变化 ΔV 相对应的无功变化 ΔQ 为：

$$\Delta Q = \Psi' \Delta U$$

假设区域 i 处于结点 j 的峰值时，一台机的无功吸收极限为 $\underline{Q}_{ij}$ ，其供出极限为 $\overline{Q}_{ij}$ ，则它的无功功率等于：

$$Q_{ij} = \underline{Q}_{ij} + \alpha_i (\overline{Q}_{ij} - \underline{Q}_{ij})$$

它的无功变化为：

$$\Delta Q_{ij} = \Delta \alpha_i (\overline{Q}_{ij} - \underline{Q}_{ij})$$

所以，结点上的电压变化 ΔU 等于：

$$\Delta U = (\Psi'_0)^{-1} \Delta Q = M \Delta \alpha$$

矩阵 M 是一个长方形的，它的行数等于系统的结点数目，列数等于控制区域的数目。

如果从向量 ΔU 引出代表监视点电压变化的向量 ΔV ，则得出这些电压变化与每一区域

无功功率变化之间的关系式如下：

$$\Delta V = m \Delta \alpha$$

式中： m 为一个与区域数目相对应的正方形矩阵，就是所欲求得的影响因素的矩阵。

4-2-4 影响因素矩阵的特性 影响因素矩阵的逆形式对控制具有更直接的关系，它的对角线各项是“正”的，它的非对角线各项是“负”的或接近于零。

这个矩阵的各项表示区域之间的相互联系。

如果监视点的选择恰当，则对角线各项的绝对值要比非对角线各项的大，这表明区域之间的有较好的独立性，但并非完全的独立性。

事实上，这个矩阵具有“子块-对角线”的结构，说明有些区域之间联系比较紧密，它们可以重新集成几个地区。例如，巴黎地区内几个区域的情形就是这样。从这些考虑中，可以提供一种控制图。

4-2-5 控制图 为系统的一种给定运行方式，排定了一个正确的电压计划。选定监视点上的预定值作为它们的基准（或规定）值。这些点上的电压，必须控制在规定值的邻近。

如果出现干扰或系统状态的发展，则系统电压，具体是监视点电压，将发生变化。这里也是电压的测量点。

控制步骤包括三个阶段：

（1）一次电压调整器的动作：这是一个快速动作。这些一次调整器有一个规定电压，后者是由无功功率调节器的输出量来作调整的。

（2）二次动作：地区控制中心拥有由它负责的所有监视点的测量数据。它借助于影响因素，向地区内每一区域发送一个新的无功功率电平。

这个无功功率电平，调整无功功率调节器的规定值。

在正常情况或非常有限的扰动情况下，地区控制中心对所属区域以协调方式进行有效的引导。

当发生较大的扰动时，国家一级的控制就更为重要。

（3）三次动作：在国家一级，可分为三种动作形式。

a. 全国控制中心拥有所有区域内监视点的测量数据。它能对地区控制中心发送由于其它地区影响而需要的纠正信息。

在正常情况下，这些纠正信息并非十分重要，仅在达到某一限值时，由地区控制中心予以处理。

b. 地区之间的互助 一个区域的无功功率已达到它的极限时，则国家一级的调整动作就很重要。

在这种情况下，实际上已不能完成所考虑的电压计划。因此，全国控制中心必须寻求一个新的电压计划，尽可能与原先确定的相差不多，例如，使电压偏移的平方之和减至最小，并将已达到极限的区域的限制措施考虑在内。

在全国控制中心的调度下，邻近区域就支援了困难区域。

c. 电压计划的最佳化 鉴于系统状态已由监视点上的一些测量数据发送到全国控制中心，故后者可在任何时候，或至少每隔一定的时间，按照安全准则，实现电压水平的最佳

化。

这样就可以找到例如这样一个电压水平，使所有机组都尽量保留无功裕度，或使投入的无功减至最少，或在二者之间取得折衷。

其它一些或多或少复杂的准则亦可在这种最佳化方案中考虑。

4-2-6 控制命令的作出 影响因素矩阵使我们能排出一个具体系统的简化模型。

对系统状态的衡量，可根据监视点电压的测量数据作出。后者或通过直接测量（如果测量的准确度很高），或通过“滤波”方法。

实际上，电压的测量，是每隔 Δt 的时间取样一次的。

要在 k 和 $k+1$ 两个瞬时之间采取动作。这个动作，依据选择的调整准则而定。

如在瞬间 k 的电压偏移（离规定值）为 ΔV_k ，而在瞬间 $k+1$ 的偏移能减至 $\frac{1}{n}\Delta V_k$

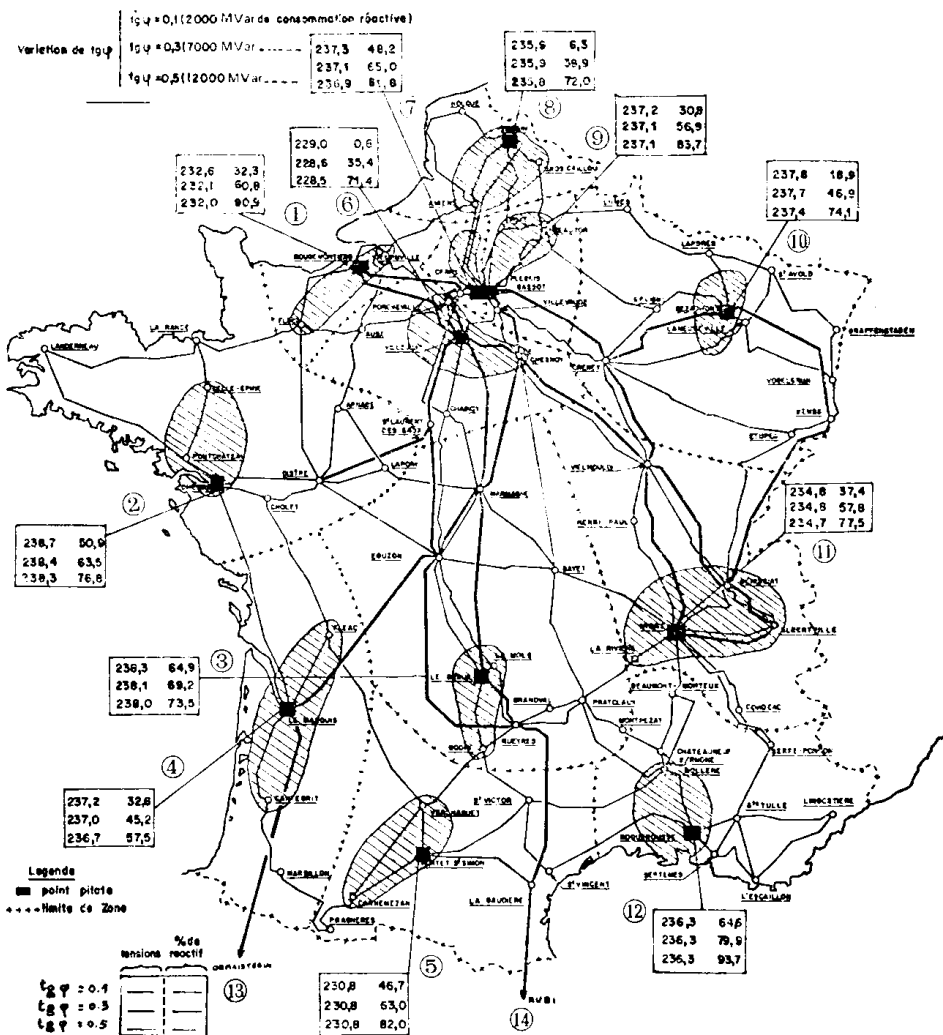


图 2 总无功负荷变化时，监视点电压和地区无功功率的变化

图例：■监视点；++++地区界线

	电压	无功%
$t_g \varphi = 0.1$	—	—
$t_g \varphi = 0.3$	—	—
$t_g \varphi = 0.5$	—	—

1—鲁日蒙第；2—舍维尔；3—勃瑞；4—马尔季；5—勃第西蒙；6—维耶如；7—伯列思加索Ⅱ；8—阿维林；9—伯列思加索Ⅰ；10—贝则蒙；11—米昂；12—罗克鲁斯；13—至奥麦提克；14—至瑞基

(此处 $n > 1$)，则可说是值得的。

选择的原则，一方面，理想的偏移值应为“零”；另一方面，不希望调整得过分突然，以避免产生机械应力，具体说，就是避免发电机的无功出力变化太快。

这意味着控制命令应有一个限度。在 k 和 $k+1$ 两个瞬间之间，电压偏移值只能减少 n 倍。

这给了一个如下的概略控制形式：

$$\Delta \alpha_k = A \Delta V_k$$

其中： A 是影响因素矩阵、系统时间常数、采样时间间隔和系数 n 的一个函数。

4-2-7 影响的发展：适应控制 如系统在随时变化，则通过测量掌握这些变化，将能跟随影响因素矩阵的发展，改变实时控制的条件。

4-2-8 结果

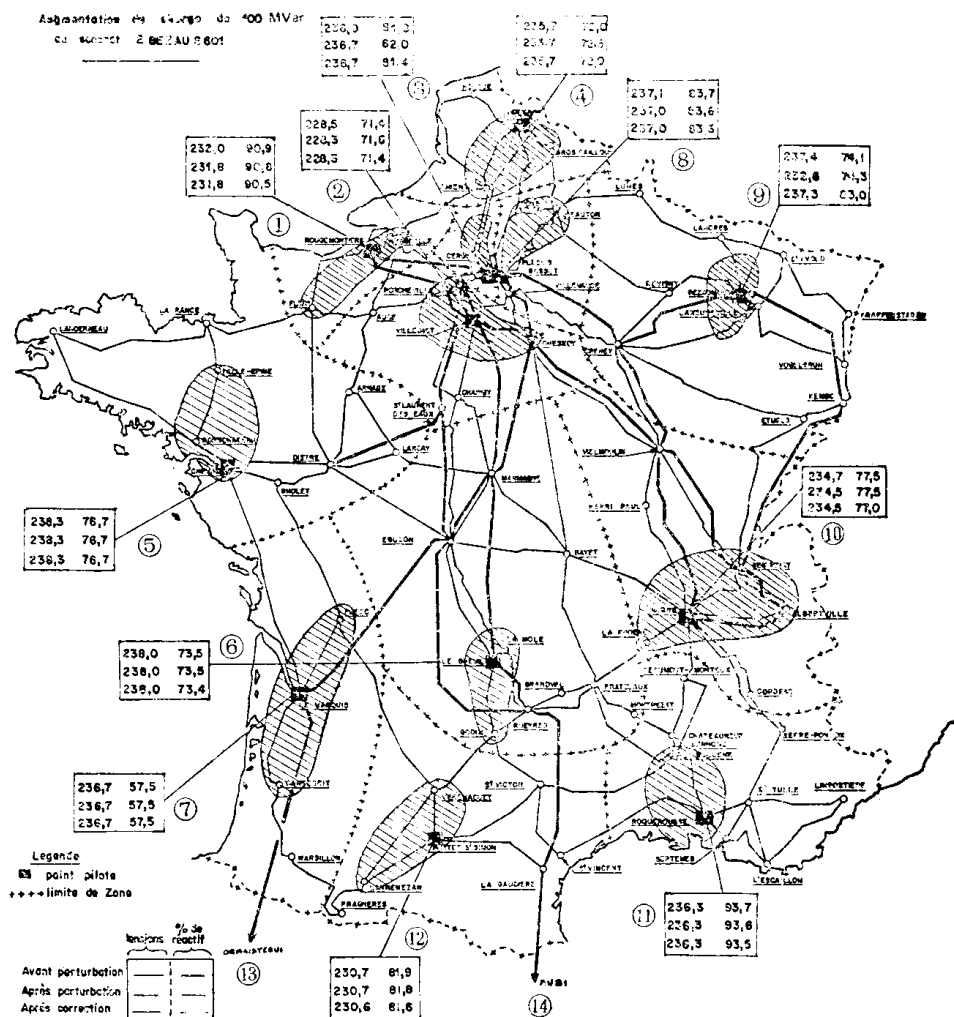


图3 一点负荷发生变化时，监视点电压和地区无功功率的变化

图例：■ 监视点 +++ 地区界线

	电压	无功 %
干扰前	—	—
干扰后	—	—
校正后	—	—

1—鲁日蒙第；2—维耶如；3—伯列思加索Ⅱ；4—阿维林；5—舍维尔；6—勃瑞；7—马尔季；8—伯列思加索Ⅰ；9—贝则蒙；10—米昂；11—罗克鲁斯；12—勃第圣西蒙；13—至奥麦提克；14—至瑞基

(1) 系统从一个状态过渡到另一个状态的第一次试验 第一次试验的目的在于对程序进行试验, 这个程序是为在一个简化的模型上, 研究系统在出现各种干扰使监视点的电压发生变化时的运行情况, 以及对这些变化的纠正方法。

被试系统有414个结点。研究一个实际运行情况。此时系统分为12个地区(有12个监视点)。

无功功率取得平衡, 误差约在3%以内。接着施加了一些干扰。

附图上注有干扰前、干扰后和校正后每一监视点的电压和每一区域的无功功率百分数。

(2) 总无功负荷的变化(见图2) 本试验在于变更系统内所有结点的无功负荷, 即变更 $\text{tg}\varphi$ 。

在地图上, 与三个 $\text{tg}\varphi$ 值相对应的有三行数字:

$\text{tg}\varphi=0.1$ 相当于200万千乏无功负荷;

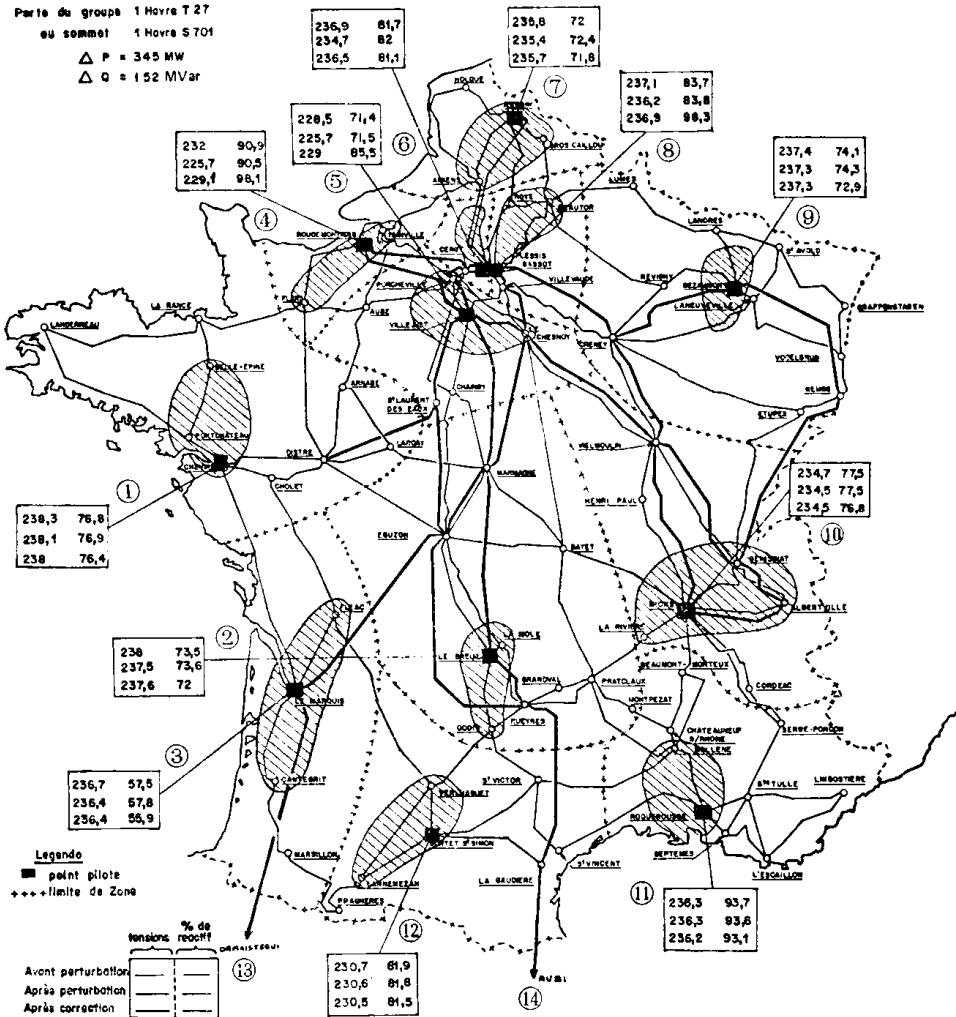


图 4 跳去哈佛火电厂 1 号机组时, 监视点电压和地区无功功率的变化 ($\Delta P=34.5$ 万瓩, $\Delta Q=15.2$ 万千乏)

图例: 同图3

1—舍维尔; 2—勃瑞; 3—马尔季; 4—鲁日蒙第; 5—维耶那; 6—伯列思加索 II; 7—阿维尔; 8—伯列思加索 I; 9—贝则蒙; 10—米昂; 11—罗克鲁斯; 12—勃第西蒙; 13—至奥麦提克; 14—至瑞基