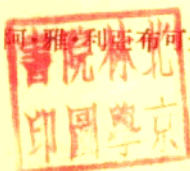


電力網

下 册

蘇聯 阿·雅·利廷布可夫教授著



燃料工業出版社

PDG

目 錄

第八章 電力網的電壓調整	231
8-1. 電壓調整問題及對策	231
8-2. 變化發電廠內的發電機電壓來調整電壓	231
8-3. 用帶負荷調整的變壓器和感應電壓調整器以調節電壓	233
8-4. 變更電力網常數以調整電壓	235
8-5. 改變電力網上的無功電力值以調整電壓	235
8-6. 同期調相機與靜電電容器及其比較	233
8-7. 按照給定的輸電線起端的條件，用圖解方法決定同 期調相機的容量，其負荷以電力表示之	233
8-8. 根據給定的輸電線的起端條件，以解析法求同期調相 機的容量，負荷以電力表示之	241
8-9. 靜電電容器容量的決定	249
8-10. 電力網中各種電壓調整設備的應用	249
8-11. 變化無功電力時的電力傳輸工作	251
8-12. 發電廠內的發電機在異於額定電力因數的情況下運行	254
第九章 電力網內電能的損失	257
9-1. 概論	257
9-2. 基本概念與定義	257
9-3. 求電力網內線路上的電能損失	262
9-4. 求變壓器中的電能損失	267
9-5. 輸送電能的成本	270
9-6. 電力網線路的導線與電纜的經濟截面	272
第十章 電力網設計的概念	274
10-1. 概論	274
10-2. 電力網電壓的選擇	275
10-3. 電力網結線圖的概念	276
10-4. 電力網的容許的電壓變動率和電壓損失	295
第十一章 電力系統在運行中的幾個問題的概念	299
11-1. 概論	299
11-2. 調整頻率與調整有功電力的概念	299
11-3. 電力系統併列運行的穩定性的概念	303

第十二章 電力網架空線路的機械部分	308
12-1. 概論	308
12-2. 導線和地線的機械荷重	308
12-3. 基本的概念和關係	318
12-4. 導線在支架點處的應力	320
12-5. 檔距中的導線形狀的方程式	321
12-6. 臨界檔距	324
12-7. 最大弧垂	326
12-8. 臨界溫度	326
12-9. 導線的機械計算所用的資料	327
12-10. 鋼心鋁絞線的機械計算	334
12-11. 導線支架點在不同高度的導線計算	346
12-12. 檔距中導線斷線計算的初步概念	348
12-13. 使用懸垂絕緣子和固定型線夾的導線，如在檔距之間斷線 時，其導線拉力的決定	351
12-14. 如採用釋放或滑動線夾在斷線時的導線拉力	358
12-15. 導線與地線在支柱上的排列以及架空線路的間隔	359
12-16. 架空線路支柱的機械計算	367
12-17. 按照輸電線通過的路線的斷面圖來排定支柱的位置	399

附 錄（參照上冊）

第八章 電力網的電壓調整

8-1. 電壓調整問題及對策

電力網的負荷如發生變化時，或某些用戶突然投入或突然切斷，或變更電力網的阻抗，例如：切斷雙回路的一路時，它的電壓損失的數值將要改變，因此，電力網中各點的電壓亦將隨之而改變。

受電端的電壓變動，如果超過了允許的限度，以致不能保證該處的正常運行時（見第 10-4 節），則應當採用電壓調整法，來維持受電端電壓，使在規定的限度之內。

電壓的調整，不僅能夠在技術方面改善電力網的運行，並且能夠減少運行方面和建設方面的成本；例如：某地方的電力網有了電壓調整設備時，不僅能夠得到合乎規定的電壓變動，並且可以減小導線的截面，而且，儘管由於電壓調整設備而增加了成本，但總的電網的建設資金將會減少。

電壓調整的方法很多，主要可以分為下面幾類：

- 1) 變更發電廠內發電機的電壓。
- 2) 使用帶負荷調整電壓之變壓器，或感應型及其他型式的電壓調整器。
- 3) 變更電力網的常數。
- 4) 變更在電力網上流過的無功電力的數值。

前兩種方法幾乎並不影響電力網內電壓損失的變化，而後兩種方法，則恰好是以變更電力網內的電壓損失為主。

8-2. 變化發電廠內的發電機電壓來調整電壓

在發電廠內如維持發電機端子電壓不變，則在用戶處的電壓必不能保持恒定。負荷最大時，電力網內的電壓損失增大，因而在用戶處之電壓則降低。相反地，負荷最小時，電力網中的電壓損失減小，因而用戶處的電壓會增高。

爲了保持在用戶處的電壓不變，那麼在第一種情況下——電力網負荷最大時——就要在發電廠內提高發電機的電壓，而在第二種情況下，相反地就要降低發電機的電壓。

現代的發電機，在額定出力和額定電力因數下運行時，其端子電壓的變化可以達到正常情形 $\pm 5\%$ 的限度。

在電力網內如有其他電壓調整設備，則直接連接於升壓變壓器的發電機（沒有發電機電壓的母線）也可以應用這一個限值。

某發電廠如果主要是供給由發電機電壓的母線所供電的用戶，那麼在缺乏其它電壓調整設備時，則後者的調整限度應比以上所示的小，這是因爲不同線路的用戶可以有顯然不同的運行情況。

實際上，如果由一個發電廠供電的電力網裏，存在有許多種用戶時，在用戶處建立正常的電壓是很困難的，因爲任何一個用戶的負荷如果變化，便會牽涉到其它用戶處電壓的不應有的變化。

應用改變發電機電壓的方法來調整電壓，只能充分地用在終端有一個負荷的線路。

所以只有在用戶性質相同，不大發達的電力網上，而且這些用戶的電壓降落約略相同時，那麼，採用變更發電機電壓的方法以調整電力網電壓才會足夠地有效。利用發電機電壓變化的電壓調整法，可以按照預先擬定的電力網上控制點的電壓曲線來進行。

只有一個發電廠的、比較發達的電力網內，變更發電機的電壓以調整電壓的方法，只能當作輔助的方法。

運行的經驗證明，不管是否利用其他方法，這種調整法幾乎是永遠需要。

已有充分發展的電力網內存在兩個或更多的發電廠時，如利用變更發電機的電壓以調整電壓就更困難了。因爲電網內某點的電壓，不僅與任何一個發電廠的運行情況有關，而且與發電廠之間的有功電力及無功電力的分配有關。

由此可見，在這種情況下，電力網上的電壓調整問題，同時又產生了經濟上合理地分配電力的問題。

一般說來，電力網的形狀愈複雜，發電廠和分散於各處各種用

戶也愈多，則利用變化發電機電壓的方法以調整電力網電壓的問題，也就愈加困難，而且有時是不可能解決的。

所以在電力網內變化發電機電壓以調整電壓的方法，只有在應用了別種的電壓調整設備（主要是當地電壓調整設備）才有可能。

8-3. 用帶負荷調整的變壓器和感應電壓調整器以調節電壓

改變變壓比以調整電壓的最簡單的方法，是改變抽頭（分接頭）位置，這在任何變壓器裏都有。凡大型變壓器，在高壓側是按照基本抽頭電壓上下每 2.5% 有兩個抽頭，凡小型變壓器按照基本抽頭電壓上下每 5% 有一個抽頭。

在變壓器長期運行後（幾個月一次）才能應用這樣的調整電壓的方法來改變電壓；因為只有在變壓器從電力網內切離時，才能够改變變壓比。所以每次改變抽頭位置就關係到供電的中斷。

最廣泛最適用的改變變壓比的方法，是用帶負荷調整電壓的變壓器。這樣的變壓器有兩種形式：一種是內部附加電壓調整設備的主變壓器，一種是帶負荷調整的補助變壓器，與普通型式的主變壓器串聯使用。

附加電壓調整設備的變壓器裝置，比較普通的主變壓器加上帶負荷調整的補助變壓器的一套裝置，從經濟方面來講是有利的。

因此，在新建的電力網裏，如按照設計，必須採用電壓調整器時，並且可以定購帶負荷調整電壓的變壓器時，應當採用有附加調整器的變壓器。

在現有電力網內，如在電力網的運行過程中，發現有調整電壓的必要時，往往採用補助的調整變壓器，以補加到主變壓器上。

帶負荷調整的變壓器的電壓調節範圍是很寬的，可以達到 15—20%。舉例來說：MT3 出產的 20 000 千伏安三相可調整變壓器，其變壓比的極限選為 $11.0 \pm 2 \times 2.5\% / 11 \pm 4 \times 3\%$ ，即二次電壓可以按照 3% 的八個階段來帶負荷調整；而三相 60 000 千伏安 110 千伏的帶負荷調整補助變壓器，可以在 $+3 \times 2.5\%$ 或 $-7 \times 2.5\%$ 的範圍內產生十個階段的電壓調整。

感應電壓調整器或電位調整器就是被扼制的非同期電動機，藉其轉子線圈與靜子線圈的相對旋轉以變更二次電壓。

靜子線圈是連結在電力網上的，它產生旋轉磁場轉子線圈，就在這旋轉磁場之內。轉子線圈串接在應當調整電壓的線路內，就是由於它的作用，在線路上引入了一些正的或負的附加電動勢。

由於靜子與轉子間的相對轉動關係，在轉子內感應出來的這種數值不變的電動勢，可能與擬調整的線路電壓 U 形成不同的相位。因而被調整的線路電壓的數值可在 $U \pm u$ 的範圍內變動，其中 u 就是附加的電壓。

感應電壓調整器的缺點是：被調整與未被調整的電壓向量之間有相位的差別；這種電壓調整器的價格比較昂貴；激磁所耗費的無功電力甚多，只不過可應用於低電壓的線路等等。

感應電壓調整器的優點是調節均勻，而且可以應用於大電流的線路等等。

為了避免被調整和未被調整的電壓之間的相位差別，可以安裝雙感應電壓調整器，這種缺點便能消除。

一般製造的感應電壓調整器，其容量往往在幾百千伏安左右，但也有製造 2500 千伏安的實例。

在電力網內感應電壓調整器往往是應用於變電站的低壓側，主要是為了電壓比較低的城市電力網的電力幹線。它在區域電力網內的應用是有限制的，因為不僅在製造時電壓的大小(11千伏以下)有限制，而且它的容量也有限制。

還應當提起另外一種帶有縱調節與橫調節的變壓器，它不但能够改變電壓，並且能够改變相位。這種變壓器在 1930 年出現，它在那些既須改變電壓的大小，又須改變電壓間的相角的地方，得到了推廣。

這種變壓器的目的，是在電力網內可以人為地分配電力，以保證最經濟的運行。

因為電力網上電力的自然分配是由電力網的有效電阻和電感所決定的，而在減少電能損失方面來說，却不一定是最有利的。

所以，爲了保證電力網最經濟的運行，必須在電力網的各部分，人爲地分配電力。這樣的任務就由帶有縱調節與橫調節的變壓器來完成。

例如：要在不同的電壓和特性常數的雙回路線間平均地分配電力，就得在一條線路上連結帶有縱調節與橫調節的變壓器。電力交互分配的結果，也就使電壓改變。

220 與 110 千伏的區域電力網實行並列運行時，一定要應用這樣的變壓器。

8-4. 變更電力網常數以調整電壓

電力網有一部分是並聯的線路時，則可用操作方法來變更電力網常數以調整電壓。假使在低負荷的時期，用戶的母線電壓顯示過高，則可以切斷雙回路中的一條線路，增加回路中的阻抗，從而增加線路中的電壓損失，便可以降低用戶處的電壓。

但是，進行這種操作時，必須考慮留下的單回線的運行上的可靠性，並且必須是不致引起用戶處供電的中斷。

更完善的電壓調整方法，是使用與線路串接的，即與線路的每相串聯的靜電電容器，來改變線路的阻抗。電容器的電容量在某種程度上補償了線路的電抗。因此，這條線路的電壓損失主要就是取決於有效電阻。

我們要注意到，不管這種電壓調整方法是怎樣合理，但是目前實際應用串聯式靜電電容器的，還只限於個別的地方。

8-5. 改變電力網上的無功電力值以調整電壓

發電廠的電壓不變時，在用戶處的電壓變動是隨電力網內的電壓損失而變化。

電力網中的電壓損失等於電壓降的縱軸分量，就是：

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}$$

分析這個公式就可以推引出結論，就是當電力網在給定的電壓 U

和給定的有效負荷 P 下運行時，其電壓損失之值與 R , X 和 Q 有關。

在電力網中流動的無功電力 Q 的作用，以及對電力網運行上的影響，詳細闡明如下文（第8-9及8-10節）。A. A. 格拉茹諾夫（Глазунов）教授指出：在線號大的架空線和線號大而電壓在20千伏以上的電纜線路內，當其電抗 X 之值大於電阻 R ，而有功及無功電力大約在同一序列（ $Q=0.7-1.0P$ ）時，則電壓損失主要決定於線路上流過的無功電力。在電力網內有升壓和降壓變壓器時，無功電力對於各種設備的影響就更大。

由此顯然可見，如變更電力網內的無功電力，便能够改變電壓損失，因而調整了用戶處的電壓。

使用同期調相機和靜電電容器，便可以實際地實現這種理想。

有一段時期，爲了這個同樣的目的，曾採用過非同期調相機，就是從滑圈式的相位調相機得到勵磁的非同期感應電動機。在運行上表現得成就很少，所以現在不再使用它了。

改變電力網中流過的無功電力，也能使發電廠之間的無功負荷重新分配。

實際上，假如有兩個發電廠，以輸電線相互聯系，則在運行時，必須升高一個廠的電壓，才能讓它充分地帶大量的無功電力，而使另一廠的無功電力減輕。

自然，這種電壓調整的方法，如果調整範圍很大，則發電廠須有很大的後備的無功電力容量，這種情況並不常有。雖然如此，這種方法在運行時，還是很常用並且很有效的。

發電廠與同期調相機之間如何分配無功電力的生產量，是根據產生無功電力的發電廠的任務而定。這些任務是由發電廠的無功負荷曲線所規定的，而這些無功負荷曲線係根據無功電力的系統需要量的綜合計算而得來的。

8-6. 同期調相機與靜電電容器及其比較

同期調相機就是空載運轉的同期電動機。在過勵磁時此電動機成爲電力網的電容負荷，當不足勵磁時即成爲電感負荷。在第一種情況

下，同期調相機作為無功電力的發電機而運轉。但在第二種情況下，即作為無功電力的消耗者。

同期調相機的額定容量應考慮電流超前時的容量。

蘇聯製造的同期調相機，其電壓是由 400 至 11 000 伏，容量自 1000 至 50 000 千乏（表 II-34），但在不足勵磁時的容量，只相當於過勵磁運轉情況下容量的 50—64%，或平均 60%。

小的號碼是指容量小的同期調相機，大的號碼是指大的同期調相機。

所指出的不足勵磁時的容量值說明如下：這是因為在不足勵磁情況下，產生最遲後的電流時，同期調相機的勵磁電流趨近於零。所以同期調相機在不足勵磁時的容量，不可能比指出的過勵磁時的容量還大。因為此數值已相當於無勵磁時之容量。

靜電電容器也可以調整電力網的電壓，但所調整者僅為升壓端電壓，一般往往裝置成一組，與輸電線終端的負荷相並聯。此類電容負荷投入後，無異於增加了無功電力的發電機。為了調整電壓，每組電容器往往分成數部分，每部分均可個別接入或斷開，以便於按照負荷的大小來變更並聯的電容量。

應當指出，靜電電容器既能調整電壓，同時又可改善輸電線終端的電力因數。同期調相機在過勵磁運轉時，也有這種作用。

同期調相機和靜電電容器二者都必須裝置於消耗無功電力的地方附近，也就是輸電線的終端，而非其首端。因為以上兩種設備的功用都是變更在電力網內流過的無功電力的。

用以調整電壓的並聯的同期調相機與靜電電容器之主要區別如下：

1. 同期調相機因其勵磁情況的不同，既可運轉於超前電流，又可運轉於遲後電流。在第一種情況下，它在電力網內產生無功電力，在第二種情況它從電力網消耗無功電力。靜電電容器對於電力網永遠只能是電容負荷，換言之，只能考慮作為無功電力的發電機。應該注意：同期調相機在消耗無功電力情況下運轉時，也就意味着電力網內有效電力損失的增加。

2. 同期調相機可以均勻地調整電壓，而靜電電容器只能分階段地調整電壓。

3. 同期調相機的電壓可以從零點逐漸升高，所以可以用來作線路檢修後的試驗等等。

4. 1000 至 50 000 千乏的同期調相機在全負荷時的有效電力損失，和其他轉動機器一樣，相當於 5.5 至 1.8%，而同時靜電電容器的電力損失只有 0.6—0.2%，也就是說幾乎縮小 10 倍，當減低負荷時，同期調相機內的電力損失便增加，但是當切斷或投入個別的靜電電容器組，以調整電壓時，它的損失與負荷無關。氬氣冷卻式的同期調相機其電力損失比前面指出的數字小 10—30%，前面指出的是空氣冷卻的同期調相機。

5. 一個千乏的裝建好的高壓大型同期調相機的價值，比一個千乏的裝建好的靜電電容器略為低一些，除此以外，靜電電容器的單位價值幾乎和容量並不發生關係，但是同期調相機的容量減小時，其單位價值則是增加的。

6. 同期調相機與其他轉動機器相同，其電壓在製造時只能選擇與一般發電機相同的電壓；但是靜電電容器可以直接連結於 110 千伏以上的電力網。

7. 靜電電容器的優點還有：無轉動部分和不需要運行人員經常照料。

同期調相機與靜電電容器間的選擇，在每種具體情況下，都應當在技術經濟的基礎上進行比較。

8-7. 按照給定的輸電線起端的條件，用圖解方法 決定同期調相機的容量，其負荷以電力表示之

設自發電廠有數條輸電線引出，其特性各不相同（長度，架設的方式，負荷，運行方式等等），如果規定每條線路的終端電壓的時候，就很不便於計算的。因為這樣會造成這種情況：在發電廠內為了滿足各別線路上的電壓，必須同時維持幾個不同的電壓，這是不可能的。

所以在這種情況下進行計算時，須規定發電廠電壓的某一定數值，而算出每條線路終端的不同的電壓。

由此出發，著者建議用下述的方法，即按照規定的線路起端的條件，以求同期調相機容量的圖解方法。

設線路的終端帶有一個負荷，不論這負荷怎樣變化，線路首端電壓 U ，是維持不變的。

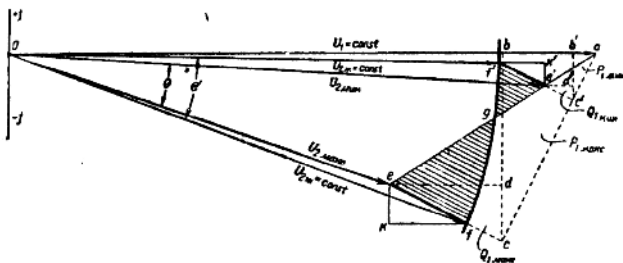


圖 8-1 按照規定的起端條件，以求同期調相機的容量

線路的負荷最大時，其終端電壓可用圖解法求得(圖 8-1)，依公式①：

$$\dot{U}_{2max} = U_1 - \frac{P_{1max}R + Q_{1max}X}{U_1} - j \frac{P_{1max}X - Q_{1max}R}{U_1},$$

爲了使圖形明顯，把這一個公式化爲展開的式子：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{2max} = U_1 - \frac{P_{1max}R}{U_1} - j \frac{P_{1max}X}{U_1} + j \frac{Q_{1max}R}{U_1} - \frac{Q_{1max}X}{U_1} \\ = oa - ab - jbc + jcd - de. \end{aligned}$$

進入這公式內的線路首端電力 $W_{1max} = P_{1max} - jQ_{1max}$ 是線路終端電力 $W_{2max} = P_{2max} - jQ_{2max}$ 以及按電力網內正常電壓以求得的近似電力損失之和。

線路負荷最小時 $W_{1min} = P_{1min} - jQ_{1min}$ ，線路終端之電壓可用相同的圖解法求得

$$U_{2min} = oa - ab' - jbc' + jcd' - d'e'.$$

此線路終端電壓與所希望的某不變電壓 U_{2k} 有所區別，當這一

① 在公式內指數 max 與 min 是表示該值係最大或最小情況。

個電壓 $U_{2\pi}$ 存在，則輸送電能時，在線路首端及終端將有恒定的電壓值，即 $U_1 = \text{常數}$ 和 $U_2 = \text{常數}$ 。

不難看出，截線 ce 及 $c'e'$ 與負荷的無功電力是成比例的。

線路終端安裝同期調相機之後，可使任何負荷情況下的電壓值不變，其值 $U_{2\pi} = \text{常數}$ 。

實際上爲了將電壓 $U_{2\pi\text{HNC}}$ 增至 $U_{2\pi}$ ，同期調相機必須過勵磁運轉。通過線路有功與無功阻抗的同期調相機過勵磁的電容電流通過線路的電阻和電抗而產生電壓降，在圖上則用三角形 ekf ，來表示，此處

$$ek = \sqrt{3} I_{\kappa}^{nep} R = \frac{Q_{\kappa}^{nep}}{U_1} R \text{ 和 } kf = \sqrt{3} I_{\kappa}^{nep} X = \frac{Q_{\kappa}^{nep}}{U_1} X$$

爲了將電壓 $U_{2\pi\text{HNC}}$ 降低到 $U_{2\pi}$ ，同期調相機必須不足勵磁運轉。同期調相機不足勵磁的電感電流通過線路的電阻及電抗而產生電壓降，可用三角形 $e'k'f'$ 表示，此處

$$e'k' = \sqrt{3} I_{\kappa}^{ned} R = \frac{Q_{\kappa}^{ned}}{U_1} R \text{ 及 } k'f' = \sqrt{3} I_{\kappa}^{ned} X = \frac{Q_{\kappa}^{ned}}{U_1} X$$

由此可見，有同期調相機時，線路終端電壓，在負荷最大時，等於 $of = U_{2\pi}$ ，由 $oe = U_{2\pi\text{HNC}}$ 與 $ef = \sqrt{3} I_{\kappa}^{nep} Z$ 的幾何向量之和所組成；而當負荷最小時，等於 $of' = U_{2\pi}$ ，由 $oe' = U_{2\pi\text{HNC}}$ 與 $e'f' = \sqrt{3} I_{\kappa}^{ned} Z$ 的幾何向量之和組成。

如負荷既非最大又非最小，則在無同期調相機時，線路終端的電壓向量，將沿直線 ee' 滑動，而在有調相機時，將沿弧 ff' 滑動。

因此，維持不變的電壓 $U_{2\pi}$ 所必需的同期調相機的適當容量，將爲直線 ee' 至弧 ff' 之間的截線，即平行線 ef 及 $e'f'$ 之間的截線。

在 g 點時，同期調相機之容量等於零。如負荷與此點相應時，在線路終端的電壓恰好等於 $U_{2\pi}$ 。

在 efg 範圍內，同期調相機是過勵磁運轉；而在 $e'f'g$ 範圍內，則是不足勵磁運轉。

從圖中顯然可見，在運行的極限情況下，線路終端電壓向量的相

位變化，在有同期調相機時（角 θ' ），比無同期調相機時大。

欲求同期調相機容量的數值，例如：當過勵磁時，可以測量截線

$$ef = \frac{Q_K^{nep}}{U_1} Z$$

的長短，單位為伏。由此，既知道了 U_1 [千伏] 及 Z [歐]，便可得出 Q_K^{nep} [千乏]。

8.8. 根據給定的輸電線的起端條件，以解析法求同期調相機的容量，負荷以電力表示之

首先要指出，以上所述的圖解法求出同期調相機的容量是相當費時間的，應當主要地、詳盡地說明有電壓調整的輸電線的運行情況。實際上用解析的方法進行計算比較方便；此法係應用關聯環節的首端及終端電壓的基本公式的。

$U_1 = \text{常數}$ 時，設線路終端之負荷在最大時之電壓等於 $U_{2M/KG}$ ，負荷最小時之電壓等於 $U_{2M/N}$ ，而現在要求線路終端電壓 $U_{2M} = \text{常數}$ 。

顯然可見，在第一種情況下，必須減少線路的電壓損失，即減少線路中流過的無功電力。為達到此目的必須依靠把同期調相機作過勵磁運轉。

在第二種情況下，必須增加線路的電壓損失，即增加流過線路的無功電力。為達到此目的，必須把同期調相機作不足勵磁的運轉。

解下面形式的首端與終端電壓的關係方程式來求 Q_K ，可以精確地求得同期調相機的容量。

$$U_1^2 = \left[U_{2M} + \frac{F_2 R + (Q_2 - Q_K) X}{U_{2M}} \right]^2 + \left[\frac{F_2 X - (Q_2 - Q_K) R}{U_{2M}} \right]^2$$

由同樣的方程式但不計電壓降的橫軸分量，可以求得比較不精確的同期調相機容量。

省略電壓降的橫軸分量時，更簡單的公式可以求得如下。

先看最大負荷的情況：

無同期調相機時

$$U_1 = U_{2M/KC} + \frac{P_{2M/KC}R + Q_{2M/KC}X}{U_{2M/KC}},$$

有同期調相機時

$$U_1 = U_{2M} + \frac{P_{2M/KC}R + (Q_{2M/KC} - Q_K^{nep})X}{U_{2M}}$$

使上面兩式的右邊部分相等，我們得到：

$$\begin{aligned} -\frac{Q_K^{nep} X}{U_{2M}} = U_{2M} - U_{2M/KC} + \frac{P_{2M/KC}R + Q_{2M/KC}X}{U_{2M}} \\ - \frac{P_{2M/KC}R + Q_{2M/KC}X}{U_{2M/KC}}. \end{aligned} \quad (8-1)$$

因為在負荷最大時， $U_{2M} > U_{2M/KC}$ ，所以上式最後兩項之差將為負數，以 α 表示之。也就是說可以寫作：

$$-\frac{Q_K^{nep} X}{U_{2M}} = U_{2M} - U_{2M/KC} - \alpha. \quad (8-2)$$

為了簡化計算，讓我們使(8-1)式具有相同分子的最後兩項彼此相等，即取 $\alpha=0$ ，這樣，由(8-2)式可見，計算最大負荷時，同期調相機的容量所造成的誤差在誇大的一方即得

$$Q_K^{nep} = \frac{(U_{2M} - U_{2M/KC})U_{2M}}{X} \quad (8-3)$$

同樣地在負荷最小的情況下，可以寫：

無同期調相機時

$$U_1 = U_{2M/H} + \frac{P_{2M/H}R + Q_{2M/H}X}{U_{2M/H}}$$

而有同期調相機時

$$U_1 = U_{2M} + \frac{P_{2M/H}R + (Q_{2M/H} + Q_K^{ned})X}{U_{2M}}$$

其次

$$-\frac{Q_{\kappa}^{ned} X}{U_{2\kappa}} = U_{2\kappa} - U_{2M\kappa} + \frac{P_{2M\kappa} R + Q_{2M\kappa} X}{U_{2\kappa}} - \frac{P_{2M\kappa} R + Q_{2M\kappa} X}{U_{2M\kappa}} \quad (8-4)$$

因爲當負荷最小時， $U_{2\kappa} < U_{2M\kappa}$ ，故上面公式最後兩項之差，將爲正數，以 β 表示，即可寫作：

$$-\frac{Q_{\kappa}^{ned} X}{U_{2\kappa}} = U_{2\kappa} - U_{2M\kappa} + \beta. \quad (8-5)$$

因此，在這種情況下，如式(8-4)內後面兩項相等時，即在 $\beta=0$ 時，可由(8-5)式看出，誤差將在過小的方面。同期調相機的容量可以依照公式求得

$$Q_{\kappa}^{ned} = -\frac{(U_{2\kappa} - U_{2M\kappa})U_{2\kappa}}{X}. \quad (8-6)$$

選擇需要的電壓要從得到最小的同期調相機的條件出發。因此在這個題解內過勵磁與不足勵磁的同期調相機容量之比，也就是8-1圖中所示與過勵磁的與不足勵磁的同期調相機容量成正比的線段之比應當是：

$$\frac{Q_{\kappa}^{ned}}{Q_{\kappa}^{nep}} = \frac{e'f'}{ef'} = 0.6.$$

用最後兩種方法來求同期調相機容量必須具備一項條件，就是在線路運轉時，首端和終端的電壓在任何情況下不變，即當 $U =$ 常數和 $U_2 =$ 常數時。

但是，實際上不論在用戶處，或在發電機處，皆允許對這些電壓在盡人皆知的範圍內有電壓的變動。在這樣情況下，必備的同期調相機容量可以小一些。

計算的方法仍然一樣，不同的地方只是在圖解時我們將用兩個圓圈 $U_{2\kappa} + n\%$ 與 $U_{2\kappa} - n\%$ 來代替一個圓圈 $U_{2\kappa}$ ，式中 $n\%$ 是對需要的電壓的許可的變動。在這種情況下，它與不變電壓運轉時所需要的電壓有些不同。

如用解析法以求同期調相機容量時，在(8-3)與(8-6)式內要用相應的可變的電壓數值來代替不變的電壓 U_{2x} 。

如上所示推演公式(8-3)與(8-6)時是省略了電壓降的橫軸分量的。所以當電力網的規模很大時，這些公式將會有誤差，特別是在計算降壓變壓器時。計算變壓器時這樣的誤差可以達到這樣限度：

110 千伏電力網 到15—30%

220 千伏電力網 到25—35%

所以為了正確地計算，必須用複雜的公式來求同期調相機的容量^①。

然而，依照公式(8-3)與(8-6)求同期調相機容量時，應預先知道在何處產生誤差，並且適當地選擇標準同期調相機容量以減少誤差，則在遠景設計時仍可大胆利用前面所引出的簡單公式。因為同期調相機容量標準的等級相差很大（級差為前一級較小的同期調相機容量的33到200%）。

有一種情形，求線路的同期調相機容量，考慮了變壓器，但不考慮線路與變壓器的電導。我們可以得到近似而實際上可以接受的答案，只要在公式(8-3)及(8-6)的 x 值內包括線路與變壓器的電抗。

例題 8-1

問題 決定110千伏輸電線的電壓變動，選擇降壓變壓器的抽頭以及同期調相機的容量，其電壓的計算已在前面的例題6-1裏作過了。

由計算結果已經得到：

a)最大負荷時的發電機電壓，換算到高壓，等於 $U_{1max} = 127.05$ 千伏，降壓變電站的低壓母線的電壓，換算到高壓，如圖所示等於 $U'_2 = 93.25$ 千伏。

b)最低負荷時，同上兩點的電壓 $U'_{1min} = 121.0$ 千伏 $U'_2 = 116.36$ 千伏。

в)如有故障時，同上兩點的電壓 $U'_{1av} = 133.0$ 千伏， $U'_2 = 75.75$ 千伏。

在所示的幾種情況下，沿輸電線的電壓變化曲線，見圖8-2。

解法：

1. 在沒有同期調相機的降壓變電站裏，決定其變壓器的電壓變化，並選擇其抽頭 V 。

按照「電力系統設計的指示」(見第10-4節)，在正常運轉情況下，降壓變電站的低壓母線應當發生電壓的逆逆調整，換句話說，凡6千伏的母線在最大負荷時，其電壓應為6.5千伏，而最低負荷時，電壓應為6千伏。那麼，對於電力網正常電壓的相應電壓變動是在最大負荷時為+5%，而在最低負荷時為0%。

① 工程師 A. A. 格拉茹諾夫 (Глазунов)：最簡單形式電力網的電壓調整方式的應用與選擇的法則。俄文。曾獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院，1947年。