

繼電保護及系統自動裝置
學習班講義

電力系統自動裝置



燃料工業出版社

繼電保護及系統自動裝置學習班講義

電力系統自動裝置

燃料工業出版社

繼電保護及系統自動裝置學習班講義

電力系統自動裝置

燃料工業出版社出版

地址：北京長安街煤巷工業路

北京市書刊出版業營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：廖美壁 校對：唐賽珊

書號246 * 電107

787 × 1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 4 $\frac{1}{2}$ 印張 * 116千字 * 印3,701—7,150册

一九五四年九月北京第一版第一次印刷

一九五五年二月北京第一版第二次印刷

定價9,000元

目 錄

出版者的話	2
第一章 系統按事故週波自動減負荷	3
第一節 概論及對 AAPP 之要求	3
第二節 AAPP 裝置	6
第三節 短路時電力系統裏有效電力之劇增	13
第四節 確定 AAPP 各級之動作週波	14
附 錄 按事故週波自動減負荷裝置 (AAPP)	
所用之低週波繼電器	15
第二章 輸電線路的自動重合閘及備用電源的自動合閘	18
第一節 輸電線路的自動重合閘	18
第二節 備用電源的自動合閘	48
第三章 自動調整勵磁裝置	72
第一節 自動調整勵磁裝置對電力系統的作用	72
第二節 自動調整勵磁裝置的簡單動作原理與 對自動調整勵磁裝置的基本要求	76
第三節 關於同期發電機的最高勵磁與過負荷電流	85
第四節 電氣機械型自動電壓調整器	95
第五節 強行勵磁裝置與強行減磁裝置	118
第六節 複式勵磁裝置	124
第七節 自動減磁裝置	137
第八節 有關自動調整勵磁裝置的一些問題	142

出版者的話

本書是中央人民政府燃料工業部電業管理總局在東北舉辦第一次全國繼電保護與電力系統自動裝置學習班所用的講義，內容均按蘇聯專家所指定的提綱並參考蘇聯先進資料編譯而成。書中第一章「系統按事故週波自動減負荷」係蘇聯專家佛米喬夫（А. Л. Фомичев）所寫，其餘二章由吳競昌、魯宗霖兩同志根據榮膺 1950 年斯大林獎金的索洛維葉夫（И. И. Соловьев）所著「動力系統自動化」及榮膺 1952 年斯大林獎金的斐多塞夫（А. М. Федосеев）所著「電力系統繼電保護」兩書，以及中央人民政府燃料工業部、蘇聯電站部所制訂的規程及現場經驗編譯而成。

本書詳盡地敘述了輸電線路的自動重合閘及備用電源的自動合閘，自動電壓調整器及系統按事故週波自動減負荷。它是從事電力系統自動裝置技術人員的實用參考書；並可作大學電機系參考教材。

書中如有不妥之處，希望讀者提出意見和批評，以便改正。

第一章 系統按事故週波自動減負荷

第一節 概論及對 AAPI 之要求

任何電力系統穩定之運行方式都決定於電力（容量）之平衡。

$$P=Q \quad (1)$$

此處 P ——發電機之發電容量；

Q ——用戶用電容量（包括：線路之電力損失，及發電廠廠用電之電力）。

當遵守上述條件時，電力系統裏之週波保持恒定，並等於額定週波 $f=50$ 週波。

如果突然切斷一部分發電容量 ΔP ，則等式(1)就被破壞，運行中剩下之發電機開始制動，因此，電力系統裏之週波開始減少，這時，透平調速器，開始了動作要使輸入透平之蒸氣或水增加。

假使電力系統裏有足夠之備用容量 P_{pe3} ，用作補償切斷了的發電容量 ΔP ，則經過一個時間於到達額定週波時，系統便恢復正常之運行方式。

如果備用容量 P_{pe3} 不能充分補償切斷了的發電容量 ΔP ，則由於在電力系統裏產生容量不足之現象，即

$$N = \Delta P - P_{pe3} \quad (2)$$

（ N 為不足之容量）

系統裏之週波將繼續減少，一直到系統裏所需之有效電力等於發電容量時為止。

當透平機組之容量與數量不變，且當進入透平之蒸氣或水之量不變時，電力系統的週波與負荷值之關係如下：

$$f \equiv \Phi(Q) \quad (3)$$

如 $P = \text{Const}$; 這一關係稱為電力系統之週波靜態特性。

負荷所需有效電力的變更與週波變更之關係，稱為負荷之調整效率“ k ”

$$k = \frac{\Delta Q}{\Delta f} \quad (4)$$

假使用額定負荷之百分數(%)來表示 ΔQ 、而 Δf 用額定週波之%來表示，則

$$k = \frac{\frac{Q-P}{Q}}{\frac{50-f_0}{50}}$$

此處 f_0 ——電力系統裏降低週波後的穩定的低週波。

蘇聯電站部所作試驗之結果說明，在週波為 $50-45\text{Hz}$ 之範圍裏，各種電力系統之負荷調整效率“ k ”都接近於 $1-2$ ，有時達到 3 ，也就是說，系統裏週波變更 1% 引起系統總負荷之變更約為 $1-2\%$ 。各系統之正確“ k ”的數值，只有根據該系統所作試驗之結論來予以確定。

因為一個系統新穩定的運行方式所需減少的總負荷之有效電力“ ΔQ ”，應等於系統裏所不足的有效電力，所以只要知道總負荷之調整效率以及所不足的電力，即可大致求得因電力不足所引起之週波下降 Δf

$$\Delta f = \frac{N}{k} = \frac{\Delta P - P_{pes}}{k} \quad (6)$$

例題：

100 百萬瓦特容量之電力系統裏，總負荷之調整效率 $k=2$ ，轉動的備用發電容量 $P_{pes}=5$ 百萬瓦特。

求：當 10 百萬瓦特之發電機突然被切斷時，週波降低多少？

解答：

發電機被切斷時，系統裏虧損之電力，為：

$$N = \Delta P - P_{pes} = 10 - 5 = 5 \text{ 百萬瓦特}$$

或以%表示之，爲： $\frac{5 \cdot 100}{100} = 5\%$

用公式(6)可以求得系統裏之週波下降：

$$\Delta f\% = \frac{N\%}{k} = \frac{5}{2} = 2.5\%$$

電力系統的新穩定運行方式之週波值爲：

$$f = f_H \frac{100 - \Delta f\%}{100} = 50 \cdot \frac{97.5}{100} = 48.75 Hz.$$

但系統裏的週波降低只能許可到一定之限度。

正常情況下，電力系統裏的週波應保持 $50 Hz$ 之水平，差度不得大於 $\pm 0.5 Hz$ ，如調度所沒有自動記錄式週波表時，或不得大於 $\pm 0.2 Hz$ ，如具有自動記錄式週波表時。

當電力系統裏之週波降到 $49.5 Hz$ 以下時，調度員必須立即採取措施，使週波在一點鐘以內保證恢復正常。

如因事故或其他原因，週波降低到 $49.0 Hz$ 以下時，調度員必須保證在 15 分鐘以內升高週波。

如週波降低得更厲害，約爲 $48--47.5 Hz$ 時，就必須立即平穩電力系統的週波，其方法是利用按事故週波自動減負荷(AAPY)裝置，將一部分用戶切斷。

必須指出，電力系統裏的週波降低，除了不能供給用戶以合乎質量之電力以外，還可能引起破壞發電廠廠用電機械之正常運行，破壞電廠並列運行之穩定和引起透平葉片的事故，因此也就使事故擴大。

例如廠用電電動機正常運行方式之破壞，於週波降低到 $48--47 Hz$ 以後數分鐘內即發生，而發電廠並列運行之破壞，也要於週波降低到 $45 Hz$ 左右時發生。

關於透平葉片，某些型的汽輪機，甚至由於週波降低到比 $49.5 Hz$ 小不多時，就可能引起嚴重之後果。

爲了避免過多地切斷用戶，應在電力系統裏按級(次序)來進行減負荷。各組用戶，應在預先規定之次序內被切斷。

減負荷次序之多少與所採用之繼電器的準確性有關。如使用誤差為 $\pm 0.25H_z$ 之週波繼電器，就可以規定出 5 個減負荷的次序。

在減負荷的過程中，不應讓週波下降到一種不允許的程度，也就是說，按靜態穩定條件來說，不允許週波降到使電力系統裏的電壓降到它自己的臨界值。

實際上，*AAPY* 最後一級（次序）動作週波應大於 $44H_z$ 。選擇與 *AAPY* 聯接之用戶的總容量時，應根據電力系統裏實際可能發生之電力虧損值來進行，例如根據切斷電力系統裏容量最大之發電機時的條件來進行（如僅一個電廠單獨運行時），或按主要供電線路被切斷時，或按電力系統中大容量之發電廠完全被切斷時，所產生的電力虧損值而進行之。

在大電力系統裏，與 *AAPY* 聯結之容量大約到為電力系統容量之 30% 即够，而在不大的電力系統裏，至少要接入全電力系統容量之 50%。

在線路裏或發電廠裏發生事故時，時常可能使電力系統解列為若干單獨的小的電力系統，有時甚至可能使整個系統瓦解。因此，某些解列了的電力系統的一部分裏，負荷突然劇減，而在其他一些部分裏相反的負荷突然劇增。劇增負荷，可能為從系統中解列了的發電廠之可能出力的一個很大的百分數。有時甚至超過可能出力。

因此應根據各地區實際可能發生局部電力虧損的地方考慮裝設 *AAPY*。在不大的電力系統裏，如短路係由非速動繼電保護裝置來切斷時，週波可能大量減低，並使 *AAPY* 動作。

在這種電力系統裏，必須要採取自動重合閘的方法，使短路時被 *AAPY* 切斷的用戶用自動重合閘將接通到系統內。此時，自動重合閘應儘可能迅速地在短路被切斷後進行動作，並且希望在週波復昇到 $50H_z$ 之前便動作。

第二節 *AAPY* 裝置

為了根據事故週波自動減負荷，原則上可採用下列各型裝

置：

- (1) 反應週波絕對值之裝置；
- (2) 反應週波減低速度之裝置；
- (3) 反應週波絕對值及週波降低速度之綜合裝置。

現在，蘇聯電力系統裏廣泛採用的裝置，只是反應週波絕對值之裝置。

AAPY 之標準接線圖。

在短路不致引起週波下降到 $48Hz$ 之電力系統裏，各級（次序）之 *AAPY* 裝置，可能由兩個繼電器製成：週波繼電器及輔助繼電器（如圖 1 所示）。週波繼電器之誤差不應大於 $\pm 0.25Hz$ ，並且要有很好的返回係數。返回週波不應較週波繼電器之動作週波大 $0.1Hz$ 。

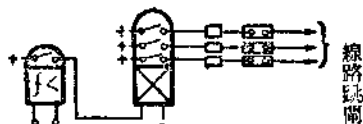


圖 1 *AAPY* 之標準接線圖

輔助繼電器應有等於被斷開線路數量的正常開啓之接點。

按這一接線圖接線時，當週波降低到該級（次序）應動作之動作週波時，*AAPY* 立即動作。

若部分 *AAPY* 動作以後，週波仍留在很低之水平上時，則利用特殊級（次序）之 *AAPY* 的接線圖，該圖（圖 2）的作用，是使週波提高到 $47Hz$ 或更高。

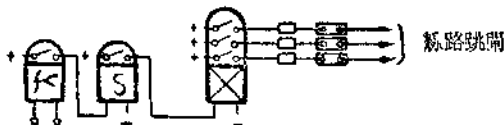


圖 2 特殊級（次序）之 *AAPY* 的標準接線圖

圖中在週波繼電器和輔助繼電器方面附加了一個任意型類的時間繼電器，該繼電器之時限約為 20—30 秒；此時限的作用是爲了在特殊級（次序）動作之前，使週波來得及穩定在一個水平上。這一級次序的 *AAPY* 只有當週波長時間地（20—25 秒）停

留在 $47Hz$ 以下時，才動作。並且，顯然，它在任何數量之 $AAPY$ 次序動作以後，都可以動作。

如果電力系統裏之短路能引起週波下降，則 $AAPY$ 裝置應配合自動重合閘（ AIB ）來安裝。

$AAPY$ 裝置與 AIB 裝置配合之接線圖見圖3。

利用這些裝置，於週波降低到各相應次序的起動週波時，線路即行自動切斷，如果週波上昇的時間不大於規定時限，則線路於週波上昇到該相應一級的返回週波時，線路即行重複接通。

AIB 的時間上的限制，是爲了週電力虧損不足時，不使線路自動重複合閘（衆所週知，短路時週波下降，或上昇的過程，較比電力虧損時之週波下降或上昇的過程快得多）。

後面，在表1及表2裏列有根據上述要求所計算出來之 AIB 的時限。

圖3爲 $AAPY$ 及 AIB 之原則接線圖，用於只有一條線路與該級之 $AAPY$ 聯接者

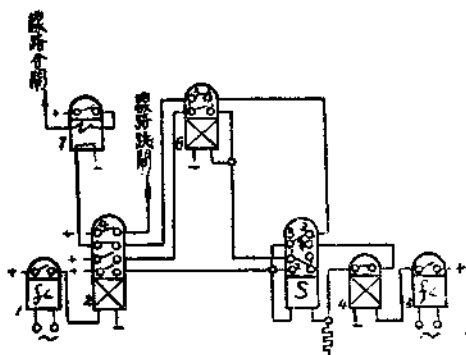


圖3

這套裝置裏包括：

1. 誤差不大於 $\pm 0.25Hz$ 之週波繼電器；
2. 輔助繼電器；
3. 有切換接點的時間繼電器，瞬間接點1—1和有時限的接點3—3；

4. 減負荷用之輔助繼電器，該繼電器正常閉合接點數量等於減負荷之級（次序）數；

5. 動作週波 $f=49.5Hz$ 之週波繼電器（用於所有各級）；

6. 接點遲緩打開約 0.1—0.15 秒的輔助繼電器；

7. 帶並聯及串聯線捲之輔助繼電器（如：ЭПБ-107А）。

週波繼電器“1”之動作週波“ f ”，各級 ААРУ 所切斷之用戶容量，以及 АПБ 時間繼電器“3”之時限，都根據標準設備之表 1 選擇之。

帶 АПБ 之 ААРУ 裝置的運行方式如下：

正常週波時，繼電器 2, 3, 4, 7 之線捲裏沒有電流，繼電器 6 之線捲則處於電壓之下。

週波繼電器 1 和 5 經常接於交流電壓。當電力系統裏週波下降時，繼電器 5 首先動作，並向輔助繼電器 4 發出衝擊。繼電器 4 的接點在時間繼電器 3 之自動返回回路內啓閉，當週波降低到“ f ”值時，週波繼電器“1”動作，使正極與輔助繼電器 2 之線捲連通；繼電器 2 動作，其接點 4—4 使線路切斷，而接點 1—1 使時限繼電器 3 之線捲與正電接通。接點 2—2 使輔助繼電器 6 之線捲與正電接通，而接點 3—3 使重合閘裝置之回路斷開。時間繼電器 3 由於接點 1—1 之瞬間換接到 1—2 而自動閉鎖，並通過其接點 3—3 及輔助繼電器“6”之接點 2—2 而形成繼電器 7 之分流線捲之回路。

當週波上升回到繼電器 1 之返回週波時，其接點即打開，並使正電與輔助繼電器 2 之線捲斷開。

輔助繼電器 2 之接點 3—3 閉合，而所有其他接點打開。此時，如果沒有超過繼電器 3 所整定之時間，接點 3—3 將使線路之合閘回路經繼電器 7 而閉合；接點 2—2 將切斷輔助繼電器 6 線捲之正電，藉以保證線路之一次重合閘。只有當週波恢復到週波繼電器 5 之動作週波以後，即週波到 $49.5Hz$ 以後，於繼電器 3 返回到原始狀態，接點 1—2 倒換為 1—1 狀態時，正電才重新與輔助繼電器連接。

爲了保證線路合閘之可靠性，輔助繼電器 6 接點之返回，應有一個不大的遲緩時間，約爲 0.1—0.15 秒。

當對繼電器 7 給以正電時，繼電器 7 即動作，並通過串聯線捲給線路開關之合閘裝置以正電。於線路合閘以後，繼電器 7 之串聯線捲，由於開關軸上之閉鎖接點，將使之沒有電流通過。

如果週波恢復到繼電器 1 之返回週波所需的時間，達到了繼電器 3 所整定之時間，並且接點 3—3 切換爲 3—4 狀態時，則合閘衝擊發不出去。

當時間繼電器之接點從 3—3 倒換爲 3—4 狀態時，且當週波上升到繼電器 5 之返回週波時，即到達 49.5Hz 時，時間繼電器 3 才開始返回。

此時，繼電器 3 之返回回路（繼電器 3 之接點 3—4 及輔助繼電器 4 之接點）閉合。如果與該級 *AAPY* 連接之線路數量超過 1 路時，則繼電器 2 和 7 之接點數量，以及繼電器 7 之串聯線捲數量都必須適當增加。

如要增加線路斷路裝置上之接點，可以用輔助繼電器與繼電器 2 並聯（見圖 4 中之繼電器 $2a$ ）。

適於使用圖 3 的條件是：當允許該減負荷級裏的所有線路同時合閘時。

如果由於蓄電池組之容量不足，而不能使該變電所同一級之所有線路同時重合閘時，則應將線路分若干組來使之合閘。

圖 4 所示帶 *AIB* 之 *AAPY* 接線圖，是將線路分爲兩組（每組兩路線）來予以重合閘的接線圖。

這套裝置裏包括：繼電器 1—6；這些繼電器也就是上圖（圖 3）裏之繼電器。

$2a$ ——帶正常開啓接點之輔助繼電器；它與繼電器 2 並聯，用作增加接點之數量。

7 及 9——有一個共同的瞬間接點，及一個帶時限接點之時間繼電器；在各減負荷級裏，此種繼電器之數量，等於同時合閘之用戶組數。

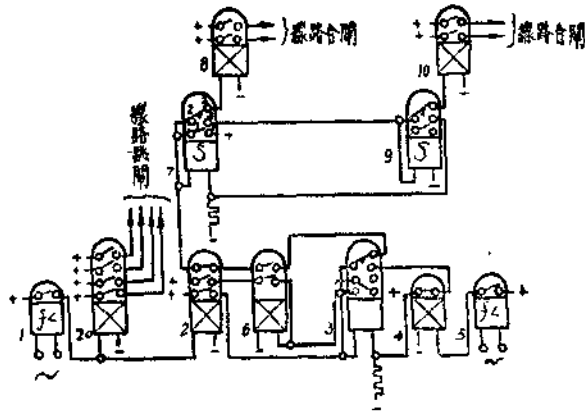


圖 4 帶 AIB 之 AARU 裝置之原則接線圖（將用戶分兩組來予以重合）

8—10——輔助繼電器；該繼電器正常開啓之接點，等於被合閘之線路數量；在各減負荷級裏，此種繼電器之數量，等於同時合閘之線路組數。AARU 及 AIB 之定置係根據表 1 及表 2 而選擇之。

該裝置之工作方式如下：

正常週波時，繼電器 2, 2a, 3, 4, 7, 8, 9 及 10 之線捲裏都沒有電流通過，繼電器 6 之線捲則處於電壓之下。週波繼電器 1 及 5 經常與交流電連接。

當電力系統裏週波下降後，而又上昇到繼電器 1 之返回週波時，即到繼電器 7 與正電接通時，該裝置就像使該級各線路同時合閘之 AIB 及 AARU 裝置一樣地動作。

線路之重合關係按組進行之。當時間繼電器 7 及輔助繼電器 8 同時與正極連通時，它們即行動作。

輔助繼電器 8 使第一組線路（此處所說的是兩回線路）合閘。時間繼電器 7 之接點 1—1 使時間繼電器 7 自動閉鎖，且因此通過繼電器 3, 6 及 2 之接點，它也使用戶合閘。經過等於第一組線路之開關合閘時的一個時限，繼電器 7 之接點 2—2 切換

為2—3的狀態。當接點切換成2—3狀態時，正電與時間繼電器9接通，也與輔助繼電器10接通，這繼電器10也就使第二組線路合閘。

當第2組線路合閘之後，時間繼電器9之接點由2—2狀態切換成2—3狀態，它使時間繼電器7之線捲短路，因此，從時間繼電器7及9的線捲上將正電撤去。

正如上述，輔助繼電器6保證着重合閘的動作進行一次。

假使這一級的一些線路需使若干組用戶重合閘，則在接線圖的每一組上要增加一個時間繼電器（如與繼電器7、9同型者）及一個輔助繼電器（如與繼電器8及10同型者）。

時間繼電器“3”返回到初始狀況之過程，如圖3所示接線圖裏之情況一樣。

表1：於短路時動作並帶週波繼電器（誤差為 $\pm 0.25Hz$ ）之AAPY及AAPY之AIB的標準定置。

表 1

級(次序)	動作週波 f (HZ)	AAPY之時限 t сек	切斷容量(佔 $P_{\text{сис.м}}$ 之百分數)	AIB之時限 t сек
I	47.8	0	4	10
II	47.0	0	5	8
III	46.4	0	6	7
IV	45.8	0	7	6
V	45.0	0	8	2
特殊	47.0	25	4	—
共 計			34%	繼電器“3” 之時限

$P_{\text{сис.м}}$ ——系統容量，

t сек—— t 秒。

表2：於短路時動作並帶週波繼電器（誤差為 $\pm 0.15Hz$ ）之AAPY及AAPY之AIB的標準定置。

I. 火電廠之電力系統

表 24

級 (次序)	動作週波 f_{Hz}	$AAMI$ 時限 $t_{сек}$ (秒)	所斷容量 (佔 P_{exem} 之百分數)	AIB 之時限 $t_{сек}$ (秒)
I	47.8	0	3	8
II	47.4	0	4	6
III	47.0	0	4.5	5
IV	46.5	0	5.5	4
V	46.0	0	6	4
VI	45.5	0	6	4
VII	45.0	0	6.5	2
特殊	47.0	25	3.5	—
共 計			39%	

II. 全部為水電站之電力系統

表 26

級 (次序)	動作週波 f_{Hz}	$AAMI$ 之時限 $t_{сек}$	所斷容量 (佔 P_{exem} 之百分數)	AIB 之時限 $t_{сек}$
I	46.7	0	7	5
II	46.2	0	7	4.5
III	45.7	0	7	4
IV	45.2	0	8	3.5
V	44.7	0	8	1.5
特殊	47.0	25	4	—
共 計			41%	

註：既有水電廠、又有火電廠之電力系統裏，可以根據某種電廠之容量大而進行自動減負荷。

第三節 短路時電力系統裏有效電力之劇增

短路時有效電力之劇增，係由於短路電流在線路裏產生的有效電力損失所決定。電力劇增的數值，決定於短路地點及線路之常數，此種劇增之最大值，在各電力系統裏不同。在系統裏如從發電機電壓母線引出了電纜線路，且如短路發生在離發電廠有一定

距離之一點上時，在該系統裏所發生之電力劇增值可能為最大。

實際上，各種容量和各種形狀之電力系統裏發生短路時，有效電力劇增之最大可能值，約為 50 000 瓩。這 50 000 瓩，在各種不同的系統裏所引起之週波下降的程度各不相同。週波降低之程度，決定於系統容量，調整負荷之效力，以及短路之持續時間。

所進行之計算說明：在容量為 300 000 瓩以上之電力系統裏發生短路時，週波決不致降到甚至等於第一級 *AAPY* 之動作週波，故 *AAPY* 並不動作，而在容量為 100 000 瓩以下之電力系統裏發生短路時，週波可能降低到 45 Hz，因此，*AAPY* 之所有各級都可能動作。所以，各種容量之電力系統裏，須要有 *AIB* 之級數，各不相同。

假若切斷短路之時間不超過 2—3 秒，則必須有如表 3 所示之級數來與 *AIB* 聯接。

表 3

電力系統 之容量：	須要有 <i>AIB</i> 之各級的號數			
	按表 2 整定之 <i>AAPY</i>		按表 1 整定之 <i>AAPY</i>	
	$t_{k,3}=2$ 秒	$t_{k,3}=5$ 秒	$t_{k,3}=2$ 秒	$t_{k,3}=5$ 秒
1000瓩				
> 300	—	—	—	—
300—250	—	I	—	I
250—200	I	I, II, III	I	I, II
200—180	I, II	I, II, III, IV	I	I, II, III
180—150	I, II, III	I, II, III, IV, V	I, II	I, II, III, IV
150—130	I, II, III, IV	I, II, III, IV, V, VI, VII	I, II, III	I, II, III, IV, V
130—100	I, II, III, IV, V, VI	所有 7 級	I, II, III, IV	所有 5 級
< 100	所有 7 級	所有 7 級	所有 5 級	所有 5 級

註：*AAPY* 之特殊級不用 *AIB*。

第四節 確定 *AAPY* 各級之動作週波

根據對減負荷所提之技術要求，來決定第一級及最後一級之