

哈爾濱工業大學講義

電 器

上 册

電 器 教 研 室
張 冠 生 編

1955

本講義係根據蘇聯專家德蘭尼可夫（В. Г. Драников）在本校講授工業企業電氣化專業電器學的聽課筆記並參考了蘇聯電器方面的書籍和雜誌與我國電器工廠的實際資料編寫而成。

由於目前電器種類繁多，結構也各不相同，故不能一一詳加敘述。本講義僅敘述幾種具有典型意義的、新穎的和用途較廣的電器，着重敘述其動作原理、結構裝置、工作情況、工作制以及如何調整、按裝、維護、檢修及選擇應用等。對電器的理論基礎、設計和製造則從略。

本講義擬分三冊出版：上冊的內容為電阻與變阻器；中冊為手控式切換開關及電磁電器（電磁熱鐵、電磁離合子等）；下冊為接觸器、繼電器、低壓熔斷器及空氣斷路器，並附有實驗指導書。

編 者

1955 年 5 月

目 錄

緒 論	
第一編 電阻與變阻器	7
第一章 電動機起動及制動電阻的計算	7
I. 概述	7
II. 分激電動機起動電阻的計算	9
III. 分激電動機制動電阻的計算	16
IV. 串激電動機起動電阻的計算	18
V. 異步電動機起動電阻的計算	31
第二章 電動機調速電阻的計算	42
I. 概述	42
II. 電動機電樞電路內調速電阻的計算	43
III. 電動機激磁調節器的計算	46
第三章 發電機電壓調整器的計算	52
I. 概述	52
II. 自激發電機電壓調節器的計算	53
III. 他激發電機電壓調節器的計算	55
IV. 放電電阻	56
第四章 變阻器的發熱與冷却	59
I. 概述	59
II. 熱計算原理	59
III. 發熱體的工作情況	66
IV. 變阻器的冷却	73
第五章 變阻器的結構	77
I. 電阻元件	77
II. 箱架電阻	91
III. 變阻器的各種接線圖	94
IV. 有自動保護的變阻器	97

緒 論

(1) 電器的定義及分類

凡是用來自動（或手動）分合電路，調節與控制電路和非電對象回路參數的電工設備叫做電氣器具，簡稱電器。換言之，電器就是開關控制設備。

電器種類繁多，估計在幾百種以上，它們的構造、職能與工作原理各異：從消耗百分之幾瓦功率的自動化繼電器一直到 40 萬伏特的高壓油斷路器；從簡單的刀開關到構造很複雜的自動化電器；從類似於變壓器的電抗器一直到類似於儀表類的保護繼電器。

電器如按職能來區別可分成。

1) 手動斷合電路的電器——如刀開關，轉換開關，隔離開關和鼓形、凸輪形控制器等。

2) 自動斷合電路的電器——如接觸器，空氣斷路器及高壓油斷路器等。

3) 自動控制及保護用電器——如自動控制繼電器，保護用繼電器，保安器及電抗器等。

4) 平滑與逐步控制用的電器——如電阻，變阻器及塞流圈等。

5) 自動調整器——如炭質電壓調整器，電壓穩定器及磁放大器等。

6) 由電能產生短行程機械力的電器——如電磁抱閘，電磁吊車及電磁離合子等。

7) 成套電器——如開關台及磁力控制站等。

也可以按電器動作所利用的物理現象來分類。例如：

1) 電磁現象。

2) 電流與磁場的相互作用——感應式、感應動力式及電動力式。

3) 熱現象——熱脫扣繼電器及雙金屬機構等。

4) 非直線性現象——磁放大器及避雷器等。

5) 機械力作用——手動式各式開關等。

很多電器同時利用幾個物理現象來動作。

當然我們還可以利用電器的結構形式來分：分成開啟式，封閉式和防爆式；按照它們的電流性質來分：分成直流與交流。但是一般往往根據電壓來分，即分為低壓電器和高壓電器。

(II) 電器在近代電力控制中的任務和對國民經濟的意義

由於科學技術不斷地發展，無論在工廠、礦山以及交通運輸方面都普遍地採用電力傳動，尤其是自動化的電力傳動。生產過程的自動化意味着帶有電力傳動的許多工作樞紐間密切和可靠的組合。它們間的密切聯繫和相互配合已不能光靠機械的裝置去完成，而必須有賴於控制電器。舉例來說，一個多電動傳動的巨型龍門鉋床，它的主電動機帶動工作台，而工作台在切削時需要向前移動，以後需要向後退回；在向前切削的時候，速度要慢些，而在空刀時則要快些；需要在試車的時候慢些，在正常工作的時候快些；又需要在切削過載時自動地減輕負載，當油泵電動機沒有啟動以前工作台電動機不能啟動……等等。這些無疑地要求為數衆多的電器來完成。再看一下冶金軋壓工廠：在主電室內往往有數十塊控制盤，每塊盤上都有數十個電器。因為有了這些電器的可靠工作，才保證了工作效率極高的大規模生產，保證了產品的質量，減輕了工人的體力勞動。

在動力系統中，由於超高壓的輸送，聯合系統的運轉就需要一整套的繼電保護裝置，防雷裝置，切換電源的裝置等。這些裝置也是由電器組合而成。

在交通運輸方面，利用電器來控制火車、輪船與飛機等。

在國防方面也廣泛地使用着各種自動電器。

電器的應用是如此廣泛，假如沒有電器，那末，工業中的許多自動化與流水作業就不可能進行，工業化就要緩慢；但是另一方面，即使有了電器，而結構不太完善或工作不太可靠，那末生產就要受妨礙。由此可見，結構完善與工作可靠的、充分滿足生產要求的各型電器的製造在國民經濟中有其重要的意義。

(III) 電器的發展簡史

由於電的發現和應用就產生了電器。最早的電器是刀開關。1887年曾經在俄國彼得堡的里萬雪夫斯基發電廠內安裝了二個配電開關台用來控制十個小發電機。開關台由伏特表、安培表及刀開關組成。以後隨着電動機的發明以及發電廠的相繼建立，就使電器得到進一步的發展。

新的生產規模與生產組織對電器提出了新的要求。舊的簡單的刀開關和熔斷器逐漸不能滿足生產上的要求。由此而開闢了製造自動化電器的紀元。在開始製造自動化電器如繼電器、接觸器的同時也改善了各型手控式電器的結構與特性。

在蘇聯，電器製造的發展是非常迅速的。在十月革命以前，俄國祇能生產一些低壓手動控制的開關以及電壓不超過 35 仟伏的簡單高壓斷路器。而在 1924 年，蘇聯就能自製 110, 154 及 220 仟伏的高壓空氣和油斷路器。到了 1931 年，爲了滿足冶金、採礦、礦壓、金屬切削機床等工業以及輕工業的要求，生產了千百萬個各型電器，包括磁力起動器及繼電接觸控制的電器。1933 年，郭路貝夫 (А. И. голубев, 電力工廠工程師) 創製了快速直流空氣斷路器，對汞弧整流器的保護起了很大的作用。1943 年，全蘇電工研究所的科學工作者創建了新的自動閃避雷器。

目前蘇聯能生產高壓低壓電器的工廠有十六個以上，所生產的產品都不弱於資本主義國家，有些產品的質量還超過了它們。譬如哈爾科夫電器廠製造的礦井用防爆電器在保安技術的規格方面大大地超過了資本主義國家。這些成就的取得主要是由於蘇維埃政權的優越性。在蘇聯共產黨及政府的領導與鼓舞下，全體電器科學家、工程師及工人們頑強地工作，不斷地探討電器製造的理論，改善了很多舊的產品並試製了新的產品。如 ЭТ—520 的產品代替了舊有的 ЭТ—60 產品，前者的磁系統材料幾乎比後者少了一半；具有無觸頭繼電效應的磁放大器代替了防止接地故障的繼電器；Е—52 電動機時間繼電器比 СВ—11 行星機構的電動

機繼電器要輕巧簡便得多；ЭВ—130 的時間繼電器比 ЭВ—180 的尺寸縮小了三分之一左右；КП—500 型的直流接觸器在中型電流時代替了 КП—200 型號的接觸器。МО—100Б 電磁熱鐵代替了 М О—100 等等。目前蘇聯正在集中數以百計的電器工程師與科學家為莫斯科—古比雪夫超高壓輸電線設計 400 仟伏的油斷路器等的高壓電器以及為維持穩定度所必需的特種自動調節器。

蘇聯學者如庫烈巴金，斯摩洛夫，瓦蘇拉，巴比科夫，布朗，索茨科夫等人進行很多的科學研究工作，對電器的理論與製造都有巨大的貢獻。

匈牙利和德意志民主共和國的電器製造工業也是非常發達的。

在資本主義國家中，電器製造工業雖也有其悠久歷史，但其發展很慢。有些結構雖然也有改變，但往往偏重在外形或其他無關緊要的部件上。其目的並不是為了更好地降低成本和改善工作性能，而是為了做廣告，為了吸引主顧而故弄新穎。因此，在研究它們的電器時要批判地對待。

我國的電器製造工業（即開關製造）的基礎是很薄弱的。解放前一般能製造的不過是些刀開關，熔斷器，電壓在 6.6 仟伏的油斷路器等，品種既少而質量又差。解放之初，電器產品的設計多半仿美國的西屋公司或日本的式樣，產品規格不一，製造困難，並且質量低劣。自從 1952 年起採用了蘇聯的標準產品系列，得到了蘇聯的圖紙和實物等技術資料以後，我國電器製造事業的面貌就起了根本的變化。

數年來我國高低壓開關方面生產了近百種的仿蘇產品。如高壓油斷路器方面自 БМБ—10, БМГ—13 一直到 МКП—160, 後者電壓為 110 仟伏，電流為 600 安，斷流容量為 2500 兆伏安，用油達 12 噸。其他相應的電壓互感器、電流互感器、避雷器等都已能製造。目前正向 220 仟伏高壓的目標前進。低壓開關方面，目前將要生產 10000 仟瓦水輪發電機的全套控制設備、整套的機床控制設備、礦山用的防爆電器以及吊車、起重機及電力機車的控制設備等。

這些產品有力地支援了各地工礦的建設，尤其是支援了我國重工業

的建設。例如瀋陽低壓開關廠所生產的各型低壓控制設備就大力支援了鞍鋼的三大工程。高壓開關廠的開關設備支援了某動力系統。由於國民經濟的發展對電器的要求越來越多，各廠產品的生產價值也激劇地增加。如以瀋陽低壓開關廠為例：1952年產品價值為100%，1953年為400%左右，1954年則增為600%左右，而在今年將要增高至700%。其他各廠如瀋陽高壓開關廠，湘潭電機廠，阿城儀表廠等也同樣地獲得了很大的發展。此外，我們的技術力量在這幾年來也有很大的發展。誠然，電器製造工業在我國的電工製造事業中還處於年輕幼稚的階段，產品的質與量還遠遠趕不上實際的需要，但是，只要我們虛心地向蘇聯學習，及時地總結經驗，那末所有的困難一定被我們克服，我國的電器製造事業將會以日新月異的姿態向前邁進。

(IV) 對電器的基本要求

運用上對電器的要求是多方面的。這些要求一般是：

- 1) 無論在正常的工作情況下或在短路情況下要有足夠的熱穩固性；
- 2) 在一切工作情況下具有所需的電絕緣強度；
- 3) 耐得住相應的大電動力的作用（短路電流時）；
- 4) 具有觸頭的電器在閉合或斷開電流時具有足夠的切換能力；
- 5) 自動化電器必須在調整好的反應值時正確而可靠地動作；
- 6) 其他如防爆、防濕以及有關的技術保安、操作維護方便和一定的外形尺寸等等。

設計製造電器時必須保證能滿足上述各要求，要保證其質量。對製造部門來講，必須在保證質量的基礎上節省材料和降低成本。

對具體電器和具體應用場合來講，這些要求中有些是主要的，有些則是次要的，在設計製造時要分別對待。一般這些要求都體現在國家標準內（如蘇聯的ГОСТ），特殊的要求需特殊定貨。

(V) 課程的內容及任務

本課程是為工業企業電氣化開設的專業基礎課。在這課程中，我們將

介紹各種低壓控制電器（如電阻、變阻器、手控式開關、繼電器和接觸器等）的結構和動作原理。從運用的觀點來研究它們的結構、工作特性以及調整和維護。對於電器製造的一般理論和磁路系統、發熱計算、消弧、接觸等不作詳細的分章的專門敘述，這些材料讀者可以從普通電器書內（如巴比科夫，布依洛夫所著的電器學）找到。但在本書中準備對某些電器作一些必要的理論的說明，其目的是爲了更好的掌握這些電器，以便正確地選擇和使用它們。

通過本課程可使學生了解低壓控制電器的有關知識：熟悉它們的主要分類，它們的結構型號，它們的各項機械和電氣的主要參數，它們的工作特點以及應用的場合條件。在這個基礎上，學生才能學好傳動控制和生產機械電力裝備等課程，才能正確地選擇控制方案和有關電器，有助於完成課程設計與畢業設計。

因此，本課程在工業企業電氣化專業中的地位是很重要的。

值得指出，由於控制電器的名目繁多，結構和特性各異，因此在學習時必須考慮這些特點，善於抓住幾種主要類型的電器作一些較深入的觀察，然後對同一類型的電器進行相互比較，明確其共同點與差別點，從而掌握在何種條件上應用何種電器。

最後，電器課的實驗對掌握本課程的理論與實際有着極其重大的意義。只有通過實驗才能更深刻地掌握電器的結構、調整和維護，才能保證本課程任務的勝利完成。

第一編 電阻與變阻器

第一章 電動機起動及制動電阻的計算

1. 概 述

我們知道，不論直流電動機或交流異步電動機在額定電壓和靜止狀態直接起動時將產生大的衝流。這種起動電流的值可能為額定電流的數倍以至數十倍。這是因為在靜止時電動機的反電勢等於零（對直流電動機而言）所以瞬間起動電流等於全電壓除以內電阻，用式子表示為：

$$U - E - IR = 0$$

而 $E = c\phi n$, $n = 0$ (靜止時)

$$R = r_0$$

所以 $U - Ir_0 = 0$

$$I = I_n = \frac{U}{r_0} \dots \dots \dots (1)$$

式中 r_0 是電樞電路內的總電阻，包括電樞繞組、附加極和串激繞組的電阻以及電刷的接觸電阻等。 r_0 值是很小的，它可用相對電壓降 (p) 來表示。

$$p = \frac{I_n r_0}{U}$$

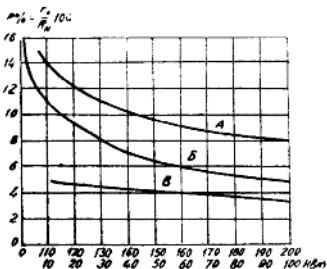
或 $r_0 = p \frac{U}{I_n} = p R_H \dots (2)$

這裡， R_H 叫做基本電阻。

因此，(1) 式將變為，

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{U}{r_0} = \frac{U}{p \cdot \frac{U}{I_n}} \\ &= \frac{I_n}{p} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

這又可經過電動機的效率



A—串激機，B—分激及異步機100仟瓦以下者，B—同前但100仟瓦以上者

圖 1 電動機的內電阻

(K, П, Д) η 來表示。

$$n = \frac{1}{2} \sim \frac{3}{4} (1 - \eta) \dots\dots\dots (4)$$

對不同種類和不同容量的電機，它的 p 值也不同，在圖 1 中介紹了 p 值。

在圖 1 中查出，如為 100KW 的分激電動機，它的 p 為 5%。因此，該電動機直接起動時的電流可達額定值的 20 倍。如為 15KW 的分激電動機，它的起動電流將達額定值的 10 倍。由此可見，越是大的電動機，它的起動情況愈嚴重。

這樣大的起動電流的害處：

1) 大的起動電流引起起動轉矩的增大 ($M = c\phi I$)；大的轉矩造成傳動系統中機械傳輸機構的損害。

2) 大的起動電流將引起串接在主電路內儀表的損壞以及過電流繼電器等動作。

3) 大的起動電流將使供給它的電源電壓降下（尤其在較小電源，較大電動機容量時），影響接入網絡的其它電機或電器的工作。

4) 大的起動電流使電動機內部因電動力的作用而損壞結構，影響壽命。

5) 大的起動電流對直流電動機將產生大的換向火花。

因此，我們必須要在起動時採取適當措施來限制起動電流。常用的方法有二：

1) 降低電源電壓或變更接入電機線圈的電壓。前者對直流電動機常採用電動機—發電機制的里奧納德系統，對交流電動機採用自耦降壓器起動。後者是對利用交流電動機的星三角形起動器而言。

2) 加起動電阻來限制起動電流。

用第一種方法中的里奧納德系統來逐步降壓起動屬於平滑起動。它的優點在於起動過程平滑和起動時能量損耗小；它的缺點是設備費增加。因此，除非在中型以上的電機或者生產機械有嚴格的起動要求的情況下才應用。第二種方法的起動屬於分段起動。由於它的操縱簡單和設備低廉，在實際上獲得了廣泛的應用。下面我們將着重討論各種電機的

分段起動。

II. 分激電動機起動電阻的計算

在計算分激電動機起動電阻之前先熟悉一下它的特性。在圖3中，Am 線代表電動機的自然特性曲線。

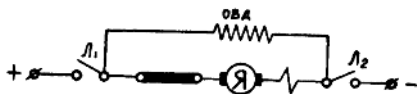


圖 2 分激電動機的接線圖

假如不加電阻起動時，那末，它的電流應該是由 Am 的延長線交於 I 軸的線段決定。圖中加了電阻以後，特性曲線逐漸傾斜。其中 $R_1 > R_2 > R_3 > R_4$ 。不難看出，在圖中當電阻為 R_1 時，電動機的起動峯值電流等於 I_2 ，差不多是額定電流的二倍。因此，只要我們確定電動機的最大允許

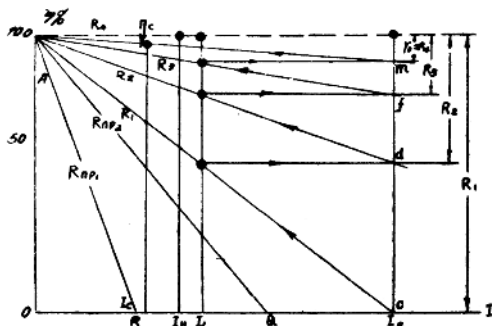


圖 3 分激電動機的起動特性圖

的峯值電流後，我們就可以求出最大的起動電阻。在圖3上為 R_1 。之後，隨着電動機速度的增加而電流減小。為了電動機能迅速地在 nc 點正常工作，因此，必須逐段割出電阻，使電動機從 R_1 的特性曲線經過 R_2, R_3 而到達 R_4 (即 r_0) 的自然特性曲線上。在轉變電阻的過程中，

爲了使起動是均勻的加速度起見，我們限制了每段的峯值電流與換接電流（在圖上爲 I_1 ）都相等，而峯值電流與換接電流間有一固定的比值。在這個基礎上，我們就可以進行起動電阻的計算。

起動電阻的計算有二種方法，即圖解求法與分析求法。現在先就圖解求法來研究。

首先決定電動機的峯值電流取多大。峯值電流的大小是由電動機本身的換向情況（對直流電動機而言）以及由該電流所產生的力矩是否能被傳動機構的堅固程度所允許來決定。一般說來，峯值電流， $I_2 = 1.8 - 2.5 I_H$ ，常用2倍額定電流。但不在額定負載下，譬如說在 $\frac{1}{2}$ 負載起動的情況下，有時爲了避免加速太快，也有取低了 $1.8 I_H$ 值的。換接電流 $I_1 = 1.1 - 1.3 I_H$ 。假如取 $I_1 < I_H$ ，那末在全負載起動時電動機將不能夠到達 n_c ，按照相應速度 n_c 參數調整的自動控制電器就不能動作，起動過程既不能完成，而且起動電阻還可能燒壞，假如取 $I_1 = I_H$ ，那末負荷稍一超過額定，情況就和前一樣；另外，就是負荷靠得住不超過額定，爲了減少起動時間， I_1 值也不應該等於額定值。根據經驗， $I_1 = 1.1 - 1.3 I_H$ 最爲合適。至於 I_1 值取得再大一些，那末就會使段數增加。段數增加的結果使變阻器及換接設備複雜，如在自動化過程中就得相應地增加繼電器和接觸器的數目，因而使設備昂貴。

當 I_2 與 I_1 確定後，就可以進行作圖。但最後一段劃出電阻時，其水平線不一定和 I_2 的垂線交於 m 點。假如交在 m 點以外，表示最後一段換接時，電流超過了峯值電流，這是不允許的。假如交在 m 點以內，表示最後一段電阻太大了一些，因而使電流低了峯值電流。這當然沒有什麼危險，但也不是我們所希望的。在這種情況下，我們就得校正這個圖，使校正之後的最後一段的電流等於峯值電流。通常校正的方法是變動 I_1 的值。

圖作完後，按比例尺求到 R_1, R_2, R_3 與 R_4 的值。 R_1, R_2, R_3 被叫做位電阻，就是在某一換接位置時的電樞和電路的總電阻，它包括了電樞電阻 r_0 。電阻 $r_0 = R_4$ 是最末一段不能被畫出的電阻，因此， r_0 被叫做不切除電阻。另外， ad, df, fm 的電阻可用 r_1, r_2 和 r_3 代

表，叫做段電阻。

更簡便的圖解法是在繪製起動特性圖時，在縱坐標上以百分比標註轉速（即標 ω 制）。在這種情形下，各線段的長度可直接表示出 R_1 、 R_2 、 R_3 各電阻對 R_H 的百分比。

分析法。

在用分析法求起動電阻時，我們利用圖 3 來寫出下面的方程式

在第一個位置，a 點， $R_1 = \frac{U}{I_2}$ ；

c 點， $R_1 = \frac{U-E_1}{I_1}$ 。

在第二個位置，d 點， $R_2 = \frac{U-E_1}{I_2}$ ；

e 點， $R_2 = \frac{U-E_2}{I_1}$ 。

在第三個位置，f 點， $R_3 = \frac{U-E_2}{I_2}$ ；

.....
 在第 K 個位置， $R_k = \frac{U-E_{k-1}}{I_2}$ 。

因為我們不知道 E_1 ， E_2 等值，所以我們利用比值的方式把 E 從方程式中消去。

c 點與 d 點的速度相等，電勢相等，所以

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U-E_1}{I_1} \cdot \frac{I_2}{U-E_1} = \frac{I_2}{I_1}，$$

同樣，

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{U-E_2}{I_1} \cdot \frac{I_2}{U-E_2} = \frac{I_2}{I_1}，$$

.....

$$\frac{R_m}{R_{m+1}} = \frac{U-E_m}{I_1} \cdot \frac{I_2}{U-E_m} = \frac{I_2}{I_1}。$$

令

$$\frac{I_2}{I_1} = \lambda$$

前面已經推演出: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 。 所以 $\frac{R_1}{R_2} = \lambda$ 。

那末

$$R_2 = \frac{R_1}{\lambda}$$

同樣

$$R_3 = \frac{R_2}{\lambda} = \frac{R_1}{\lambda^2}$$

.....
$$R_{m+1} = \frac{R_1}{\lambda^m}$$

而

$$R_{m+1} = \Gamma_0$$

所以

$$\Gamma_0 = \frac{R_1}{\lambda^m}$$

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_1}{\Gamma_0}} \dots\dots\dots (5)$$

如把 $\Gamma_0 = \rho R_H$ 的式子代入 5 式, 那末

$$\begin{aligned} \lambda &= \sqrt[m]{\frac{R_1}{\rho R_H}} = \sqrt[m]{\frac{\frac{U}{I_2}}{\rho \frac{U}{I_H}}} \\ &= \sqrt[m]{\frac{I}{\rho \frac{I_2}{I_H}}} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

式中, m 是電阻的段數。

按照(6)式, 已知電流 I_2 及 m 後就可以求出 λ , 然後, 按公式(5)

就可以求出 R_1 ，而 $R_2 = \frac{R_1}{\lambda}$ ， $R_3 = \frac{R_1}{\lambda^2}$ …………… 等都可求出。最後，各段的段電阻為：

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= R_1 - R_2; \\ \Gamma_2 &= R_2 - R_3; \\ \Gamma_3 &= R_3 - R_4; \\ &\dots\dots\dots \\ \Gamma_m &= R_m - R_{m-1} \end{aligned}$$

段數 m 可根據傳動對電動機起動的要求和原有操縱換接開關的觸頭等因素決定。一般需要平滑地起動的如載客電梯等就需要較多的段數，自動控制時比手動控制的段數少些，需要起動時間小時用較多的段數。容量大的電機的段數一般比容量小的要多些。不常起動的電動機如水泵、氣泵、鋸木床等， m 也可少些。段數過多，不但增加了成本，而且在操縱運用方面反而引起不利。總的來說，段數可由技術—經濟的觀點來決定。

有時在計算時，爲了知道起動的平均轉矩與負載力矩的關係，以便對起動的情況有一估計，常應用「起動強度」的術語。起動強度常用 α 代表。

$$\alpha = \frac{M_{cp}}{M_c} = \frac{I_{cp}}{I_c} \dots\dots\dots (7)$$

而平均電流

$$I_{cp} = \sqrt{I_2 \cdot I_1} \dots\dots\dots (8)$$

已知

$$\frac{I_2}{I_1} = \lambda, \quad I_2 = I_1 \lambda$$

而由 (8) 式得：

$$I_{cp} = \sqrt{I_1^2 \lambda} = I_{1V} \sqrt{\lambda} \dots\dots\dots (9)$$

把 (7) 式代入 (9) 式，得：

$$I_1 = \frac{\alpha I_c}{\sqrt{\lambda}}$$

因此, $I_2 = aI_{c2} \sqrt{\lambda}$ (10)

把 (10) 式代入 (6) 式, 化簡後得:

$$\lambda^{m+0.5} = \frac{I}{p\alpha \cdot \frac{I_c}{I_H}}$$

即

$$\lambda = \left(\frac{I}{p\alpha \cdot \frac{I_c}{I_H}} \right)^{\frac{1}{m+0.5}} \text{ (11)}$$

或

$$\lambda = \left(\frac{I}{p \frac{I_c p}{I_c} \cdot \frac{I_c}{I_H}} \right)^{\frac{1}{m+0.5}} \text{ (12)}$$

有時我們把平均電流與額定電流之比叫做「起動負載」, 並以 λ 來代表, 則 (12) 式可寫成.

$$\lambda = \left(\frac{I}{p\alpha} \right)^{\frac{1}{m+0.5}} \text{ (13)}$$

在表 1 中介紹了某些傳動的「起動負載」的數字, 僅供參考。

表 1 甲

	傳 動 種 類	負 載 種 類	起 動 負 載
1	印刷機	全 負 載	1.25
2	空氣壓縮機		
	a) 有壓力起動	重 負 載	1.5—2
	b) 無壓力時起動	半負載或全負載	0.5—1.25
3	圓鋸	半負載或全負載	0.75—1.75
4	運輸機	全負載或重負載	1.25—1.75
5	傳送帶		
	a) 滾軸少者	半 載 或 全 載	0.75—1.25
	b) 滾軸多者	全 載 或 重 載	1.25—2
6	通風機	半 載 或 全 載	0.6—1
7	有飛輪的衝床及剪床	重 載	1.75—2
8	離心機	重 載	1.75—2

有時採用德國電工技術協會的數據較為方便, 如表 1 乙 所示。