

高等學校教課用書

控制電器

蘇聯B.A.布尔加可夫著

電力工業出版社

內 容 提 要

本書第一篇簡明地敘述了电机控制过程的原理和起动电阻、調節电阻的計算方法。第二篇敘述了最常用的自动和手动控制电器的結構、綫路及某些結構的計算。

本書可作为大学电工系非电器制造專業学生的教材，同时也是电机与电器專業学生學習普通課程时的主要参考書之一。

В. А. БУЛГАКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ

根据苏联國立动力出版社1947年莫斯科版翻譯

控 制 电 器

張維廉 李正修譯

清華大学电器教研組校訂

*

362D136

电力工業出版社出版(北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 082 号

北京市印刷一厂排印 新華書店發行

*

編輯:田德志 校對:趙廣淵 凌華娘

850×1092 $\frac{1}{32}$ 开本 * 13 $\frac{1}{4}$ 印張 * 313千字

1956年 7 月北京第 1 版

1956年 7 月北京第 1 次印刷(1—8,100冊)

定价(第10类)~~2.10~~元

清華大學電器教研組關於本書的介紹

本書作者是蘇聯哈爾科夫工學院電器教研組副教授兼哈爾科夫電機工廠的總設計師，該廠在蘇聯的電阻和變阻器生產方面起着主要的作用。作者有多年的工廠實際工作經驗和教學工作經驗，本書內容主要也是根據蘇聯哈爾科夫電機工廠的實際資料和哈爾科夫工學院電器教研組的講課材料綜合整理而成的。本書的主要特點是電阻和變阻器及非自動控制電器的結構、繞路、種類和計算方法敘述得非常詳細；我國到目前為止，電器製造工業在電阻和變阻器的生產方面還是比較落後的，製造技術不高，設計的理論和方法更極感缺乏。因此本書中譯本的出版，對我國電器工廠工作人員有很大的參考價值。

值得注意的是，作者編寫本書時，雖然不是為電器製造專業的大學生用的；但是，實際上，本書在蘇聯已作為電機與電器專業學生學習電器普通課程的主要參考書之一。同時電器專門課程的部分材料也取之於本書。近兩年來，我國各高等工業學校的電器教研組也將本書用作“電機與電器”及“企業電氣化”等專業學生學習電器普通課程結構與計算部分的主要參考書。因此本書中譯本的出版，就使各校學生學習“電器”課程時，得到有關控制電器問題的教學參考書。電器專業學生在學習電器專門課程及進行變阻器設計時也可參考本書。正如作者所述，編寫本書時的預定目的並不是全部電器普通課程的教科書。因此，本書在電阻和變阻器及其他非自動控制電器的計算、結構、選擇和運用方面講得較多，而許多自動控制電器則敘述得過於簡單或沒有敘述。

•本書中文譯稿原系東北工學院機電系李正修、張維廉等同志

在 1953 年翻譯的。清華大學電器教研組於 1955 年 11 月接受前燃料工業出版社和原譯者的委託將中文譯稿全部修正。

為了使本書中譯本更加適合我國廣大師生的需要，並彌補原書不足之處，清華大學電器教研組根據 1955 年 6 月第 2 次全國機電專業會議審定的電器課程教學大綱草案，補充編寫了幾節，作為附錄，附在書末。編寫時所依據的材料主要是蘇聯及中國的電器產品目錄、蘇聯電器國家標準，以及蘇聯專家 B. T. 奧梅里謙柯同志在清華大學電器教研組授課時的講稿等。附錄着重地介紹了若干蘇聯最新式的電器系列，如交流接觸器、直流接觸器、磁啟動器、時間繼電器及電流電壓繼電器等。至於熔斷器、自動開關及保護繼電器等，因不屬於控制電器，因而未列入附錄內。

校正譯稿的過程中，曾根據蘇聯 A. Я. 布依洛夫教授在評論本書時（見蘇聯“電”雜誌 1949 年）所指出的若干具體問題，在書內有關的地方加了譯註。

由於目前我國電器名詞尚未統一，因而使翻譯和校對都有很大的困難，尚請廣大讀者對本書所用名詞提出意見，以便將來送請有關部門作制定電器標準名詞時參考。

本書譯稿曾由哈爾濱工業大學張冠生同志等初校。

參加本書譯稿校訂工作的有：蔡宣三、李允武、程禮椿、趙士魁、龔為挺等同志。

清華大學電器教研組

1956 年 1 月

序 言

本書由兩篇組成。在第一篇中，研究電力傳動工作的基本原理、電動機的人工特性、啓動與調節電阻的理論和計算方法。電力傳動理論研究的深度和範圍正是讀者理解以後有關電阻計算材料所必需的。電動機的各种特性是從控制電器電路和計算對這些特性的影響這一觀點來分析的。電阻計算在個別情況下以例題說明。但應當指出，在本書內有關選擇個別參數的實際資料不多，因為主要的目的是使讀者熟悉計算方法，而實際資料在產品目錄和其他工廠的說明書中均可得到。

在第二篇中敘述了最常用的自動和手動控制電器的結構、綫路及某些結構的計算。

本書作為大學電工系非電器製造專業學生的教材。因此，電器的構造講得很多，但沒有詳細研究各結構部件和零件及其計算，而這點正是電器製造專業所需要的。本書主要是從電器的技術和運用特性的觀點來研究電器。在電器結構的說明方面採用了哈爾科夫電機製造廠的電器作為主要型式。

最後應該指出，最初本書的材料預定作為幾個作者合編的普通電器教科書的一部分，所以好幾章的內容不得不縮減了許多。特別表現在第二編的各章中。因此，某些電器（主令電器、保護繼電器等）在本書中未加研究。

B. A. 布爾加可夫

目 錄

清華大學電器教研組關於本書的介紹

序 言

概 論 7

第一篇 电机控制过程的理論

第一章 在不穩定狀態下电动机工作的基本規律 9

1. 力矩方程式 9

2. 电动机的启动加速時間 17

3. 电动机启动时的能量平衡 20

第二章 直流电动机的启动 31

4. 平滑启动和逐級启动。电流和速度随時間的变化 31

5. 串激电动机的逐級启动 35

6. 並激电动机的逐級启动 51

第三章 綫繞轉子异步电动机的逐漸启动 71

7. 一般定律及特性 71

8. 对称綫路启动电阻的計算 77

9. 不对称綫路启动电阻的計算 89

第四章 电动机的轉速調節 100

10. 一般定律和定义。調節的各种方法 100

11. 用改变电源电压的方法調節轉速(里奧納德系統) 102

12. 用串接在电动机电樞电路內的电阻來調節轉速 109

13. 用串联和並联在电动机电樞內的电阻來調節轉速 113

14. 用改变电动机磁通的方法來調節轉速 141

15. 异步电动机轉速調節 155

第五章 直流和交流發電机电压的調節	158
16. 分类和基本特性	158
17. 当負載变动时保持直流發電机电压穩定的調節	163
18. 蓄電池充电时直流發電机电压的調節	174
19. 交流發電机及其激磁机的电压調節	180
20. 按电位計电路的激磁調節	183
21. 激磁調節器的最大功率和容量功率	188

第二篇 电器的結構、計算和綫路

第六章 电阻	193
22. 一般定义和分类	193
23. 电阻的热計算原理	194
24. 物体的發热情况	201
25. 电阻材料	210
26. 电阻元件	215
第七章 变阻器	230
27. 定义及分类	230
28. 金屬变阻器	231
29. 平面逐級轉換开关	234
30. 圓柱式逐級轉換开关	246
31. 鼓形逐級轉換开关	249
32. 油冷变阻器	254
33. 直流並激电动机和复激电动机的金屬啓动变阻器和啓动調節 变阻器的綫路圖	261
34. 異步电动机的金屬啓动变阻器的接綫圖	263
35. 具有电保护裝置的直流和交流变阻器綫路圖	271
第八章 控制器	278
36. 定义和分类	278
37. 平面控制器	279
38. 鼓形控制器	285
39. 凸輪控制器	290

第九章 自动控制电器	294
40. 一般定义和分类	294
41. 直流并联接触器	296
42. 并联接触器的固有动作时间和吸引特性	303
43. 直流串联接触器	306
44. 交流接触器	309
45. 电磁式时间继电器	314
46. 钟摆式时间继电器	320
47. 延时接触器	323
48. 高返回系数继电器	324
第十章 电动机自动控制原理和线路图	328
49. 线路图中所采用的符号。设计线路图的一般规则。分类	328
50. 以反电动势为函数的启动	331
51. 以电流为函数的启动	336
52. 用电磁式时间继电器和延时接触器以时间为函数的启动	339
附 录	347
一、交流接触器	347
二、直流接触器	367
三、磁启动器	380
四、时间继电器	390
五、电压继电器和电流继电器	403
主要参考文献	410

概 論

在电机運轉中，个别量(参数)的改变常引起穩定状态的改变。例如，負載的改变使电动机轉数發生改变，或使發電机电压發生改变等。这种决定电机运行状态的参数的改变，在电力设备的运行中是自然的現象，而这种电机运行的改变是由它的性能即所謂自然特性來决定的。举例來說，同样的負載改变，使串激电动机的轉数改变比並激电动机大，或使复激發電机的电压改变比並激發電机小。如果电机运行状态的改变是电力設備工作条件所允許的，那么就無需用特殊措施來維持电机的最初運轉状态。但在很多情況下，不管運轉状态参数的自然变化如何，均需要保持电机的穩定状态。

在某些情況下，保持电机的某一定运行状态不变，可由附加於电机的特殊特性來达到；但在大多数情況下，要靠人工作用於某些参数(这些参数决定电机的运行状态)來实现。

除了要保持电机运行状态不变以外，常常还需要使电机工作状态随意变化。这种随意变化也要靠对参数的人工作用來实现。而对电机状态各参数的人工作用是借电器來实现的。因为启动和調節电动机轉数或調節發電机电压是这种状态改变的最常見的情况，所以实现这种过程的电器也就常常称做起动調節电器。但是这些电器工作的情况尚不限於上述範圍，例如还可利用它們來產生电动机的掣动状态，使电机电路閉合和分断等。因此，概括的称做控制电器是更正确的，因为这些电器的主要任务是控制电机的运行状态。

控制电器最主要的功用如下：

- 1) 电动机的启动;
- 2) 电动机轉数的調節;
- 3) 电动机的电力掣动;
- 4) 反向(变换电动机的轉动方向);
- 5) 电动机的接通与分断;
- 6) 發机电电压的調節;
- 7) 發电机負載的調節。

控制电器除这些主要功用之外，还經常完成一些与电机工作或其它电器工作皆有联系的附加作用。例如在电压突然恢复时防止电机的自行启动或限制电磁电器綫圈中的电流等。

电器能完成上述功用中的一項或数項任务，它的名称、構造和綫路即由此决定。

当电器產生某一作用时，这种作用通常称做动作。电器可在維護人員(操作者)操作电器的機構时动作，也可能与維護人員直接操作無關，而在电路中任一参数(即电流、电压、电势)等的作用下动作。

第一种电器通常称为手动电器，而第二种則称为自动电器。部分操作过程是自动运行，而另一部分是由人來操作的电器則称做半自动电器。

第一篇 电机控制过程的理論

第一章 在不穩定状态下电动机工作的

基本規律 *

1. 力矩方程式

电动机由於某种原因速度發生变化，称做电动机的不穩定状态^①。这种变化不論在电动机負載变化的时候或在任何控制电器作用到电动机电路的时候，均可能發生。

在穩定状态下，亦即在恒速旋轉时，电动机的旋轉力矩等於其阻力矩。在不穩定状态下的速度变化过程中，动能的改变(增加和減少)，使电动机的旋轉力矩也相应地增加和減少。在不穩定状态时，旋轉力矩、阻力矩和慣性力矩之間的关系由达蘭貝尔(Д'аламбер)方程式决定：

$$M_{\partial\partial} = M_{ip.\partial} + \theta \frac{d\omega}{dt}. \quad (1a)$$

式中 $M_{\partial\partial}$ ——电动机軸上的旋轉力矩(动力矩)；

$M_{ip.\partial}$ ——电动机軸上的負載力矩；

θ ——归化到电动机軸上的慣性力矩；

$\frac{d\omega}{dt}$ ——电动机的角加速度。

由此方程式看出，当慣性力矩已知时，电动机的加速度决定

* 作者为了使以后學習电阻計算方便，所以編寫本章，更詳細的內容可参考电力拖动的教本。——譯者註

① 电动机速度变化並不是唯一的不穩定状态，还有电磁和热的不穩定状态。——譯者註

於動力矩 ($M_{\partial\partial}$) 和負載力矩 ($M_{ip.g}$) 間的關係:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\partial\partial} - M_{ip.g}}{\theta}. \quad (16)$$

既然力矩的方向和符號可以改變，則方程式(16)最好表示成概括的形式，用力矩的代數和代替力矩的差:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{|M_{\partial\partial}| + |M_{ip.g}|}{\theta}. \quad (1B)$$

令傳動裝置運動方向的力矩為正，相反方向的力矩為負。在這條件下 $M_{\partial\partial}$ 可以有正號和負號；而 $M_{ip.g}$ 的正號及負號僅在以下的負載特性時發生，即當力矩不僅由傳動裝置的運動所決定，而且力矩 $M_{ip.g}$ 本身可能引起傳動裝置的運動時(例如因重力作用或彈性變形作用)，則 $M_{ip.g}$ 可能有正值和負值；假若在傳動裝置運動的時候 $M_{ip.g}$ 僅由摩擦力、切削阻力和非彈性變形產生，而其本身不能運動時，則它將永遠是負值。

加速度的大小和符號隨 $M_{\partial\partial}$ 和 $M_{ip.g}$ 的關係和符號而變，同時動力矩 $\theta \frac{d\omega}{dt}$ 也變化。各種狀態下的符號關係列於表 1 中。

不同的傳動裝置中的靜負載力矩按不同的規則隨着速度變化。在某種傳動裝置上不隨速度變化，而在另外的裝置上，例如風扇和离心水泵靜負載力矩大致與速度的平方成正比變化，而在第三種傳動裝置上又按更複雜的規則變化。

慣性力矩由被移動物體的質量和慣量半徑決定，並在大多數情況下當電動機加速時保持為一定值。但在某些機械中，由於啓動加速時慣量半徑變了，於是慣性力矩就成為一個變量，例如旋臂起重機中，當柱桿旋轉時台車沿起重機的傾斜方向移動。

這裡將研究更廣泛的當 $\theta = \text{常數}$ 時的情況。

在這種情況下，上述動力矩與加速度間的關係不隨負載力矩變化的特性而變化，在速度變化的過程中，發生變化的只是它們的變化規律。例如當 $M_{ip.g} = \text{常數}$ 時，為了使電動機得到固定的

表 1

次序	負載特性	$M_{\partial\theta}$ 的符号	$M_{lp.\theta}$ 的符号	$M_{\partial\theta}$ 和 $M_{lp.\theta}$ 的关系	$\frac{d\omega}{dt}$ 的值	狀 态
1	2	3	4	5	6	7
1	符号可以改变的負載	+	-	$M_{\partial\theta} > M_{lp.\theta}$	>0	傳动裝置作为电动机启动加速。
2		+	-	$M_{\partial\theta} = M_{lp.\theta}$	$=0$	电动机的穩定運轉或电动机在有电流情况下不动
3		+	-	$M_{\partial\theta} < M_{lp.\theta}$	<0	傳动裝置作为电动机減速
4	符号不能改变的負載	-	-	$M_{\partial\theta} = 0$	$=0$	电动机在没有电流的情况下傳动裝置不动
5		-	-	$M_{\partial\theta} \leq M_{lp.\theta}$	<0	傳动裝置作为發电机状态制动
6		+	-	$M_{\partial\theta} > M_{lp.\theta}$	>0	傳动裝置作为电动机启动加速
7		+	-	$M_{\partial\theta} = M_{lp.\theta}$	$=0$	电动机穩定運轉或在有电流情况下不动
8	符号可以改变的負載	+	-	$M_{\partial\theta} < M_{lp.\theta}$	<0	傳动裝置作为电动机減速
9		+	+	$M_{\partial\theta} \leq M_{lp.\theta}$	>0	傳动裝置作为电动机启动加速
10		-	+	$M_{\partial\theta} > M_{lp.\theta}$	<0	傳动裝置作为發电机制动
11		-	+	$M_{\partial\theta} = M_{lp.\theta}$	$=0$	傳动裝置作为發电机穩定運轉
12		-	+	$M_{\partial\theta} < M_{lp.\theta}$	>0	傳动裝置作为發电机加速

加速度 $\left(\frac{d\omega}{dt} = \text{常数}\right)$ ，則旋轉力矩必須保持不变($M_{\partial\theta} = \text{常数}$)。为了在 $M_{lp.\theta} = k\omega^2 M_n$ 时同样保持这个条件，必須使旋轉力矩按 $M_{\partial\theta} = M_0 + k\omega^2 M_n$ 的規律变化，此时：

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_0 + k\omega^2 M_n - k\omega^2 M_n}{\theta} = \frac{M_0}{\theta} = \text{常数}。$$

上面方程式中的慣性力矩按方程式 $\theta = mR^2$ 來求出，式中 m 为物体質量，而 R 为慣量半徑。

將此式变成：

$$\theta = \frac{G}{g} \cdot R^2 = \frac{G \cdot D^2}{4g}。$$

GD^2 的乘積称为飛輪力矩，在工程計算中常用它來代替慣性力矩。於是达蘭貝尔方程式变成如下的形式：

$$M_{\partial\theta} = M_{ip.\theta} + \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt}.$$

在达蘭貝尔方程式中引入了归化到电动机軸上的負載力矩和慣性力矩。

在僅有旋轉运动的机械環節系統中，要把轉矩归化到电动机軸上时，可根据圖 1 進行。

从消耗能量相等的条件來決定靜負載力矩。

$$P_2 = \frac{P_3}{\eta_3}; \quad M_{ip2} = \frac{P_2}{\omega_2}; \quad M_{ip3} = \frac{P_3}{\omega_3},$$

因而：

$$M_{ip2} = \frac{P_3}{\eta_3 \omega_2} = \frac{M_{ip3}}{\eta_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_2}, \quad (2a)$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_2} = \frac{P_3}{\eta_2 \eta_3};$$

$$M_{ip1} = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_3}{\eta_2 \eta_3 \omega_1} = \frac{M_{ip3}}{\eta_2 \eta_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_1}, \quad (26)$$

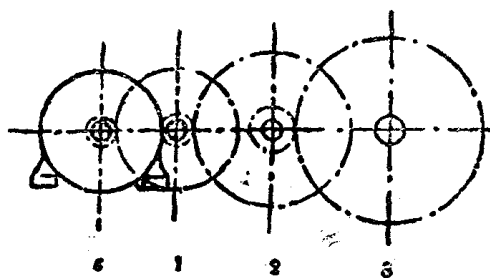


圖 1 具有一些齒輪組运动机械的工作机与电动机的联結圖

角 速 度	ω_0	ω_1	ω_2	ω_3
轉 數	n_0	n_1	n_2	n_3
慣性力矩	θ_0	θ_1	θ_2	θ_3
飛輪力矩	GD_0^2	GD_1^2	GD_2^2	GD_3^2
負載力矩	$M_{ip.0}$	$M_{ip.1}$	$M_{ip.2}$	$M_{ip.3}$
效 率	η_1	η_2	η_3	
功 率	P_0	P_1	P_2	P_3

$$P_{\theta} = \frac{P_1}{\eta_1} = \frac{P_3}{\eta_1 \eta_2 \eta_3};$$

$$M_{ip.\theta} = \frac{P_{\theta}}{\omega_{\theta}} = \frac{P_3}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \omega_{\theta}} = \frac{M_{ip3} \omega_3}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \omega_{\theta}}; \quad (2B)$$

因为角速度 $\omega = \frac{2\pi n}{60}$; 所以在以上的方程式中角速度的比值可用轉数的比值代替。

設在一个机构中有 m 个运动环节, 並且最后一个是工作环节, 这样对它來說, 負載力矩是已知量, 而其余的是它的函数。在这种情况下, 將得到:

$$M_{ip.\theta} = \frac{M_{ip.m}}{\eta_1 \eta_2 \cdots \eta_m} \cdot \frac{\omega_m}{\omega_{\theta}} = \frac{M_{ip.m}}{\eta_1 \eta_2 \cdots \eta_m} \cdot \frac{n_m}{n_{\theta}} = \frac{M_{ip.m}}{\eta_1 \eta_2 \cdots \eta_m} i_{m\theta} \quad (2r)$$

这样, 电动机軸上的力矩决定於传动效率和电动机軸与工作机軸間的传动比($i_{m\theta}$)。假若电动机用降低轉数 ($n_m < n_{\theta}$ 和 $i_{m\theta} < 1$) 來传动工具机, 那么在电动机軸上的力矩要比工作机器軸上的力矩为小; 当增加轉数传动时, 情况相反。

从方程式(2a)–(2r)看出, 当力矩从工具机工作軸归化到电动机軸上时, 由於考慮到传动机构各环节中的損失, 所以力矩需增加。但是这点並非永远如此; 在某些情况下, 这种損失却有助於电动机減輕負載。例如当降下重物掣动时, 在传动机构中的損耗轉矩与电动机的掣动轉矩作用於同一方向, 因此在电动机軸上需要的轉矩較小。在轉矩归化方程式中, 这种情况应考慮在工作机軸的力矩与传动机构的总效率的乘積中:

$$M_{ip.\theta} = M_{ip.m} \eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_m i_{m\theta} \quad (2d)$$

以上各式中的功率应以公斤·公尺/秒表示, 而力矩以公斤·公尺表示。若功率用馬力或仟瓦表示, 則当已知功率和轉数时, 电动机的旋轉力矩用以下公式求出:

若 P 用馬力

$$M = \frac{75P}{\omega} = \frac{75 \times 60P}{2\pi n} = 716.2 \frac{P}{n} \text{ 公斤} \cdot \text{公尺} \quad (3a)$$

若 P 用仟瓦

$$M = \frac{716.2P}{0.736n} = 975 \frac{P}{n} \text{ 公斤} \cdot \text{公尺} \quad (36)$$

式中 n 为每分鐘的轉数。

从能量守恒的条件决定惯性力矩和飛輪力矩。

$$\theta_{np} \frac{\omega_{\theta}^2}{2} = \theta_{\theta} \frac{\omega_{\theta}^2}{2} + \theta_1 \frac{\omega_1^2}{2} + \dots + \theta_m \frac{\omega_m^2}{2}$$

或者除以 $\frac{\omega_{\theta}^2}{2}$

$$\theta_{np} = \theta_{\theta} + \theta_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\theta}} \right)^2 + \theta_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\theta}} \right)^2 + \dots + \theta_m \left(\frac{\omega_m}{\omega_{\theta}} \right)^2. \quad (4a)$$

按以前導出的关系，將飛輪力矩代以惯性力矩后，得：

$$GD_{np}^2 = GD_{\theta}^2 + GD_1^2 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\theta}} \right)^2 + GD_2^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\theta}} \right)^2 + \dots + GD_m^2 \left(\frac{\omega_m}{\omega_{\theta}} \right)^2 \quad (46)$$

或用轉数代替角速度

$$GD_{np}^2 = GD_{\theta}^2 + GD_1^2 \left(\frac{n_1}{n_{\theta}} \right)^2 + GD_2^2 \left(\frac{n_2}{n_{\theta}} \right)^2 + \dots + GD_m^2 \left(\frac{n_m}{n_{\theta}} \right)^2. \quad (4b)$$

从導出的式子中看出，在总(归化的)飛輪力矩中每一環節飛輪力矩的分量由此環節軸的轉数对电动机軸轉数比的平方來決定。因此在电动机到工作机軸为增速傳动的裝置中，虽然电动机的飛輪力矩較機構中的其它低速環節的飛輪力矩小，但电动机的飛輪力矩仍是归化力矩的主要部分。

①原文为“ $GD_{np}^2 = GD_{\theta}^2 + GD_1^2 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\theta}} \right)^2 + GD_2^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\theta}} \right)^2 + \dots + GD_m^2 \left(\frac{\omega_m}{\omega_{\theta}} \right)^2$ ”

——譯者註。

若在运动机构中有往复运动的环节，则归化力矩的大部分属于机器工作机件；例如在卷扬机中重物的移动，刨床中工作台的移动，起重机中吊钩的移动等等。

因而在这种情况下，已知值是力、质量和工作机件的移动速度，按照它们的值就能算出电动机的力矩。

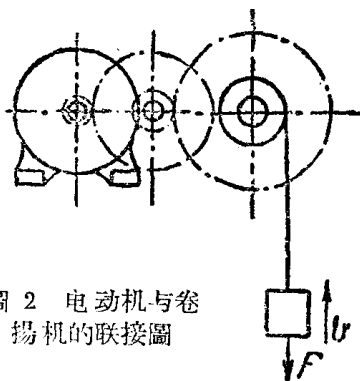


圖 2 电动机与卷扬机的联接圖

以卷扬机为例(圖 2)。在这种情况下有用功率是 $P_m = Fv$ 。而在电动机轴上的功率。

$$P_g = \frac{P_m}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 \cdots \eta_m}$$

在电动机轴上的负载力矩

$$M_{ip.g} = \frac{P_g}{\omega_g} = \frac{P_m}{\eta_1 \eta_2 \cdots \eta_m} \cdot \frac{1}{\omega_g} = \frac{F}{\eta_1 \eta_2 \cdots \eta_m} \cdot \frac{v}{\omega_g}$$

这种情况下的归化惯性力矩和飞轮力矩同样由动能相等的条件来决定：

$$\theta_{np} \frac{\omega_g^2}{2} = \theta_g \frac{\omega_g^2}{2} + \theta_1 \frac{\omega_1^2}{2} + \cdots + \theta_m \frac{\omega_m^2}{2} + \frac{mv^2}{2},$$

$$\theta_{np} = \theta'_{np} + \frac{mv^2}{\omega_g^2} \quad (5a)$$

变成飞轮力矩，则得：

$$GD_{np}^2 = (GD_{np}^2)' + \frac{mv^2 4g}{\omega_g^2} = (GD_{np}^2)' + (GD_{np}^2)'', \quad (5b)$$

式中 $(GD_{np}^2)'$ —— 旋转运动部分的飞轮力矩；

$(GD_{np}^2)''$ —— 直线运动部分的飞轮力矩。

$$(GD_{np}^2)'' = \frac{mv^2 4g}{\omega_g^2} = \frac{Gv^2 \cdot 30^2 \cdot 4g}{g \pi^2 r_g^2} = \frac{365 Gv^2}{r_g^2} \quad (5b)$$