

电动机特性 与电阻的计算

(苏联) С·Н·魏雪涅夫斯基著

鍾兆琥譯

中国工业出版社

本书討論直流电动机、異步电动机及同步电动机在启动、制动和速度調整各种运转状态中机械特性的計算理論和实践

本书以相当多的篇幅叙述万用静态特性曲綫族及动态特性曲綫族。这些特性曲綫是著者为苏联制造的一系列电动机繪制出来的。书中介紹了計算和选择电阻的方法。各种計算都有例题闡明。

本书是电力驱动设备的設計、校整和运行工作人员編写的。它也可供有关电力驱动的各专业的学生参考。

С.Н. ВЕЩЕНЕВСКИЙ
**РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК И
СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА 1955修訂第二版翻譯

* * *

电动机的特性与电阻的計算

鍾兆號譯

(根据水利电力出版社紙型重印)

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南路房)

中国工业出版社出版(北京修羅閣路內10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $10^{5/8}$ ·字数301,000

1962年12月北京新~~版~~·1965年~~4月~~北京第二次印刷

印数3,041-8,160·定价(杆七)1.90元

統一书号: 15105·12716·水电-237)

序

苏联共产党第十九次代表大会在苏维埃科学家、工程师和技术員等工作人員面前提出了在最先进的技术基础上进一步繼續不断地提高和改进社会主义生产的任务。

本书著者的任务是要发展应用于現代生产中的祖国（指苏联，下同——譯者）的电力驅动科学与实践的一个部門。

本书是著者根据他的研究和他在莫斯科工业电气化托辣斯^①——中央电气安装公司^②——重工业电力設備設計局^③的冶金处多年的工作經驗写成的。

书中介紹了适合生产工艺的电动机的机械特性的計算与特性曲綫的繪制法。书中叙述了电力驅动动力学的許多新原理和公式。为了使这一著作更切合实用起見，书中同时簡略地叙述了电热計算、电阻選擇和拟制电阻接綫图的理論与实践。

这一版（1955年）与前一版（1954年）不同之处是这一版增加了用精确圓图計算异步电动机特性曲綫和多速异步电动机的計算。书中还根据莫斯科动力学院和以С. М.基洛夫命名的“狄納莫”工厂的科学工作者和工程師們在詳細討論本书时所提意見及建議作了許多补充和修正。著者对参加本书討論的各位同志謹致謝意。

本书沒有討論发电机和发电机—电动机系統，后者在現代技术水平上已与旋轉电力扩大机結合起来了。这一非常重要的問題值得在一部專門著作中討論。現在正有許多專家致力於这一問題的研究，其中也包括了本书的著者。

① Московский Электромонтаж. 1954. 3. 7

② Центроэлектромонтаж. 1954. 3. 7

③ Тяжпромэлектромонтаж. 1954. 3. 7

本书按下述原則編写：

1)分章不按运轉状态(起動、制動、調整),而按电动机种类(直流、异步、同步)。照著者的看法,这样布置书中内容的方法能帮助讀者掌握书中資料,并且使他在做設計工作时更容易利用本书作为指导。

2)为了使計算具有一般性,除了絕對值外,还用了标幺值作計算。与百分值比較时标幺值使計算更力簡化。

3)考虑到設計工作者和运行工作人員往往不能获得精確計算所需的資料,并且在許多情形下也并不需要精確計算,所以书中介紹了精確計算法,也介紹了近似計算法。

4)象在1938年版和1954年版里一样,本书的很大部分是著者为起動、調整和制動所計算的电动机的实用的万用特性曲綫族。从这些特性曲綫族可以选擇所要的特性,并且不經過計算就可确定必需的参数。因为考虑到这些特性曲綫族常被利用,它們是用比較准确的方法計算的。

在苏联,創造有科学根据的电力驅动理論的勞績应归功于林开維奇(С. А. Ринкевич)和波波夫(В. К. Попов)两位教授的最早的基本著作。前者所著“机械能的电气分布法”^①于1925年出版,后者所著“电动机在工业中的应用”^②于1932年出版并在1939年再版。

这些科学著作不断地由新的一代——莫斯科动力学院、列宁格勒工业大学、列宁格勒电工学院、烏拉尔工业大学、哈尔科夫工业大学等学校的教授和科学工作者——的著作充实而丰富起来。

設計和安装电力驅动設備,并負責进行試运轉的电气安装管理总局,以及設計驅动設備和制造控制系統的“电力驅动”托辣斯在发展电力驅动学方面起了很大的推动作用。

电器工业的許多工厂如“电力”工厂^③、哈尔科夫电气机械制造厂^④、“迭納莫”工厂^⑤、“烏拉尔电器”工厂^⑥等,均在設計与制造电

① 《Электрическое распределение механической энергии》.

② 《Применение электродвигателей в промышленности》.

③ 《Электросила》.

④ Харьковский Электромеханический Завод(ХЭМЗ).

⑤ 《Динамо》.

⑥ 《Уралэлектроаппарат》.

力驅動設備方面以及以電力驅動裝置配備我國工業的方面起了重大的作用。

最后必須指出，各工廠和重型機器制造研究所的設計處以及運用電力驅動設備的各工廠，在電力驅動方面也作了很多的工作。

本書是為設計工程師和設計技術員、安裝工作人員、整校工作人員和運行工作人員編寫的，它也可供學生在寫設計方面的畢業論文時作參考書用。

著 者

目 录

序

绪论.....

丙、复激电动机

§ 2-20. 固有特性和人为特性	148
§ 2-21. 起动	151
§ 2-22. 反接制动	153
§ 2-23. 能耗制动	153
§ 2-24. 能耗制动与反接制动之比較	155
§ 2-25. 轉速的調整	157

第三章 异步电动机

§ 3-1. 額定电阻	158
§ 3-2. 电动机的內阻抗	159

甲、滑环式电动机

§ 3-3. 固有特性和人为特性	164
§ 3-4. 轉子电路中接入对称电阻的起动	178
§ 3-5. 轉子电路中接入不对称电阻的起动	187
§ 3-6. 轉子电路中接入电抗器的起动	195
§ 3-7. 反接制动	200
§ 3-8. 能耗制动	203
§ 3-9. 轉速的調整	222
§ 3-10. 帶飞輪的驅動裝置里的电动机轉差率之調整	226

乙、鼠籠型电动机

§ 3-11. 固有特性和人为特性	237
§ 3-12. 定子电路中接入对称电阻的起动	242
§ 3-13. 定子电路里接入不对称电阻的起动	250
§ 3-14. 能耗制动	258
§ 3-15. 轉速的調整	260

第四章 同步电动机

§ 4-1. 額定阻抗	264
§ 4-2. 固有特性	264
§ 4-3. 起动	265
§ 4-4. 放电电阻	269
§ 4-5. 能耗制动	271

第五章 电 阻

甲、电阻的发热计算

§ 5-1. 发热的基本理论	283
§ 5-2. 电阻里的等效长期电流之计算	287

乙、电阻的技术数据及其接线图的拟订

§ 5-3. 电阻材料	301
§ 5-4. 带铸铁元件的电阻箱	303
§ 5-5. 带铁铬铝合金元件的电阻箱	309
§ 5-6. 带线绕元件和带绕元件的电阻箱	310
§ 5-7. 管状电阻	314
§ 5-8. 电阻接线图的拟订	318
附录	328
参考书刊	336

序

苏联共产党第十九次代表大会在苏维埃科学家、工程师和技术員等工作人員面前提出了在最先进的技术基础上进一步繼續不断地提高和改进社会主义生产的任务。

本书著者的任务是要发展应用于現代生产中的祖国（指苏联，下同——譯者）的电力驅动科学与实践的一个部門。

本书是著者根据他的研究和他在莫斯科工业电气化托辣斯^①——中央电气安装公司^②——重工业电力設備設計局^③的冶金处多年的工作經驗写成的。

书中介紹了适合生产工艺的电动机的机械特性的計算与特性曲綫的繪制法。书中叙述了电力驅动动力学的許多新原理和公式。为了使这一著作更切合实用起見，书中同时簡略地叙述了电热計算、电阻選擇和拟制电阻接綫图的理論与实践。

这一版（1955年）与前一版（1954年）不同之处是这一版增加了用精确圓图計算异步电动机特性曲綫和多速异步电动机的計算。书中还根据莫斯科动力学院和以С. М.基洛夫命名的“狄納莫”工厂的科学工作者和工程师們在詳細討論本书时所提意見及建議作了許多补充和修正。著者对参加本书討論的各位同志謹致謝意。

本书沒有討論发电机和发电机—电动机系統，后者在現代技术水平上已与旋轉电力扩大机結合起来了。这一非常重要的問題值得在一部專門著作中討論。現在正有許多專家致力於这一問題的研究，其中也包括了本书的著者。

① Московский Электромонтаж. 1954. 3. 7

② Центроэлектромонтаж. 1954. 3. 7

③ Тяжпромэлектромонтаж. 1954. 3. 7

本书按下述原則編写：

1)分章不按运轉状态(起動、制動、調整),而按电动机种类(直流、异步、同步)。照著者的看法,这样布置书中内容的方法能帮助讀者掌握书中資料,并且使他在做設計工作时更容易利用本书作为指导。

2)为了使計算具有一般性,除了絕對值外,还用了标幺值作計算。与百分值比較时标幺值使計算更力簡化。

3)考虑到設計工作者和运行工作人員往往不能获得精確計算所需的資料,并且在許多情形下也并不需要精確計算,所以书中介紹了精確計算法,也介紹了近似計算法。

4)象在1938年版和1954年版里一样,本书的很大部分是著者为起動、調整和制動所計算的电动机的实用的万用特性曲綫族。从这些特性曲綫族可以选擇所要的特性,并且不經過計算就可确定必需的参数。因为考虑到这些特性曲綫族常被利用,它們是用比較准确的方法計算的。

在苏联,創造有科学根据的电力驅动理論的勞績应归功于林开維奇(С. А. Ринкевич)和波波夫(В. К. Попов)两位教授的最早的基本著作。前者所著“机械能的电气分布法”^①于1925年出版,后者所著“电动机在工业中的应用”^②于1932年出版并在1939年再版。

这些科学著作不断地由新的一代——莫斯科动力学院、列宁格勒工业大学、列宁格勒电工学院、烏拉尔工业大学、哈尔科夫工业大学等学校的教授和科学工作者——的著作充实而丰富起来。

設計和安装电力驅动設備,并負責进行試运轉的电气安装管理总局,以及設計驅动設備和制造控制系統的“电力驅动”托辣斯在发展电力驅动学方面起了很大的推动作用。

电器工业的許多工厂如“电力”工厂^③、哈尔科夫电气机械制造厂^④、“迭納莫”工厂^⑤、“烏拉尔电器”工厂^⑥等,均在設計与制造电

① 《Электрическое распределение механической энергии》.

② 《Применение электродвигателей в промышленности》.

③ 《Электросила》.

④ Харьковский Электромеханический Завод(ХЭМЗ).

⑤ 《Динамо》.

⑥ 《Уралэлектроаппарат》.

力驅動設備方面以及以電力驅動裝置配備我國工業的方面起了重大的作用。

最后必須指出，各工廠和重型機器制造研究所的設計處以及運用電力驅動設備的各工廠，在電力驅動方面也作了很多的工作。

本書是為設計工程師和設計技術員、安裝工作人員、整校工作人員和運行工作人員編寫的，它也可供學生在寫設計方面的畢業論文時作參考書用。

著 者

目 录

序

绪论.....

丙、复激电动机

§ 2-20. 固有特性和人为特性	148
§ 2-21. 起动	151
§ 2-22. 反接制动	153
§ 2-23. 能耗制动	153
§ 2-24. 能耗制动与反接制动之比較	155
§ 2-25. 轉速的調整	157

第三章 异步电动机

§ 3-1. 額定电阻	158
§ 3-2. 电动机的內阻抗	159

甲、滑环式电动机

§ 3-3. 固有特性和人为特性	164
§ 3-4. 轉子电路中接入对称电阻的起动	178
§ 3-5. 轉子电路中接入不对称电阻的起动	187
§ 3-6. 轉子电路中接入电抗器的起动	195
§ 3-7. 反接制动	200
§ 3-8. 能耗制动	203
§ 3-9. 轉速的調整	222
§ 3-10. 帶飞輪的驅動裝置里的电动机轉差率之調整	226

乙、鼠籠型电动机

§ 3-11. 固有特性和人为特性	237
§ 3-12. 定子电路中接入对称电阻的起动	242
§ 3-13. 定子电路里接入不对称电阻的起动	250
§ 3-14. 能耗制动	258
§ 3-15. 轉速的調整	260

第四章 同步电动机

§ 4-1. 額定阻抗	264
§ 4-2. 固有特性	264
§ 4-3. 起动	265
§ 4-4. 放电电阻	269
§ 4-5. 能耗制动	271

第五章 电 阻

甲、电阻的发热计算

§ 5-1. 发热的基本理论	283
§ 5-2. 电阻里的等效长期电流之计算	287

乙、电阻的技术数据及其接线图的拟订

§ 5-3. 电阻材料	301
§ 5-4. 带铸铁元件的电阻箱	303
§ 5-5. 带铁铬铝合金元件的电阻箱	309
§ 5-6. 带线绕元件和带绕元件的电阻箱	310
§ 5-7. 管状电阻	314
§ 5-8. 电阻接线图的拟订	318
附录	328
参考书刊	336

緒 論

正确地設計電力驅動——這就是要創造最好的工藝條件來保證產品質量和高度的生產率，並且要把機械的控制做成輕易、簡單和可靠。同時也應該考慮到投資少、電能損耗少、佈置緊密等問題。

設計電力驅動時必須知道要求的工藝過程以及在此過程中需用的機械、電動機、器械、電阻等。

如果在電力驅動的初期發展階段，機械工程師先把工作機計算好了並設計好了，然後在結束自己的工作之後才把各種資料轉送給電機工程師以便後者去選擇電動機、器械和電阻的話，那末現在總是機械工程師會同了電機工程師根據工藝技師提出的條件來研究驅動的問題，來確定哪一些技術條件能用機器本身的結構來最完善地滿足，哪一些可用電力設備來滿足。舉例說，大家已經熟知，在機械製造和器械製造的現有發展階段上，剪切截面不大的金屬用的剪切機（ножницы）以制成帶飛輪的和以連續運轉的電動機驅動為宜，在每次剪切的時候剪切機的曲軸通過機械聯結器與旋轉的減速器聯結起來。在這種情況下，剪切機因有聯結器而稍微複雜了些，但它完全可靠，同時電力設備卻變得很簡單。在大型剪切機上聯結器就不能制成足夠簡單而可靠。因此，這種剪切機就制成曲軸與減速器硬性聯結的，不帶飛輪而在每次剪切時電動機起動和停止一次。在這種情形下，剪切機的機械部分簡化了，但電力設備則複雜了許多。

在軋軸個別驅動的軋道上可以安裝帶減速器的輕的高速電動機或不帶減速器的重的低速電動機，也可安裝聯合的減速器——電動機。對於許多驅動裝置而言，改變速度可以靠改變工作機構中的傳動比來實現，或安裝一台可調速的電動機來實現。驅動裝置可用機械軋制動，也可用電控軋制動，而常常是兩種軋同時應用。

同一些條件可用工作機器的特殊結構或用專門設計的電力設備來完成，或把兩者配合起來完成，這種例子可以舉出許多。

作为电力驅動的組成元件来看，电阻的作用是很大的。的確，起動、停止和轉速調整等運轉狀態在相當大程度上是由电阻決定的。把各種配合不同的电阻聯接到電動機上去，我們可以改變電動機的特性而令驅動裝置在不同的狀態下運轉。舉例說，我們可以使串激電動機作為分激電動機或復激電動機運轉，或甚至作為具有顯著的停頓轉矩的感應電動機運轉。電動機的固有特性僅為電動機能有的全部特性中的特殊一種。

電動機往往單在人為特性上運轉，或大部分時間在人為特性上運轉——在這種場合电阻的作用就特別重大。起重機上的直流提昇驅動就是一個典型的例子。

工藝過程所需要的任何特性，直流電動機實際上都能產生。

在交流電動機上，我們目前還不能用簡單而可靠的方法來獲得電動狀態下和發電狀態下的穩定的低速度和穩定的高速度。

但是交流電動機却在初期投資和運行費用方面有顯著的經濟優點，它們比較低廉和可靠，並且不需要價格高而效率低的換流設備。由於這些優點，交流電動機在工業中，在直流電動機的優點不能利用或較少感覺到的許多場合獲得了廣泛的應用。

這裡還必須指出，有一些運轉狀態用交流電動機比用直流電動機更易于獲得。感應電動機使我們能得到初瞬沖擊力矩微小但更有效的一級能耗制動；感應電動機又讓我們能靠接入轉子電路里的簡單的抗流器來得到平滑的不分級起動。

在我們面前還有許多問題需要科學和技術來解決，其中可調整的飽和抗流器給我們以把交流電動機做成“聽話的”機器的希望。這是一個重要的問題，其實際解決能使交流電動機推行得更廣。

科學工作者、設計者、打樣者、整校和運行工作人員的共同努力一定能解決這些問題。

第一章 一般原理

§ 1-1. 驅動动力学

下面將列述由驅動动力学的理論發展而得来的某些原理和公式 [参考書刊 15]。我們將敘述：力矩的分类，力矩的記号标註，在加速力矩与減速力矩随电动机轉速作直綫性变化时的時間和行程的公式。

这些原理和公式对于估計驅動裝置在过渡状态下的行为，对于計算为要保証驅動裝置能有所需的運轉状态与運轉曲綫而需用的电阻，对于按發热条件計算电阻，和对于用接触器控制时計算加速繼电器和減速繼电器所需的時限，都是必需的。

力矩的性質和記号

在研究驅动的各种運轉状态时，我們將把所有的力矩都換算到电动机軸。

驅动的状态与电动机电力矩 $M_{\partial\theta}$ 和靜态力矩 M_c 有关。这些力矩中的每一个可能是原动力矩，也可能是制动力矩。例如：(1) 圓鋸旋轉时， $M_{\partial\theta}$ 是原动力矩， M_c 是制动力矩；(2) 起重机放落重負荷而把电动机作为發电机運轉时， M_c 是原动力矩， $M_{\partial\theta}$ 是制动力矩；(3) 負荷被强制下降时——兩力矩都是原动力矩；(4) 軋鋼机用电力制动时——兩力矩都是制动力矩。

很明显，驅動裝置的运动是决定于这两个力矩的合成为力矩的作用的，这个合成为力矩將叫做动态力矩：

$$M_{\partial n} = M_{\partial\theta} + M_c \quad (1-1)$$

在(1-1)式內，力矩是作为代数量的。

我們將認為方向与旋轉方向一致的力矩是正力矩，方向与旋轉方向相反的力矩是負力矩。

对于靜止的驅動裝置，例如在电动机起动的时刻，或在电动机減