

中等專業學校教學用書

內燃機車

下 冊

С. А. 沙夫藍諾夫斯基

Н. З. 彼烈薇爾捷夫 著

Н. И. 柯 羅 了 夫

人 民 鐵 道 出 版 社

中等專業學校教學用書

內 燃 機 車

(構造, 計算及修理)

第二版 修訂版

下 冊

С.А.沙夫藍諾夫斯基 Н.З.彼烈薇爾捷夫 Н.И.柯羅了夫著

高 明 等 譯

人 民 鐵 道 出 版 社

一九五八年·北京

本書中譯本分上下兩冊出版。內容闡述了蘇聯鐵路上運用的內燃機車的構造和修理；比較詳細地敘述了 Д50型發動機的部件和零件、發動機的輔助設備，以及它們的檢修。書中並列出內燃機工作循環的主要計算、發動機零件的強度計算及內燃機車電氣設備的計算。

本書也簡單地敘述了新的大功率的ТЭ3型內燃機車及其牌號為2Д100的內燃機的構造。書末並提供了關於重油列車、煤氣發生爐式內燃機車及 Д⁶型內燃機車的一般知識。

本書經蘇聯交通部教育總局批准作為鐵路運輸中等技術學校教科書。

本書除作為鐵路中等專業學校教材外，同時也可供從事內燃機車設計、製造、修理、運用等部門的工程師、技術員以及有關人員學習及參考之用。

內 燃 機 車

下 冊

ТЕПЛОВОЗЫ

С.А.ШАФРАНОВСКИЙ

蘇聯 Н.З.ПЕРЕВЕРЗЕВ 著

Н.И.КОРОЛЁВ

蘇聯國家鐵路運輸出版社（1955年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ Москва 1955

高明等譯

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

（北京市建國門外七聖廟）

書號988 開本787×1092 $\frac{1}{16}$ 印張15 $\frac{3}{4}$ 插頁3 字數334千

1958年7月第1版

1958年7月第1版第1次印刷

印數0001—2,200冊 定價（'0）2.30元

目 录

第 八 章 內燃機車的电力傳动基础

§1. 电机的用途	1
§2. 电力傳动裝置的操縱	1
§3. 电力傳动裝置的調节	4
§4. 发电机双曲綫型特性曲綫的图解获得法	11
§5. 內燃機車自动操縱的原理电路图	12

第 九 章 內燃機車的电机

§1. 主发电机	24
§2. 双机組合机	32
§3. 牽引电动机	37
§4. 牽引电动机的計算	47
§5. 牽引电动机的发热和通风	62
§6. 輔助燃料泵和加热器風扇的电动机	68
§7. 电机的維護和修理	72
§8. 电机的故障及故障的消除法	83

第 十 章 內燃機車的电器

§1. 电器的用途	85
§2. 电器的触头型式	85
§3. 电弧及其物理性能	88
§4. 电器的灭弧裝置	90
§5. 触头的驅动裝置	91
§6. 接触器	99
§7. 駕駛控制器	103
§8. 电力風动換向器	106
§9. 按鈕开关	108
§10. 內燃機車的繼电器	109
§11. 电压調节器	121
§12. 联鎖磁鉄	124
§13. 測量仪表	126
§14. 其他各种电气設備	128

§15. 电器的修理和维护	138
---------------	-----

第十一章 內燃機車的蓄電池組

§1. 蓄電池組的型式	141
§2. TЭ1型和TЭ2型內燃機車蓄電池組的構造	147
§3. 蓄電池組的維護及其修理	152
§4. 蓄電池組容量的計算原則	156

第十二章 TЭ 型和TЭ2型內燃機車的電路圖

§1. 內燃機車電路圖的種類	159
§2. TЭ2型內燃機車的電路圖	160
§3. TЭ1型內燃機車的電路圖	182
§4. 電氣綫路的可能發生的故障，故障發生的原因及消除方法	183
§5. 內燃機車電器和電機的試驗和調節	186

第十三章 TЭ3型內燃機車

§1. TЭ3型內燃機車的一般知識	192
§2. 發動機	195
§3. 電氣設備	197

第十四章 發動機工作循環的計算

§1. 燃料的燃燒	202
§2. 四冲程發動機基本過程的計算	206
§3. 平均指示壓力	210
§4. 發動機基本參數的決定	211
§5. 兩冲程發動機工作循環計算的特點	211
§6. 發動機的指示效率及有效效率	213
§7. 發動機的热平衡	214
§8. Д50型發動機工作循環的計算	215

第十五章 發動機零件的強度計算

§1. 作用在活塞上的力	222
§2. 力在曲柄連桿機構中的分配	227
§3. 徑向力曲綫的作法	228
§4. 一個氣缸的切向力曲綫的作法	229
§5. 總切向力曲綫的作法	231
§6. 發動機曲軸不等速轉動的原因	231
§7. 曲軸的校核性計算	233
§8. 活塞 活塞銷和連桿螺栓的計算	241

第十六章 Д⁶型內燃機車，煤氣發生爐式內燃機車及重油列車

§1. Д ⁶ 型內燃機車	245
§2. 煤氣發生爐式內燃機車	250
§3. 重油列車	254

第八章 內燃機車的電力傳動基礎

§1. 電 機 的 用 途

在內燃機車上，採用下列主要的電機：

(1) 主發電機，它把熱力發動機的機械能轉變成電能，並把電能供給牽引電動機；

此外，主發電機經常供發動機電力起動之用。這時，發電機從蓄電池組那里獲得電流，像電動機那樣工作，因而驅動了熱力發動機的軸；

(2) 激磁機——功率不大的特殊發電機，供主發電機激磁之用；

(3) 用來驅動內燃機車的牽引電動機；

(4) 功率不大的輔助發電機，它們給出的電流供激磁機激磁、蓄電池組充電之用，同時也把電流供給操縱電路及照明電路；

(5) 小功率的特殊電機——電機放大器和測速發電機。前者作激磁機用，后者供主發電機電壓和功率附加調節之用。

除了主要的電機以外，在內燃機車上還裝有驅動各種輔助機構（泵，風扇及其他）用的小功率電動機。這些電動機與電力傳動沒有直接關係。

§2. 電力傳動裝置的操縱

列車運行時，由於綫路縱斷面、信號標誌和其他條件，容許的運行速度經常低於內燃機車發動機功率所能發揮的最大速度。

傳動裝置的電路圖應該具有調節內燃機車運行速度、也就是調節牽引電動机电樞轉速的可能性。

電動机电樞的轉速根據下式求得：

$$n_{\partial\partial} = \frac{U_{\partial\partial} - I_{\partial} r_{\partial}}{C_{\partial\partial} \Phi_{\partial\partial}}, \quad (32)$$

式中 $n_{\partial\partial}$ ——電樞轉速（轉/分鐘）；

$U_{\partial\partial}$ ——電動機的端電壓（伏）；

$I_{\partial} r_{\partial}$ ——電動机电樞繞組中的電壓損失（伏）；

$\Phi_{\partial\partial}$ ——電動機一對磁極上的磁通（馬力）；

$C_{\partial\partial}$ ——電動機常數

電動機的端電壓與串接在發電機電路中的電動機數 k 有關，即：

$$U_{\partial\partial} = \frac{U_z}{k}。 \quad (33)$$

这时，我們已略去了連接電纜中的非常小的电阻。

为了对 (32) 式进行分析，我們确立发电机电端电压 U_z 与发电机电动势 E 之間的关系。

发电机的电力平衡方程式如下所示：

$$E = U_z + I_z r_{zz}, \quad (34)$$

式中 $I_z r_{zz}$ ——发电机电樞繞組中的电压损失 (伏)，由上式，得：

$$U_z = E - I_z r_{zz}。 \quad (34a)$$

大家知道，以伏作为单位的发电机电动势可根据下式求得：

$$E = \frac{pn_z}{60} \cdot \frac{N}{a} \Phi_z \cdot 10^{-8}, \quad (35)$$

式中 p ——磁极对数；

n_z ——电樞轉速 (轉/分鐘)；

N ——电樞繞組的有效導線數；

a ——电樞繞組的平行支路对数；

Φ_z ——发电机一对磁极的磁通 (馬力)。

比較一下 (32)、(33)、(34a) 和 (35) 式，可見：要改变牽引电动机电樞的轉速，也就是要改变內燃機車运行速度的話，必須改变发电机的电动势，这一点可以用改变发电机磁通或发电机电樞轉速 (等于热力发动机軸的轉速 n_g) 的办法来实现。这些量的改变同时也調节了发动机的功率。

发电机磁通的改变引起发电机电端电压的改变，因而連帶引起牽引电动机端电压的改变。这时，牽引电动机电樞的轉速及內燃機車的运行速度也改变了。

倘改变激磁电流从而改变发电机的磁通，則內燃機車发动机功率的改变将在軸轉速恒定的情况下进行。而倘用改变发动机軸轉速及发电机激磁电流的办法来改变发电机电压的話，这就与柴油机的功率在变轉速的情况下发生变化相适应。

此外，当发电机电压恒定时，牽引电动机电樞的轉速可以用改变串联接入的电动机数目的办法以及用改变电动机磁通的办法来进行調节。

实际上，譬如說，如果把电动机組从串联改接成並联，則每台电动机的端电压就急剧地增高。

根据 (2) 式，牽引电动机电樞的轉速也因而增高。从这个公式得出結論：电动机电樞的轉速随着磁通 $\Phi_{\partial\partial}$ 的减小而增高。

但是，当发电机具有双曲綫型的特性时 (以后将指出，双曲綫型特性对保証最大限度地利利用內燃機車发动机的功率來說是必需的)，牽引电动机連接簡图的改变或磁通的削弱並不直接导致內燃機車运行状况的改变。实际上，这些办法是用来消

除內燃機車牽引力在激磁方面的限制。

應該指出：現代大功率內燃機車上的熱力發動機是用經濟性高的柴油機來擔當的。因此，以後在研究電力傳動時，都是在發動機是柴油機的情況下進行的。

柴油機轉速恒定時的電力傳動的方程式。當柴油機軸的轉速恒定時，它的功率的調節可以用改變供油量的辦法來實現，所謂供油量就是：在一個工作循環中，送入柴油機一個氣缸的燃料重量（以克計）。

當供油量改變時，柴油機功率也相應地改變，因而它的扭矩 M_o 也改變。

這可以从下列公式中看出：

$$M_o = 716.2 \frac{N_i \eta}{n_o} \text{ 公斤公尺}, \quad (36)$$

式中 N_i ——柴油機的指示功率（馬力）；

η ——柴油機的機械效率；

n_o ——柴油機軸的轉速（轉/分鐘）。

要使柴油機軸的轉速保持恒定，必須使柴油機的扭矩等於發電機的制動力矩 M_z ；也就是：

$$M_o = M_z. \quad (37)$$

發電機的力矩 M_z 根據下列公式求得：

$$M_z = K_z I_z \Phi_z, \quad (38)$$

式中 K_z ——發電機常數，這個常數與發電機的結構參數有關。

從上列公式中看出：要調節發電機力矩的話，必須改變電流強度 I_z 或磁通 Φ_z 。

假定在我們所討論的那個瞬時，外部牽引力 F_x 等於常數，則各牽引電動機的總電流也應該認為是常數；因而發電機的電流也將是常數。因此，為了使柴油機力矩和發電機力矩保持平衡，就必須改變激磁磁通以調節發電機力矩。而激磁磁通則用調節發電機激磁電流的辦法來改變，例如，用控制器來改變接在激磁繞組電路中的變阻器的電阻，從而調節發電機的激磁電流。

發電機磁通的改變引起發電機端電壓的改變，也連帶引起牽引電動機端電壓的改變。同時，牽引電動機電樞的轉速及內燃機車的运行速度也改變了。

現在我們討論下面的例子：設列車在穩定運行時需要增加它的速度，列車的外部阻力及牽引力是常數。當增加柴油機的供油量時，它的功率增大，與此同時，按 (36) 式，柴油機的扭矩也增大了。

因為牽引力是常數，所以發電機力矩 M_z 仍舊不變；這時，因為柴油機的力矩將大於發電機的力矩 ($M_o > M_z$)，所以等式 $M_o = M_z$ 被破壞了。由於這個緣故，柴油機軸的角速度開始增高。為了使角速度保持恒定，必須借把發電機激磁電流增加到必需的值的辦法來使 M_z 增加到 M_o 值。這時，發電機磁通 Φ_z 相應地增大，這就引起力矩 M_z 增大，於是，等式 $M_o = M_z$ 又將成立。

發電機激磁磁通增大時，因為 $E = C_z n_z \Phi_z$ ，所以發電機的電動勢也隨着增大，

同时, 电压 U_z 也随着增大, 这样一来, 根据 (32) 式, 牵引电动机电樞的轉速也增高了。因此, 內燃机車的运行速度也增高了。

在必需降低运行速度的情况下, 应该减少柴油机的供油量及发电机的激磁。

柴油機軸轉速变化时的电力傳动裝置的操縱。在这种情况下, 柴油机功率的調节——內燃機車运行速度的調节——可以用改变柴油机軸角速度的办法来实现。当軸轉速改变时, 发电机的功率和电动势也随着改变, 即:

$$\left. \begin{aligned} E_{z_1} &= C_z n_{z_1} \Phi_{z_1}, \\ E_{z_2} &= C_z n_{z_2} \Phi_{z_2}. \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

这些电动势的比值等于

$$\frac{E_{z_1}}{E_{z_2}} = \frac{n_{z_1} \Phi_{z_1}}{n_{z_2} \Phi_{z_2}} \approx \frac{U_{z_1}}{U_{z_2}}. \quad (40)$$

在柴油机軸轉速改变前及改变后的內燃機車运行速度的比值为:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_{\partial z_1}}{n_{\partial z_2}} \approx \frac{U_{z_1}}{U_{z_2}} \approx \frac{n_{\partial z_1} \Phi_{z_1}}{n_{\partial z_2} \Phi_{z_2}}, \quad (41)$$

也就是說, 在用这种方法来調节柴油机功率的时候, 內燃機車的速度与柴油机軸的角速度成直綫关系, 而当用第一种方法調节时, 內燃機車的速度将与发电机的磁通量成直綫关系。

因此, 在发动机軸轉速变化的情况下, 为了达到使內燃機車运行速度在一定范围内变动而进行的发电机激磁电流調节的調节范围大大地減小了。

在現代內燃機車上, 只採用这种方法来操縱电力傳动裝置。

§3. 电力傳动裝置的調节

对內燃機車傳动裝置的基本要求是: 在各种运行条件下, 要保証有可能完全利用柴油机的功率。

电力傳动裝置給出在各种綫路縱断面情况下利用柴油机滿載功率的可能性。它能随着內燃機車运行速度 v 的改变而来調节牽引力 F_k , 使 F_k 与 v 的乘积在理論上保持常量。內燃機車的动輪輪周功率 P_k 等于

$$P_k = \frac{F_k v \times 1,000}{60 \times 60 \times 75 \times 1.36} = \frac{F_k v}{367.2} \text{ 仟瓦。} \quad (42)$$

但是, 內燃機車輪周功率 P_k 总是比柴油机功率 P_∂ 来得小, 功率減小之值为輔助机构所耗用的功率 P_{gen} 以及电机和傳动裝置中所損耗的功率, 在考虑后一种功率損耗时, 可以利用效率 η_{kz} 于是,

$$P_k = P_\partial \eta_{kz} - P_{gen}. \quad (43)$$

当运行速度改变时, P_{gen} 和 η_{kz} 的变化范围非常狭小, 因此, 在柴油机功率恒定

的条件下，

和

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \text{常量} \\ F_x v &= \text{常量} \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

因此，牽引力 F_x 與內燃機車運行速度 v 的關係（即所謂牽引特性）可以用等軸雙曲線來表示（圖306）。

在這種情況下，最大牽引力 F_{max} 將受到黏着重量 P_c 和輪軌間黏着係數 ψ 的限制，所謂黏着重量就是分配到各動輪輪對上的重量。

倘 P_c 是以噸表示的話，則牽引力的最大值可根據下式求得：

$$F_{max} = 1000 P_c \psi \text{ 公斤。} \quad (45)$$

公式 (45) 中的黏着係數 ψ 與許多因素有關，這些因素是：鋼軌表面和輪箍表面的狀態，內燃機車的運行速度，牽引電動機的佈置等等。對內燃機車來說，黏着係數的數值在 0.2~0.25 的範圍中變化，倘在動輪下面撒以干砂的話，黏着係數之值還可以增高 15~20%。

至於內燃機車的最大速度 v_m 則受到構造速度的限制，構造速度是根據內燃機車各部分的強度決定的。

求得了內燃機車的輪周功率 P_x 以後，我們將求出牽引電動機所需要的功率 $P_{\partial e}$ 。

這個功率可根據下列公式求得：

$$P_{\partial e} = \frac{F_x v}{367 \cdot 2} \cdot \frac{1}{\eta_{\partial e} \eta_{n_1}} \text{ 仟瓦，} \quad (46)$$

式中 $\eta_{\partial e}$ ——牽引電動機的效率；

η_{n_1} ——由牽引電動機至動軸的驅動裝置的效率。

另一方面，牽引電動機的功率是從發電機那里獲得的，因此這個功率為

$$P_{\partial e} \approx P_e = I_e U_e \cdot 10^{-3} \text{ 仟瓦，} \quad (47)$$

式中 I_e ——電動機或發電機的電流（安）；

U_e ——發電機的端電壓（伏）。

從發電機至各電動機的供電電纜中的電壓損失略去不計。

根據 (46) 和 (47) 式，並考慮到 (44) 式的條件，於是可得出結論，即：發電機功率應該是常量，因此，

$$I_e U_e = \text{常量。} \quad (48)$$

因此，當發電機負載電流改變時，其端電壓應該與電流成反比例地改變，也就是，發電機的外特性曲線 $U_e = f(I_e)$ 應該具有等軸雙曲線的形狀（參看圖306）。

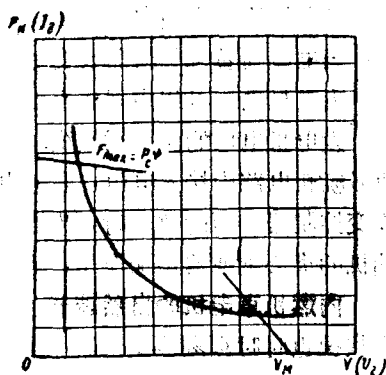


圖306 電力傳動的內燃機車的牽引特性曲線

发电机的电流决定于外载荷，而外载荷又与列车的运行阻力有关。因此，实际上，当电流随着外载荷而改变时，要满足条件(48)就必须调节发电机的电压。

发电机电压可以由司机人工地调节，这种调节方法应用在第一批苏联内燃机车上。发电机电压的调节用改变激磁电流的方法来进行。为此，在发电机和激磁机的他激绕组电路中接入电阻，各级电阻可以用适当的控制器的各触指来闭合。当司机改变控制器手柄的位置时，发电机电压也随之改变。司机操纵柴油机的办法是对柴油机的离心调速器施加作用，也就是用改变给定的轴转速的办法来进行操纵。

内燃机车电机的自然调节。 线路縱断面通常经常变化，因此，内燃机车的工作状况也时时刻刻地变化着。司机应该经常注意测量仪表的指示，调节柴油机的供油量和主发电机的电压，以适应于线路縱断面的变化。用这种办法来保证获得运行所必需的功率，并且不使柴油机过载。可见，列车的正确运行在很大程度上与司机的技术有关。

为了使发电机功率调节这个问题容易化，为了减轻司机的劳动、不使柴油机过载，以及保证内燃机车各机器正常工作起见，採用了发动机和电机的自动调节系统。

电机的自动调节可以用自然调节或用特殊的发电机调节器来达到。也有採用联合调节系统的，这时，各电机的特性曲线保证自然调节，另外，还附加了旨在提高柴油机功率利用率的调节器。

内燃机车电机自然调节的实质就是：在内燃机车各种运行速度时，电机的特性曲线能保证在电流改变时用相应地改变电压的方法来使主发电机自动建立和维持恒定功率。这一点可以靠改变发电机的激磁磁通来达到。

实际上，内燃机车电机的自然调节可以用下列各种方法来实现：

1. 用差复激绕组来调节他激发电机的磁通。差复激绕组由发电机本身供电(图307)，它被布置在供电给牵引电动机 M 的发电机 G 的主极上。激磁机 B 只有並激绕组 σ 。差复激绕组磁通的方向与他激绕组磁通的方向相反。

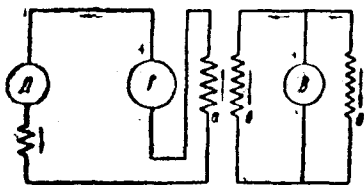


图307 差复激发电机的调节简图

因此，当牵引力 F_x 增大时，也就是当电路中的电流增大时，差复激绕组 a 将使他激绕组 σ 去磁，由于这个缘故，在我们所讨论的差复激发电机的电枢中，产生较小的电动势，因而发电机端电压也减小了。但这时发电机功率 $P_e (=I_e U_e)$ 並不精确地保持恒定。

为了改善发电机的特性曲线，必须对发电机磁系统选择一定的饱和度。当发电机磁系统的饱和度低时，他激磁通 Φ_k 和差复激磁通 Φ_c 几乎是精确的代数差，因而总的激磁磁通 Φ 等於

$$\Phi \approx \Phi_k - \Phi_c \approx \frac{0.4\pi(I_k W_k - I_c W_c)}{R_m} \approx \frac{0.4\pi(I_k W_k - I_c W_c)}{\mu S_m} \quad (49)$$

式中 I_a 和 I_c ——發電機他激繞組和差復激繞組的激磁電流 (安)；

W_a 和 W_c ——這些繞組的匝數；

l_m ——磁導體長度 (公分)；

S_m ——磁導體橫截面面積 (公分²)；

μ ——介質的導磁係數。

因為在磁飽和度低的時候，磁導體的磁阻與激磁的安培匝數關係不大，所以激磁磁通 Φ_a 和 Φ_c 幾乎分別與安培匝數 $I_a W_a$ 和 $I_c W_c$ 成正比。

對應於總磁通 Φ 的發電機端電壓 U_a 等於他激繞組和差復激繞組所造成的電壓 U_a 和 U_c 之差，即：

$$U_a = U_a - U_c.$$

從圖 308 中 (曲線 1) 看出：由於上述磁通 Φ_a 和 Φ_c 相互作用的結果，磁飽和度低的差復激發電機的外特性曲線不是等軸雙曲線，因而當發電機負載電流改變時，並不能保證其必需的功率恆定性。

反轉來，當發電機磁系統為飽和時，安培匝數之差仍照舊，但總磁通

$$\Phi = \frac{0.4\pi(I_a W_a - I_c W_c)}{R_m} \quad (50)$$

則幾乎為常量，這是因為在過飽和範圍內，磁阻 R_m 幾乎與安培匝數的總和成正比地改變的緣故。

當電流 I_c 增加時，安培匝數的總和 $I_a W_a - I_c W_c$ 減小，系統開始變成不飽和，於是，總磁通 Φ 及電壓 U_a 都隨着減小。這種情況下的發電機外特性曲線將如曲線 2 所示。

這種外特性曲線在負載電流改變時也不能完全精確地滿足發電機功率恆定的這個條件，但是，這根曲線在負載電流開始減小時能使功率比較迅速地增大，這是因為電壓增加得比曲線 1 來得快的緣故。

但是，在磁系統過飽和的發電機中，磁極繞組中的功率損失增大，因而降低了發電機的效率。

為了避免這種情況，可以把差復激繞組不繞在主發電機的磁極上，而繞在該發電機的激磁機的磁極上。

2. 用接在主發電機 I 電路中的差復激繞組 a 來調節激磁機 B 的激磁磁通 (圖 309)。當牽引電動機 M 所消耗的電流增加時，差復激繞組使激磁機 B 的並激繞組 B 去磁，因而減小了送到發電機他激繞組 B 中去的激磁電流。發電機的端電壓也隨着降低。但是它的外特性曲線大致與通常差復激發電機的 (圖 308 中的曲線 1) 相同。為了使這根特性曲線在負載電流改變時接近於實現發電機功率恆定的這個條件，把差復激激磁機做成帶有所謂分裂極，並且通常採用並聯繞組的他激磁。

這種激磁機的每個主磁極由兩部分 (1 和 2) 構成 (圖 310)。他激繞組 H 包圍住磁極的兩部分，而差復激繞組 I 只繞在磁極的某一部分 2 上。

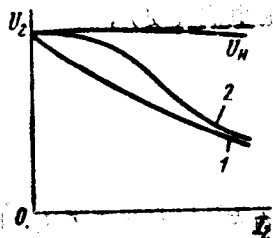


圖308 發電機的外特性曲線

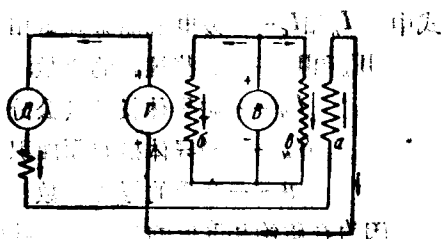


圖309 具有差復激激磁機的發電機的自然調節簡圖

当差复激繞組中没有电流时，靠他激电流的作用使磁系統过飽和，因此在开始时，差复激繞組中电流增大並不使总磁通减小，激磁机的电压也几乎不变，所以主发电机的激磁电流以及主发电机的端电压 U_2 也几乎不变（图311）。

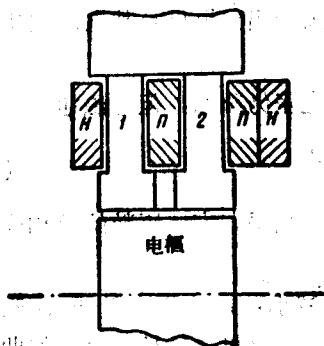


圖310 激磁機的分裂極

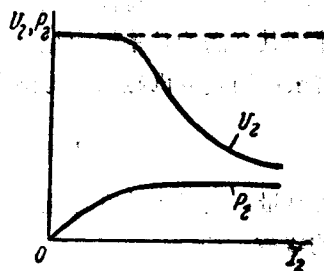


圖311 具有差復激激磁機（有分裂極）的發電機的外特性曲線

随着繞組II中电流的增加，磁極的部分2逐渐去磁，因而发电机电压 U_2 降低。当这个繞組中的电流为某一值时，磁極的部分2完全去磁，而当电流繼續增加时，磁極开始产生相反方向的磁通，並重新逐渐地飽和，随着飽和度的增加，发电机电压 U_2 的降落越来越慢，当繞組中电流大的时候，电压 U_2 接近于某一个恒定的数值。

在这种情况下，发电机的外特性曲線能够在較大的負載（工作）电流变化范圍中足够精确地滿足发电机电功率 P_2 恒定的条件（图311）。在激磁机中採用差复激繞組后，能减少激磁系統中的功率損失，因为激磁机中的安培匝数要比主发电机直接激磁时所需的安培匝数小得多。

在內燃机車运行速度增加的过程中，牵引电动机的反电动势由于电动机電樑轉速的增加而增大；电动机所消耗的电流减小，因而也連帶到发电机的电流减小，激磁机差复激繞組中的电流也减小，而发电机的电压 U_2 則增加。这样，它的功率 P_2 仍旧保持恒定。

但是，在內燃机車的某一个运行速度时，发电机的电压达到极限值。

当負載电流繼續减小时，发电机电压 U_2 仍旧保持恒定，因此，功率 P_2 开始降低。

(圖311中的曲線 P_2)。牽引力開始受到電壓的限制，換句話說，受到激磁的限制。倘牽引力的這個限制，發生在內燃機車運轉時所採用的運行速度範圍中的話，則這個限制是極端不良的現象，因為它會使柴油機的功率不能充分被利用。

可以用下列方法來消除牽引力受電壓的限制，或把這個限制移到工作範圍之外：

倘發電機的磁系統不飽和，則用加強激磁的辦法，來增大主發電機電壓的極限，或者當磁系統飽和時，則用增大磁路橫剖面的辦法來增大電壓極限。在這兩種情況下，必須相應地加強電機的絕緣。

將牽引電動機在主電路中的接線圖改變。電動機可以串聯、並聯和串並聯（混合接線）。

當相同的 k 台電動機串聯時，則通過其中每一台的電流是發電機電流 I_z ，而每

台電動機的電壓 $U_{\partial\partial}$ 將等於發電機電壓 U_z 的 $\frac{1}{k}$ [公式(33)]：

$$U_{\partial\partial} = \frac{U_z}{k}。$$

當同樣的這些電動機並聯時，它們中間的每一台將在發電機的額定電壓 U_z 下工作，而每一台電動機的電流 $I_{\partial\partial}$ 將等於發電機額定電流的 $\frac{1}{k}$ ：

$$I_{\partial\partial} = \frac{I_z}{k}。 \quad (51)$$

串並聯時， k 台電動機分成 m 組，同時 m 組彼此間並聯，而每組中的各電動機則串聯，在這種情況下，每一台電動機中的電流等於

$$I_{\partial\partial} = \frac{I_z}{m}， \quad (52)$$

而每台電動機的電壓為

$$U_{\partial\partial} = \frac{U_z}{k} = \frac{mU_z}{k}。 \quad (53)$$

如果 m 組電動機串聯，而每組內部的各電動機並聯，則每台電動機的電流等於：

$$I_{\partial\partial} = \frac{mI_z}{k}， \quad (54)$$

而電壓

$$U_{\partial\partial} = \frac{U_z}{m}。 \quad (55)$$

在內燃機車起動期間，為了獲得最大的牽引力，各牽引電動機被串聯起來，因此， $I_{\partial\partial} = I_z$ 。隨着運行速度的增高，牽引力減小（參看圖306），並引起電動機電流 $I_{\partial\partial}$ 和發電機電流 I_z 減小。當電流 I_z 的數值小時，牽引力便開始受到電壓的限制。

对应于电压限制的开始有一个运行速度，如果在这个速度时，把电动机换接成串并联，则每台电动机的电流 $I_{\partial\partial}$ 之值仍旧像过去那样大小的话，发电机电流将增大到 m 倍，也就是 $I_g = mI_{\partial\partial}$ ，同时，发电机的工作状况将符合于功率恒定的那一段曲线（参看图311，曲线 P_g ）。

当运行速度继续提高以及电流 $I_{\partial\partial}$ 和 I_g 继续减小时，可以把电动机换接成并联，因而再一次推迟电压的限制；

削弱牵引电动机的激磁磁场，这可以用平行于电动机的激磁绕组接入分路电阻的办法来达到（图312，a）。

用符号 r_c 代表串激绕组的电阻， r_m 代表分路的电阻，于是根据欧姆定律，激磁电流 I_e 等于

$$I_e = \frac{U}{r_c}, \quad (56)$$

而分路中的电流

$$I_m = \frac{U}{r_m}, \quad (57)$$

式中 U ——在由激磁绕组和分路所组成的这段电路中的电压降。

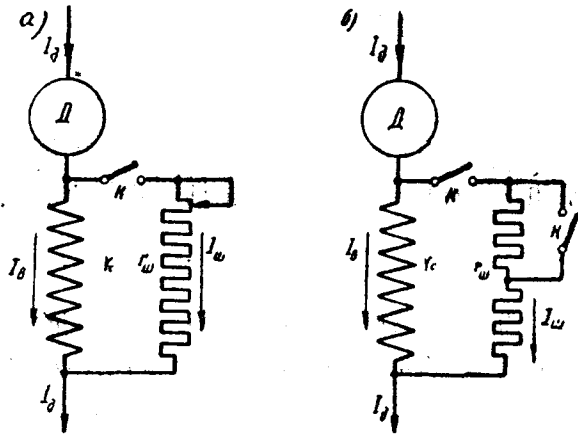


图312 串激电动机激磁分路简图：

a——级分路， b——两级分路。

送到电动机去的总电流 $I_{\partial\partial}$ 等于电流 I_e 与 I_m 的和，也就是：

$$I_{\partial\partial} = I_e + I_m = U \left(\frac{1}{r_c} + \frac{1}{r_m} \right), \quad (58)$$

由上式得：

$$U = \frac{I_{\partial\partial}}{\frac{1}{r_c} + \frac{1}{r_m}} = I_{\partial\partial} \frac{r_c r_m}{r_c + r_m}. \quad (59)$$

于是激磁电流

$$I_e = \frac{U}{r_c} = \frac{I_{\partial\partial} \frac{r_c r_m}{r_c + r_m}}{r_c} = I_{\partial\partial} \frac{r_m}{r_c + r_m} = \alpha I_{\partial\partial}, \quad (60)$$

式中 $\alpha = \frac{r_m}{r_c + r_m}$ ——电动机激磁磁场削弱系数，这个系数总是小于1（因为 $\frac{r_m}{r_c + r_m} < 1$ ），也可以乘上100后用百分数来表示。

系数 α 与分路电阻的大小有关，改变分路电阻，就可以调节 α 的大小。

此外，也可以把各段分路电阻短接，以便分若干级来削弱电动机的激磁磁场（图312，b），在调节范围已经给定的情况下，削弱级的数目可以根据电流和牵引

力在從一級轉到另一級時的容許波動情況來決定。

當發電機功率恆定時，電動機靠激磁繞組加分路的辦法來使其電流的改變大致與磁通成反比。牽引電動機激磁的削弱使發電機電流 I_g 相應地增加。用這種方法，可以在運行速度一直增加到使電流 I_g 減小到對應於電壓限制開始時的那個值之前，不受電壓的限制。採用第二級電動機磁場削弱時，可使這個限制再一次的推遲，因而發電機有可能在恆定功率的狀況下工作。

3. 發電機的双曲綫特性曲綫能借助於電機放大器和電磁放大器來獲得。但是這些電路圖現在還只是試驗性的。

§4. 發電機双曲綫型特性曲綫的圖解獲得法

為了獲得他激發電機的双曲綫形狀的外特性曲綫 $U_g = f(I_g)$ ，必須具有適當的、激磁機電壓 U_g 與發電機電流 I_g 的關係曲綫，也就是 $U_g = f(I_g)$ 。我們現在用下列圖解法來作出這條曲綫。

在象限Ⅰ中（圖313），橫坐標軸表示發電機電流 I_g ，而縱坐標軸表示發電機端電壓 U_g ，我們在這個象限中畫上需要的、双曲綫形狀的發電機外特性曲綫 $U_g = f(I_g)$ 。

在象限Ⅱ中，由坐標軸原點向左的橫坐標軸表示發電機的安培匝數 AW_g ，我們在這個象限中畫上發電機的負載特性曲綫 $U_g = f(AW_g)$ 。發電機双曲綫特性曲綫上的 a 、 b 、 c 、 d 、 e 各點分別對應於電流 I_{g3} 、 I_{g1} 、 I_{g2} 等等，通過這些點作水平直綫，它們分別與負載特性曲綫相交於 a_1 、 b_1 、 c_1 、 d_1 、 e_1 等點，根據這些點來求得必需的發電機安培匝數 AW_g 的大小。

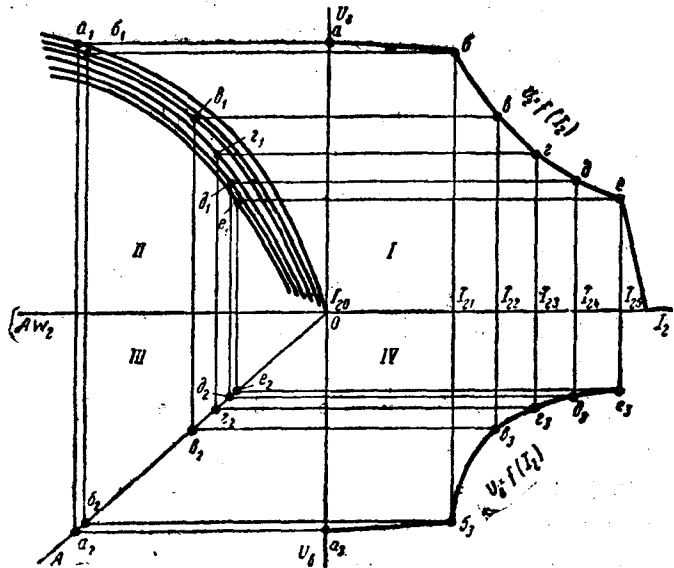


圖313 電機自然調節的圖解計算

在象限Ⅲ中，縱坐標軸表示加到發電機他激繞組上的激磁機電壓 U_g ，同時，

$$U_g = I_g r_n = r_n \frac{AW_g}{W_n}, \quad (61)$$

式中 I_g —— 發電機他激繞組中的激磁電流；

r_n —— 他激繞組的电阻；

W_n —— 他激繞組的匝数。

所以，在电压 U_e 与安培匝数 AW_n 之間存在着比例关系，因此， $U_e = f(AW_n)$ 这个关系被画成通过坐标原点的直线 OA 。这根直线上的各点可决定对应的电压 U_e 的大小。

从象限 II 的 $a_1 \sim c_1$ 点分别作铅垂线，这些铅垂线与直线 OA 相交在 $a_2 \sim c_2$ 点，再从 $a_2 \sim c_2$ 点分别作水平线，它们与从象限 I 的 $a \sim c$ 点引出的铅垂线相交在 $a_3 \sim c_3$ 点。用一根平滑的曲线把 $a_3 \sim c_3$ 各点连接以后，我们就获得所求的关系曲线 $U_e = f(I_e)$ 。

在对应于曲线上 $c_3 \sim e_3$ 区段的负载电流变化范围中，电机的自然调节实际上保证得出接近于双曲线的发电机外特性曲线。

§5. 內燃機車自动操縱的原理电路圖

內燃機車电力传动装置的自动工作就是：在沒有人参加的情况下，传动装置本身能使內燃機車柴油机工况維持稳定，这种工况基本上与三种经常远不相同的特性曲线——柴油机的，主发电机的和牵引电动机的——有关。

此外，在需要降低速度运行时，譬如說，当列車启动时，电力传动装置应该保证能根据司机的意志来改变柴油机的功率。

在自动调节时，柴油机的功率可以靠电机的自然调节来实现在给定工况下近似恒定，这一点在§3中已經提到过。

但是，即使各机器的特性曲线选择得很好时，仍然发现柴油机的工况与给定的有某些偏差。

在內燃機車上规定了电机应能自然调节，又为了改善当机器繞組温度、輔助載荷等发生变化时的发动机功率的利用起見，还經常採用特殊的发电机电压调节器，以保证实现額外的调节。

带有级联激磁 (Каскадное возбуждение) 式发电机的线路图是所有採用在內燃機車上的电力传动原理线路图的基础，在这种线路图中，为了保证发电机功率恒定而进行的激磁电流的调节，並不直接在发电机的激磁电路中实现，而是在它的激磁系统中实现。

发电机激磁系统可以有各种各样的式样，因而出现了很多种不同的线路图，这些线路图各有它們自己的优缺点。任何一种线路图的工作质量主要决定于：传动装置牵引特性曲线接近于等軸双曲线的程度，也就是在內燃機車各种运行状况时接近柴油机滿載功率充分利用的程度；以及它的可靠性，运用和修理的简单性，成本和重量。

我們將研究一下許多苏联內燃機車和外国內燃機車的具体的自动操縱电路图。

A. 具有分裂磁式的复激激磁机的线路圖。主发电机 Γ 的他激繞組 $\mathcal{Q}$ (图314)