

中央人民政府高等教育部推薦  
中等技術學校教材試用本

# 電 機 學

中 冊

Л. М. ДИКОРЕВИЧ 著  
哈爾濱工業大學孔肯平等 合譯  
長春電力工業學校馬昭彥等



商 務 印 書 館

電

機

學 中 冊

計 劃 經 濟 大 學 編 者

中央人民政府高等教育部推薦  
中等技術學校教材試用本



電 機 學

И. М. 朴 德 羅 夫 斯 基 著  
哈爾濱工學院大學部等  
長春電力工業學校邢文第、馬昭彥等 合譯

商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯國立動力出版社( Государственное энергетическое издательство )出版的朴德羅夫斯基(Л. М. Пиотровский)所著“電機學”(Электрические машины)1952年版譯出。原書經蘇聯電氣工業部教育司審定為電機中等技術學校教學參考書。

本書俄文版包括六篇：一、直流電機；二、變壓器；三、同步電機；四、無換器式異步電機；五、換向器式異步電機；六、變流機器。中譯本分三冊出版，上冊包括直流電機；中冊包括第二和第三兩篇；下冊包括第四、第五、第六三篇。

中譯本直流電機部份係哈爾濱工業大學孔昌平等同志所譯，並經長春電力工業學校電機教研組和馬昭彥同志校對；變壓器部份由哈爾濱工業大學孔昌平等和長春電力工業學校邢文第、馬昭彥等同志合譯；其餘部份均為長春電力工業學校邢文第、馬昭彥兩同志所譯。

## 電 機 學

### 中 冊

哈爾濱工業大學孔昌平等合譯  
長春電力工業學校馬昭彥等

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版  
上海河南中路二一一號

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷  
(61471B)

1954年2月初版 版面字數181,000  
印數1—12,000 定價¥8,700

## 中央人民政府高等教育部推薦 中等技術學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國中等技術學校調整後的一項重大工作。在我國中等技術學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：  
‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯系實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地翻譯蘇聯中等技術學校的各科教材，並將繼續向全國推薦，作為現階段我國中等技術學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

# 中 册 目 錄

## 第二篇 變壓器

第十一章 變壓器的基本定義和構造原理	151
11-1 基本定義	151
11-2 變壓器的主要類型	152
11-3 額定值	153
11-4 變壓器的主要構造部分	153
第十二章 單相變壓器的空載狀態	160
12-1 變壓器工作的研究方法	160
12-2 單相變壓器的空載	160
12-3 基本關係	161
12-4 變壓器空載時的電勢方程式	164
12-5 變壓器空載時的向量圖	164
12-6 空載損失、鐵心損失	167
12-7 空載電流	169
12-8 變換係數	170
第十三章 變壓器的短路	171
13-1 運行短路和試驗短路、短路電壓	171
13-2 變壓器短路工作時的物理情況	172
13-3 變壓器在短路時的向量圖	175
13-4 變壓器的折算量	178
13-5 折算過的變壓器的短路向量圖	179
13-6 變壓器的替代電路圖、短路三角形	180
13-7 變壓器的短路試驗	183
第十四章 變壓器有負載時的工作	186
14-1 變壓器有負載時工作的物理情況	186

14-2	實際變壓器有負載時的工作	187
14-3	變壓器有負載時的簡化向量圖	189
14-4	變壓器的電壓變動	190
14-5	變壓器的效率	192
<b>第十五章</b>	<b>三相變壓器</b>	<b>195</b>
15-1	基本概念	195
15-2	三相變壓器的結綫	196
15-3	三相變壓器空載時的特性	200
15-4	三相變壓器在短路和有負載時的工作	204
15-5	變壓器在不對稱負載時的工作	205
<b>第十六章</b>	<b>變壓器的並聯運用</b>	<b>209</b>
16-1	變壓器並聯運用的條件	209
16-2	在變換係數不等時變壓器的並聯運用	210
16-3	在短路電壓不相等時變壓器的並聯運用	213
16-4	變壓器屬於同一結綫類型的條件	215
<b>第十七章</b>	<b>變壓器的過渡狀態</b>	<b>216</b>
17-1	過渡狀態的特徵	216
17-2	恆定導磁係數( $\mu = \text{常數}$ )的變壓器的空載投入電流	216
17-3	飽和變壓器的空載投入電流	218
17-4	短路過電流	219
17-5	變壓器的過電壓	220
17-6	在中點接地的變壓器的過渡過程	221
17-7	中點絕緣的變壓器的過渡過程	223
17-8	對變壓器過電壓的保護方法	223
<b>第十八章</b>	<b>特種變壓器</b>	<b>225</b>
18-1	自耦變壓器	225
18-2	鐵心損失長綫捲中的損失	226
18-3	自耦變壓器的缺點及其應用範圍	228
18-4	三綫捲變壓器	228
18-5	汞弧整流器用的變壓器	231
18-6	鉀接變壓器	232

18—7 表用互感器	233
18—8 變壓器的其他特殊型式	234
18—9 現代變壓器製造的發展道路	235

## 第三篇 同步電機

第十九章 有關同步電機的基本知識	237
19—1 同步電機的基本定義和作用原理、同步電機的类型和有關同步發電機的某些數據	237
19—2 汽輪發電機和水輪發電機的主要構造部分簡述	240
第二十章 同步電機的電勢和繞組	244
20—1 導論	244
20—2 有關電勢問題的研究方法	245
20—3 導體中的電勢	245
20—4 有關高次諧波的概念	247
20—5 交流繞組的基本元件	248
20—6 槽的形狀及其絕緣	249
第二十一章 單層全節距繞組及其電勢	251
21—1 全節距綫匝的電勢	251
21—2 單相全節距集中繞組(單層)	251
21—3 單相全節距分佈繞組(單層)	252
21—4 繞組的分佈對電勢高次諧波的影響	255
21—5 單相全節距繞組的安排	256
21—6 三相單層全節距繞組的原理圖	257
21—7 三相繞組結綫方式對電勢的大小和波形的影響	260
21—8 三相單層全節距繞組的實際綫路圖	262
第二十二章 短節距雙層繞組及其電勢	265
22—1 短節距綫匝的電勢	265
22—2 短節距繞組的電勢	266
22—3 數字實例	269
22—4 特殊情況的繞組	270

第二十三章 交流繞組的磁勢(M.F.C.)	272
23-1 定子磁勢及定子磁場	272
23-2 隱極電機中全節距繞圈的磁勢	273
23-3 在任一瞬時空氣隙任一點的繞圈磁勢	276
23-4 單相分佈繞組的磁勢	276
23-5 三相繞組的磁勢	277
第二十四章 同步電機的電樞反應	281
24-1 關於同步電機電樞反應的一般概念	281
24-2 三相電機中轉子和定子磁勢間的相互作用	281
24-3 同步發電機的電樞反應與負載特性的關係	282
24-4 在混合負載下的電樞反應	285
24-5 單相電機的電樞反應	285
24-6 漏磁感抗	287
第二十五章 同步發電機的向量圖和參數	289
25-1 在負載下的電壓變動	289
25-2 基本電勢向量圖	290
25-3 變換過的電勢向量圖	291
25-4 電壓變動 $\Delta U$ 的決定	292
25-5 電勢向量圖的分析	293
25-6 $x_d, x_q, x_{pc}$ 和 $k_{OK3}$ 的數值	299
25-7 簡化電勢向量圖	299
25-8 實用電勢向量圖	300
25-9 數字實例	301
第二十六章 同步發電機的特性曲綫	303
26-1 特性曲綫的種類	303
26-2 外部特性曲綫	303
26-3 調整特性曲綫	304
26-4 同步發電機的損失和效率	304
第二十七章 同步發電機的並聯運用	307
27-1 前言	307
27-2 單相發電機並聯投入的條件	307



27—3 三相發電機並聯投入的條件 .....	310
27—4 同步發電機的自整步投入法 .....	311
27—5 同步電機的電磁功率 .....	312
27—6 基本狀態 .....	314
27—7 在 $M =$ 變數和 $i_{\theta} =$ 常數的條件下的並聯運用 .....	314
27—8 整步功率 .....	317
27—9 發電機的過載能力、靜態穩定度與動態穩定度的概念 .....	318
27—10 同步發電機的附加電磁功率 .....	320
27—11 在 $M =$ 常數和 $i_{\theta} =$ 變數的條件下的並聯運用、 $U$ 形曲線 .....	323
27—12 同步發電機並聯運用時負載的轉移 .....	327
27—13 同步發電機並聯運用時的振盪 .....	327
<b>第二十八章 同步電機作為電動機和補償機工作 .....</b>	<b>330</b>
28—1 有關同步電動機的基本知識 .....	330
28—2 同步電動機構造上的特點 .....	330
28—3 同步電機的可逆原理 .....	331
28—4 同步電動機的電勢向量圖 .....	332
28—5 同步電動機的電磁功率 .....	333
28—6 在 $M =$ 常數和 $i_{\theta} =$ 變數的條件下電動機的工作、 $U$ 形特性曲線 .....	333
28—7 在 $M =$ 變數和 $i_{\theta} =$ 常數的條件下同步電動機的工作特性曲線 .....	335
28—8 反抗式同步電動機 .....	336
28—9 同步補償機 .....	338
28—10 基本數據 .....	340
<b>第二十九章 同步電機的突然短路 .....</b>	<b>341</b>
29—1 突然短路的定義和種類 .....	341
29—2 基本物理觀念、超導週路的概念 .....	341
29—3 三相短路電流 .....	343
29—4 過渡感抗和次過渡感抗 .....	351
29—5 三相突然短路電流的大小 .....	354

# 電機學

## 第二篇 變壓器

### 第十一章 變壓器的基本定義和構造原理

#### 11-1. 基本定義

變壓器乃是一種靜止的電磁器具，用以將一個——一次——交流系統變換為另一個——二次——交流系統，在一般情形中，二次交流系統具有另一種特性，特別是另一種電壓和另一種電流。

工程上常用的變壓器由：a) 鐵心及 b) 兩個或一般是幾個不作電氣聯系的綫捲所構成。

變壓器的工作原理，直接導源於電磁感應定律。為了明顯起見，假定在單相變壓器的鐵心上像圖 11-1 那樣裝上兩個綫捲 1 和 2（實際綫捲不是這樣裝法——見圖 11-2 和 11-12）。如果對某一綫捲，例如

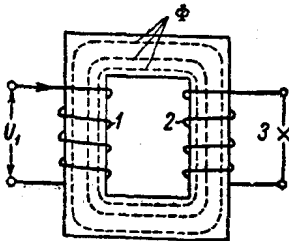


圖 11-1 變壓器的原理圖。

綫捲 1，施以交變電壓  $U_1$ ，則沿此綫捲產生交變電流，此電流在變壓器的鐵心中建立交變磁通  $\Phi$ ，穿過變壓器的兩個綫捲，從而使兩個綫捲發生電磁的耦合。磁通  $\Phi$  隨時間作週期變化時，在綫捲 1 中感應起自感電勢，在綫捲 2 中感應起互感電勢；如果綫捲 2 接上任意負載 3，則沿綫捲 2 和

負載 3 所形成的電路 2-3 中通過電流，這就把綫捲 1 所吸收的電能轉

換為負載 3 中被利用的電能。

在變壓器中，吸收交流能量的綫捲稱謂主繞組，輸出能量的綫捲稱謂副繞組。有關主繞組的各量，例如電功率、電流、阻抗等，根據綫捲的名稱，叫做一次量；而有關副繞組的叫做二次量。

如果變壓器裝有兩個綫捲——接到高壓網路的高壓綫捲 (BH) 和接到低壓網路的低壓綫捲 (HH)，那麼它就叫做兩壓綫變壓器。

容量相當大的變壓器有一種三綫捲變壓器，它有高壓 (BH) 中壓 (CH) 和低壓 (HH) 三個綫捲。

如果主繞組是高壓 (BH)，而副繞組是低壓 (HH)，那麼這種變壓器就叫做降壓變壓器，反過來就叫做昇壓變壓器。

依據電流的分類，變壓器有單相、三相和多相之別。所謂多相變壓器的綫捲就是許多單相綫捲聯結的總合。

綫捲上具有特殊的分接頭，用以改變主繞組副繞組間匝數比的變壓器，叫做帶分接頭的變壓器，只有一個分接頭 (基本接頭) 相當於額定電壓和額定電流值，這一分接頭特別記載於銘牌上。

爲了防止空氣對綫捲絕緣的不良影響，並改善變壓器的冷卻條件，把綫捲和鐵心一齊浸在充滿油的槽內。這種變壓器叫做油浸式變壓器。不浸在油裏的變壓器，叫做乾式變壓器。

## 11-2. 變壓器的主要類型

最常用的變壓器類型如下：

1. 電力變壓器——輸電配電用；
2. 自耦變壓器——在小範圍變換電壓時及起動交流電動機時用等等；
3. 感應調壓器——調整配電網路中的電壓用；
4. 表用互感器——將儀表接到系統上用；
5. 特殊用途的變壓器，如焊接用的、電爐用的、試驗用的、汞弧整

流器及燃流管用的、醫療用的等等。

由此可見，變壓器的應用範圍非常廣泛，因而變壓器的構造形式也是很多的。但是在所有情況中，決定變壓器運用的基本過程以及研究變壓器中所發生的各種現象的方法，在本質上都是相同的，所以今後談到變壓器時，我們所指的是它的基本類型，亦即單相和三相兩綫捲電力變壓器。

### 11-3. 額定值

變壓器的額定值——容量、電壓、電流、頻率等——都標明在銘牌上，銘牌應該裝在保護容易接近的地方。“額定”這一術語也可以應用於銘牌上沒有記載但與額定工作情況有關的那些數量上去，如額定效率、冷卻媒質的額定溫度條件等。

所謂變壓器的額定工作情況，就是變壓器銘牌上所指定的工作情況。

變壓器的額定容量，就是銘牌上所記載的二次端的功率，用仟伏安表示。

變壓器的額定一次電壓，就是銘牌上各個主繞組電壓值中所特別指定的一個電壓值。額定二次電壓就是當一次是額定電壓時的二次空載端電壓。

變壓器的額定電流——一次的和二次的——就是在變壓器銘牌上所記載的、也就是從變壓器綫捲相對應的額定電壓和額定容量所計算出來的電流值。在這裏應注意的是由於變壓器的效率很高（見 § 14-5），兩個綫捲的額定容量可以認為相等。例如三相變壓器的額定容量為  $P_N = 100$  仟伏安，額定一次電壓和二次電壓為

$$U_1/U_2 = 6000/230 \text{ 伏, 那麼}$$

$$I_{1N} = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_1} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6000} = 9.63 \text{ 安}$$

$$\text{而 } I_{2N} = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_2} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 230} = 251 \text{ 安}$$

額定頻率採用 50 赫。

### 11-4. 變壓器的主要構造部分

變壓器由下列主要部分組成：鐵心、綫捲、油槽（如果是油浸式變壓器）和絕緣套管。

A. 變壓器的鐵心。按鐵心型式分為：

- a) 內鐵變壓器，綫捲包圍着鐵心；  
 6) 外鐵變壓器，綫捲部分地被鐵心包圍。

單相及三相內鐵變壓器的簡圖如圖 11-2 和圖 11-3 所示。單相外鐵變壓器如圖 11-4 所示。圖中 C-C 是鐵梗，Я-Я 是上部和下部鐵軛，O-O 是綫捲。

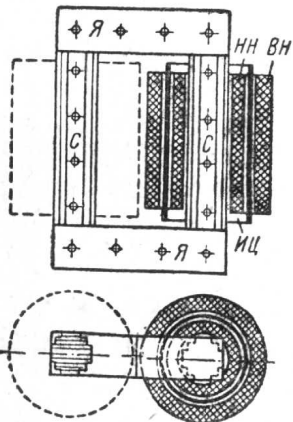


圖 11-2 單相內鐵變壓器的鐵心和綫捲。

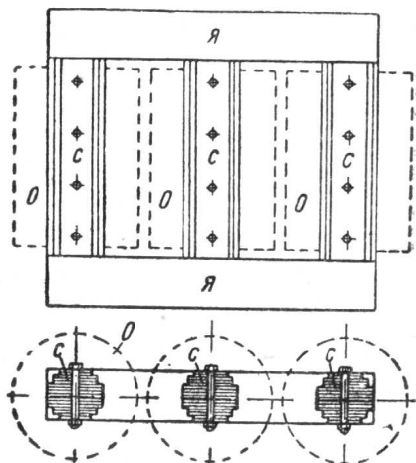


圖 11-3 三相內鐵變壓器的鐵心。

因為內鐵變壓器具有主要意義，故今後我們只着重這種型式的變壓器。

變壓器的鐵心用特種鋼片(即所謂變壓器鋼片)裝配而成。鋼片厚度為 0.5 毫米或 0.35 毫米，它的特點是有很高的含矽量(到 5%)。為了減少渦流損失，用厚度為 0.06-0.04 毫米的絕緣紙或絕緣漆將鋼片互相絕緣。

鐵心有兩種裝配方法——對裝和疊裝。第一種方法是先將鐵梗和鐵軛分別做好，然後用特種螺桿夾緊。在鐵梗和鐵軛間放置一層耐熱的絕緣墊片，以防止在鐵梗中所形成的渦流經過鐵軛閉路，或反之。

鐵心的第二種裝配方法是把鐵心鋼片裝成如圖 11-5 所示的框狀。現在第二種方法是主要的。

鐵梗的橫截面做成方形，更常見的是做成階梯狀的圓內接多角形(圖 11-6, a 和 б)。方形鐵心僅用於容量極小的變壓器，因為這種形狀的鐵心在圓內的地方利用的很不好。一般來講，變壓器的容量愈大，也就是外接圓的直徑愈大，則階梯數愈多。

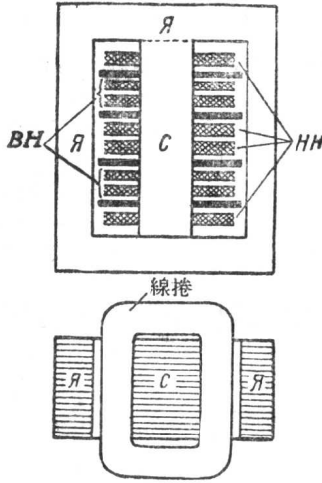


圖 11-4 外鐵變壓器的鐵心和綫捲。

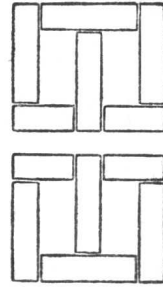


圖 11-5 疊裝鐵心。

在大容量變壓器的各層鋼片之間留有通道，其方向與鋼片的平面平行或垂直（圖 11-7, a 和 b）。圖 11-7, b 所示的構造可保證更好的散熱，但比前者複雜。

內鐵變壓器的鐵軛截面是方形或常常是階梯形的（圖 11-8, a, b 和 c）。為了減少變壓器的空載電流和鐵心損失，鐵軛的截面做得比鐵梗的截面大 5-15%。

Б. 變壓器的綫捲。按高壓(BH)低壓(HH)綫捲相互配置的關係分爲：

a) 同心綫捲。即對任何橫截面來說，綫捲都在同心圓的周圍上。同心綫捲的簡圖如圖 11-2

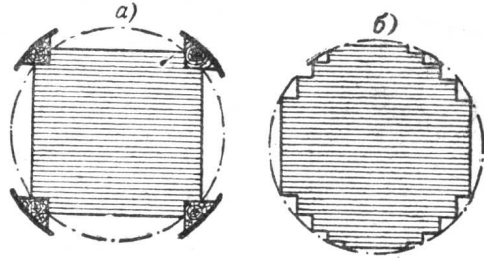


圖 11-6 鐵梗的截面形狀：a—方形；b—階梯形。

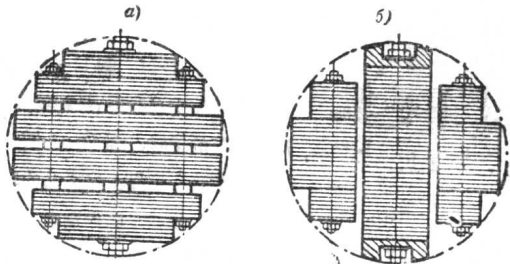


圖 11-7 帶通道的鐵梗：a—與鋼片的平面平行；b—與鋼片的平面垂直。

所示。通常把低壓綫捲靠鐵梗安裝，因為它容易對鐵梗絕緣。綫捲彼此間用電木紙或由特種厚紙板做成的絕緣圓筒(III)絕緣。

最簡單的同心綫捲是圓筒式綫捲，它用方銅綫或圓銅綫繞成螺旋狀的綫圈(圖11-9)。

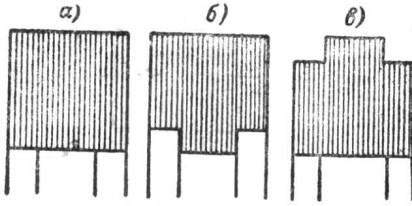


圖 11-8 鐵軛的截面形狀：a—方形；  
b 和 c—階梯形。

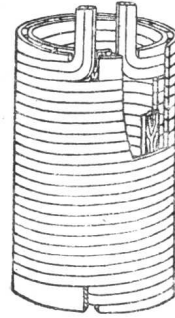


圖 11-9 圓筒  
形雙層低壓綫捲。

綫捲匝數很多而容量很小的變壓器，其綫捲做成許多分段，以使每段電壓不超過 600-750 伏。為了改善散熱條件（這在大容量變壓器是特別重要的），綫捲做成圓盤形的綫圈，各圓盤綫圈間留有 5-6 毫米寬的通道(圖 11-10)。如果綫捲每匝是由數根並聯導線組成，那麼為了使電流在導線中均勻分配，需將導線順次從一層到另一層進行换位。

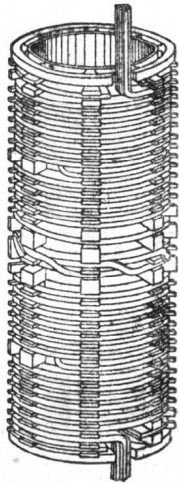


圖 11-10 同心圓盤形的低壓綫捲。

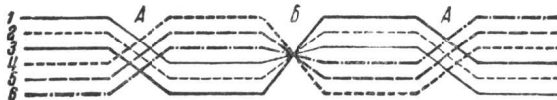


圖 11-11 圖 11-10 的綫羣换位法和中間换位法。

在高壓變壓器中，用絕緣柵板作為變壓器綫捲對鐵梗、鐵軛和綫捲彼此間的絕緣。圖 11-12 所示為一台 20000 仟伏安，110/6.6 仟伏，莫斯科變壓器工廠出品的三相變壓器的剖面圖。兩端的綫圈具有加強了的絕緣以防過電壓。

b) 交疊綫捲。在這種綫捲裏，高壓綫捲和低壓綫捲沿鐵梗高度輪番交疊放置；圖 11-4 所示的是這種綫捲的簡圖。在交疊放置

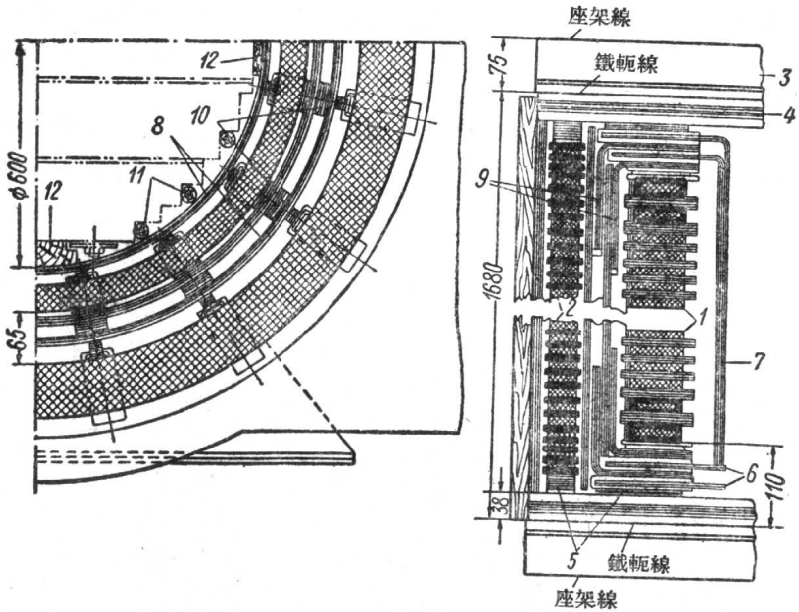


圖 11-12 三相變壓器的斷面。

1-高壓綫捲； 2-低壓綫捲； 3-均壓墊； 4-鐵軛絕緣； 5-壓環； 6-絕緣柵； 7-相間隔壁； 8-絕緣環； 9-絕緣角形墊板； 10-壓板楔； 11-木楔； 12-型造木楔。

高壓和低壓綫捲部分時，最好使低壓綫圈靠近鐵軛。交疊綫捲主要用於外鐵變壓器。

今後我們只着重同心綫捲，因為它具有主要意義。

B. 冷却。近代變壓器的構造，在很大的程度上以其冷却方式為轉移，根據冷却的特點，變壓器分為下列幾種：

- a) 乾式自然冷却式或乾式人工空氣冷却式；
- b) 油浸自然冷却式；
- b) 油浸人工空氣冷却油槽式(吹冷式)；
- г) 油浸人工油循環式，並在特殊冷却器中用自然(或人工)的空氣(或水)將油冷却。

乾式自然冷却式的變壓器的熱量，直接散到變壓器周圍的空氣中。因為空氣的導熱係數不大，所以乾式自然冷却式的變壓器，常常只作成小容量的，其電壓不超過6-10仟伏。

在現代具有重要意義的是油浸式變壓器，那就是變壓器本體或所謂“中身部分”(выемная часть)，是放在油槽裏面的變壓器。如果油受了熱，則在油槽內開始循環，這就保證了自然冷却。



爲了使熱油能夠自由膨脹，採取如下措施：容量在 100 仟伏安以內、電壓在 6.6 仟伏以下的變壓器，令油不充滿到油槽蓋。在發熱的時候，空氣從油槽內經由特殊閥門擠出；此閥門同時也可用來注入變壓器油。

其外的變壓器設有膨脹器，膨脹器多半用薄鋼片做成圓筒形，裝在變壓器的蓋上（圖 11-13），它的容量通常爲油槽內油量的 9-10%。在最低溫度時（變壓器自網路打開，寒冷的

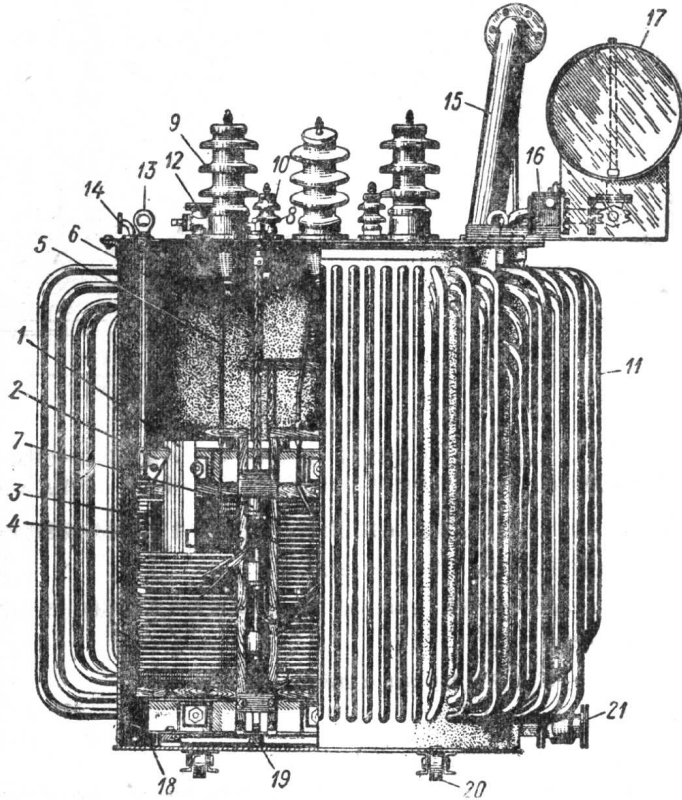


圖 11-13 管式油槽變壓器。

1-矽鋼片疊成的磁路； 2-壓軋橫樑； 3-低壓綫捲(HH)； 4-高壓綫捲(BH)； 5-高壓引出綫； 6-低壓引出綫； 7-高壓綫捲調整用分接頭的三重轉換開關； 8-轉換開關傳動器； 9-高壓套管； 10-低壓套管； 11-管式油槽； 12-注油閥； 13-本體吊環； 14-真空空氣接管； 15-放出管； 16-瓦斯繼電器； 17-膨脹器； 18-槽底支持角鐵； 19-夾緊壓軋橫樑的雙頭螺絲； 20-運輸滾子； 21-放油閥。