

基本館藏

~~138845~~
138945

苏联 Л. М. 史尼采尔著

变 压 器



电 力 工 業 出 版 社

304

变 压 器

苏联Л. М. 史尼采尔著

康 喆 路長柏譯

王 天 仁校訂

电 力 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書淺顯地敘述了變壓器的理論基礎。研究了變壓器的發熱現象及其有關的繞組絕緣陳老和變壓器負荷能力的問題。

本書適合電業中級技術人員和熟練技術工人參考。有中學文化水平就可以看懂。書中講述變壓器負荷能力的部分和附錄五，對設計和運行人員頗有參考價值。

Л.М.ШНИЦЕР

ТРАНСФОРМАТОРЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1950

變 壓 器

根據蘇聯國立動力出版社1950年莫斯科版翻譯

康 誌 路長柏譯 王天仁校訂

*

707D258

電力工業出版社出版(北京宣武門外大街中區(聯合館))

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

電力工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092¹/₃₂開本·6%印張·143千字·定價(第10類)0.95元

1957年12月北京第1版

1957年12月北京第1次印刷(0001—4,600冊)

第四版 序 言

本書的主要部分是敘述變壓器的理論基礎，和前几版的區別很少。對於這部分可以重述第一版的序言，就是：

本書是供社會主義勞動中的熟練工人、工長和技師們用的。

這本書不是“枯燥”地敘述應用於變壓器的一些電工定律的教科書；和教科書不同，本書分出較多的篇幅來敘述現象。

然而，它也不是一本讀完了以後使讀者通常對講題僅僅遺留些最一般的印象的“通俗”讀物。

作者用通俗的詞句簡明地說明了變壓器工作時所發生的主要物理現象的實質，並以簡單的數學公式和圖表來解釋這些物理現象。

僅僅將本書“讀完一遍”是不夠的，讀者應當徹底掌握本書的內容。

雖然本書比較淺顯，但仍然預計讀者已經熟悉了几何學（平面幾何學）、中等學校的代數學、三角函數——正弦（ $\sin$ ）、余弦（ $\cos$ ）和正切（ $\tan$ ）以及物理學中的歐姆定律和克希荷夫定律。

關於交變電流、交流電功率——有功功率和無功功率、交變量的有效值以及向量和向量圖等的概念在書中都根據需要暫時離開主題予以說明。

全文中，作者盡量敘述得能使讀者讀完一章以後“感覺

兴趣”并且乐于閱讀下一章，因为在下一章中有前一章末尾所提出的問題的解釋。

当然，作者还未能經常充分作到这点。

由于叙述上的不得已的冗長，因而在有限的篇幅內，本書的內容只能限于說明变压器在無負荷、对称負荷、短路以及成組的变压器和其它变压器并联运用时的穩定工作过程。

关于在正常工作和短路时变压器所受到的机械应力的問題也另成一章。

講述变压器構造的主要部件那一章，仍和第二版一样，并無更改。

关于变压器發热和冷却一章稍有修改。

同时本版也补充了一些計算短时較大(故障)过負荷和故障短路时繞組發热的有用公式。

第三版中有关絕緣的陈老、絕緣磨損計算以及变压器容許过負荷部分已大大地縮減了。在上一版中，为供工程师参考，曾用六章的篇幅来叙述这些問題，而根据問題叙述的性质，显然是大大地脱离了本書主要的內容。現在，預計把这些材料單写成一章，所以就有可能在这一版里把这些問題归併成一章，在內容方面，以符合全書叙述系統的形式，以便把一般知識和实用資料包括进去。

就在这一章里，由于考虑到許多电气安裝机关的宝贵意見，因而用了不多的篇幅來說明与电动机启动电流有关的容許短时过負荷的問題，这正是运行中一个帶有普遍性的問題。这章的內容在附录五中加以簡短的論証。

作 者

目 录

第四版序言	1
緒論：变压器在远距离輸送电能时的作用	6
第 一 章 变压器的工作原理	9
磁鉄和磁通。磁極間旋轉綫匝的感应电动势。电流所产生的磁通。穿过在兩極間旋轉的綫匝的磁通变化过程。磁通变化率。綫匝中感应电动势(Э.Д.С)的正弦形。週期和頻率。变压器。	
第 二 章 变压比	22
原繞組和副繞組。原电压和副电压。变压比。交变电压的大小是指什么而言？交变电压和交变电流的有效值。电压、磁通和匝数之間的关系。	
第 三 章 磁化电流	29
磁路的計算。磁化电流和磁化功率。鉄心的作用(导磁率)。磁通密度的选择。磁化电流的計算。数例。	
第 四 章 变压过程的圖示	44
变压过程中的五个基本量。这些量的变化曲线。	
第 五 章 向量圖	47
圖的一般概念。向量圖。	
第 六 章 变压器磁化过程的向量圖	50
第 七 章 磁滯迴环	51
磁通的落后。磁化电流的实际曲线和等值曲线	
第 八 章 相位差的物理意义及其作用	53
‘有功’和‘無功’功率。	

第九章 無負荷損失	60
磁滯損失。渦流損失。繞組中的熱損失。	
第十章 向量的加法	64
向量的幾何和以及幾何差	
第十一章 無負荷的完整向量圖	67
損失在向量圖上的反映。	
第十二章 變壓器在負荷時的運用	69
繞組的負荷電流。純電阻負荷時的向量圖。感性負荷時的向量圖。混合負荷時的向量圖。短路。	
第十三章 漏磁通	84
漏磁通和主磁通。	
第十四章 變壓器中的漏磁通	88
漏磁通以及它所感應的電動勢。	
第十五章 變壓器在負荷時工作的完整向量圖	90
非感性負荷的情況。混合負荷的情況。短路。	
第十六章 圓圖	97
負荷改變時變壓器功率的變化。	
第十七章 短路電壓	100
短路試驗和故障短路電流。	
第十八章 變壓器中的電壓變化	105
電壓降與 $\cos\varphi_2$ 的關係。電壓降的圖解確定法。	
第十九章 變壓器的效率及其試驗求法	110
計算求法和試驗求法	
第二十章 變壓器中的機械應力	112
正常運用和短路時的徑向和軸向應力。	
第二十一章 多相電流	117
二相以及三相電流的發生。星形和三角形的聯接。	
第二十二章 三相變壓器	125

第二十三章 变压器的構造	128
磁路。繞組。調节变压比的換接开关。引出綫。	
第二十四章 变压器的發热和冷却	135
变压器的發热过程。穩定發热。不穩定状态。变压器的 時間常数。溫昇的計算。冷却系統。关于發热的标准。	
第二十五章 变压器的絕緣陈老和負荷能力	155
寿命曲綫。关于变压器的負荷能力。負荷能力曲綫圖。 負荷曲綫未知时的容許过負荷。故障过負荷。与电动机 启动 电流有关的过負荷。	
第二十六章 变压器的并联运用	171
并联运用的必要性。并联运用的条件。繞組的联接組。	
附录1. $1 - e^{-\frac{t}{T}}$ 和 $e^{-\frac{t}{T}}$ 曲綫	191
附录2. 計算 $A = \left(\frac{1 + \alpha k^2}{1 + \alpha} \right)^{0.8}$	192
附录3. 連續負荷时, 油对于空气的溫昇曲綫以及銅对于油的 溫昇曲綫	193
附录4. 启动电流的容許倍数	195
附录5. 八度定則。相对磨損。負荷能力曲綫圖	198

緒 論

变压器在远距离輸送电能时的作用

当远距离輸送电能时，一部分电能不可避免地会以热的形式損失掉，这种热是因为电流使輸电綫导綫無益的發热而消耗了。当然，应该尽量把这些損失減少到可能达到的最小值。在現代电工技术的狀況下，这种在导綫中以比較小的損失作远距离的电能輸送，是完全有賴于变压器的应用才有可能。

不論是什么形式的能(机械能、热能或电能)，其能量是决定于下面两个因数：

(1) 运动着的水、蒸汽、电或其他能的携帶者的量；

(2) 这个能的携帶者在其移动的始点和終点状态的差，其中对于落下水的能以水位差(水头)表示，对于蒸汽能以压力差表示，对于电能則以电位差(电压)表示。

这两种因数可用相应的單位来測量：水和蒸汽量用千克来測量，而电量用庫倫或安培秒来測量。同样，水位差則用米来測量，压力差用大气压来測量，而电压則用伏特(伏)来測量。

上述两个因数的乘积就等于或比例于所輸送的能量。能量除以輸送該能量的時間，我們就得到單位時間(1秒)內所輸送的能量，称为設備的功率。譬如水力設備的功率以每秒千克米($\text{千克} \times \text{米/秒}$)表示，而电气設備的功率以每秒伏庫

或伏安表示，因为每秒中的庫倫数就是安培(a)，也就是每秒流过导綫横断面的电量的單位，或所謂电流强度的單位。

因为伏特对許多設備說来是个过小的單位，所以电压常用千伏来表示，而功率用千伏安表示：

1 千伏 = 1000 伏特、1 千伏安 = 1000 伏安。

很明显，在輸送同一功率的情况下，电压愈小則导綫中电流应当愈大，反之，电压愈大則电流愈小。因为导綫的發热是随着电流的增大而增加的，那么不消說，为了限制热損失，就需要在尽可能高的电压下来輸送电能。

同样也很明显：輸送的功率愈大和輸电綫愈長，电压也应当愈高。比方說，如果輸送 100 000 千伏安到 150 千米处，电压有 115 千伏就够了，那末，輸送 300 000 千伏安到 800—1000 千米处，就必须有 400 千伏左右的电压。

但是，安装在發电厂中的發电机(由于技术上的理由)是不可能制成有那样高的电压的。这就要用变压器来帮忙了。变压器是一种靜止的电器，也就是說它沒有任何轉动的或一般說来处于运动状态的部分，因此才能制成有足够高的电压。

变压器(变换器)設在發电厂中离發电机不远的地方。它从發电机接受較低的电压(發电机就是按这个电压制造的)，又把这个电压变换(变)成为所需要的較高的电压，而把这个电压輸送到輸电綫中去。这样的变压器叫作昇压变压器。

我們同样可以看出，在开始分配能量給用戶(作坊、工厂和住宅等)的輸电綫的末端，需要能把輸电綫的电压降低到 500、380、220 或 120 伏的变压器。电动机、电灯等就直接接到具有这样电压的綫路上，因为只有在这样比較低的电压下，才比較容易避免人們触电的危險。

变压器是俄国發明的。著名的俄国發明家电机工程师

П.Н. 亞勃羅契闊夫在 1876 年首次利用變壓器把電能分配到各個用戶之間，這些用戶就是當時技術上最完善的光源——“亞勃羅契闊夫燭”。另外一位優秀的俄國發明家 И. Ф. 烏沙庚獨自研究了用戶并聯時能量分配的系統，並且為此創制了單相變壓器。

偉大的俄國學者和發明家 М. О. 多利沃-多勃羅沃利斯基第一個應用了三相變壓器來遠距離輸送電能而在線路的兩端用變壓器來升高和降低電壓。

第一章 变压器的工作原理

变压器是怎样工作的呢？它怎样升高或者降低电压的呢？

为了回答这些问题，我们先用几句话来叙述一下主要的电磁现象。

1. 我们首先研究马蹄形磁铁(圖 1)。看不見的所謂感應綫从磁铁的北極 N 發出并进入了南極 S ，同时在磁铁的内部連續而形成閉合曲綫。

充滿在 N 極和 S 極之間的空間內的磁感應綫的总和称为磁通。

2. 若在磁铁的 N 極和 S 極間放置一个銅制的或一般說来金屬綫制的綫圈 $ACDB$ ，并使它繞 OO 軸旋轉(圖 2)，那么不难看出，被綫圈所包圍的感應綫的数目在綫圈旋轉时不断地变化。例如，当綫圈

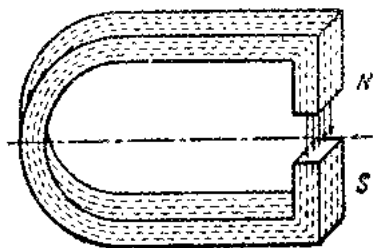


圖 1 馬蹄形磁鉄中的感應綫

位于与圖 2 所示位置一致的位置 a (圖 3) 时，从 N 極發出而进入 S 極的全部磁通綫，都从綫圈近旁穿过，並沒有穿入綫圈的廻路中。

在相当于綫圈轉过某一小角度的位置时，綫圈就已經包圍了一部分磁通綫。

在相当于綫圈轉了 90° 的位置 C 时，綫圈就包圍了全部

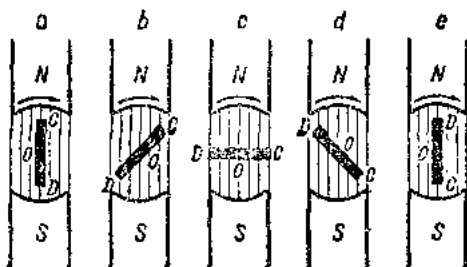
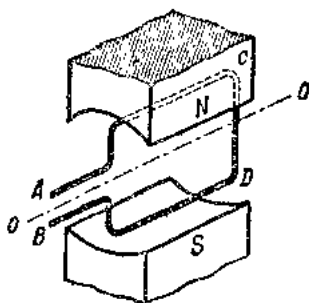


圖 2 和圖 3 繞圈在馬蹄形磁鐵的兩極間旋轉時，
穿過繞圈迴路的感應綫數的變化

磁通綫。

繞圈繼續旋轉，則穿過繞圈迴路的磁通綫數開始減少，
接着仍舊這樣地變化下去。

當繞圈旋轉時，也就是說，當通過繞圈迴路內的感應綫
數變化時，在導綫中就產生（或如人們所說，感應）了電動勢
（ $\mathcal{E}$ ， d ， c ），而在端子 A 和 B 之間（圖 2）便有了電壓。

磁通愈密和繞圈旋轉愈快，則端子 A 和 B 之間的電壓
就愈高。換句話說，每一單位時間（秒）內穿過繞圈迴路的磁
通綫數變化愈多，那末端子 A 和 B 之間的電壓也就愈高。
或再用另一種說法：在繞圈中的感應電動勢與穿過繞圈的磁
通的增長速率（正的或負的）成正比。這就是所謂 電磁感應

定律。

3. 如果已經知道磁通密度和旋轉速度，同時綫圈不是由一匝、而是由兩匝構成時（圖 4），那末 A 和 B 之間的電壓是單匝時的兩倍。如果綫圈由 n 匝組成，那末電壓將為單匝時的 n 倍。

4. 相反的現象：若在任何外界磁通以外的綫圈的端子 A 和 B 上接一任意電源電壓 E ，那末沿着綫圈將有電流流過，並且沿着綫圈導綫（圖 5）形成具有一定方向的圓形感應綫。若換接端子 A 和 B 與電源的連接法，也就是如果把 A 改接到 B_1 而把 B 改接到 A_1 ，那末綫圈中電流的方向以及圓形感應綫的方向都變得與其原來的方向相反。

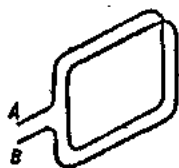


圖 4 在金屬綫圈的端子 A 和 B 間的感應電壓與綫圈的匝數成正比

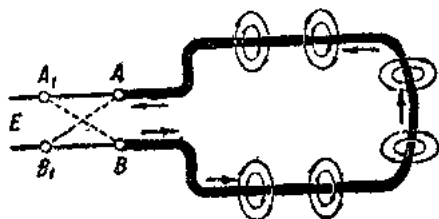


圖 5 綫圈周圍所產生的感應綫的方向隨着電流方向的改變而改變

5. 假如電壓 E 不是接到綫圈的端子 A 和 B 之間，而是接于由許多綫圈構成的長綫圈（圖 6）的端子 A 和 B 上，那末沿着綫圈流過電流，而因此形成的感應綫不是包圍每一個單獨匝而是一下子包圍全部綫圈。這樣一來，在綫圈的內部和周圍，我們得到和普通磁鐵（圖 6a）一樣的磁通。

6. 接到綫圈上的電壓愈高，那末流過綫圈的電流就愈大，同時磁通也就愈密，也就是感應綫愈多。

現在我們再回到放在 N 極和 S 極間的綫圈上來。

我們用 24 根彼此等距的感應綫來表示從 N 極出發的均

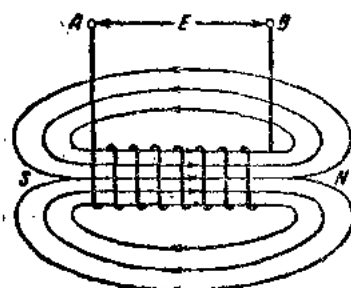


圖 6 电流流过长形多匝的线圈时，其中感应磁的方向

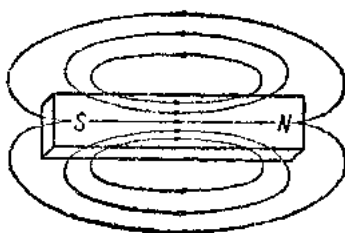


圖 6,a 磁鉄中感應磁的方向

匀磁通（圖 7）。线圈 CD （线圈 $ABCD$ 在圖 2 位置时的投影）順箭头所示方向以等速旋轉。在同样的时间（例如 1 秒）內，线圈經過距离 $Ca=ab=bc=cd$ 。当线圈 CD 位于垂直位置时，一根线也不穿过它。过了第一秒鐘以后，当导线 CD 位于位置 aa' 的时候，就有 $2 \times 5 = 10$ 根线穿过线圈，或者说有 5 根线穿过半个线圈。

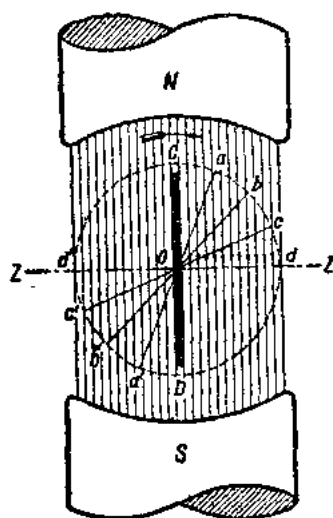
线圈繼續旋轉。在第二秒內它轉过的距离为 ab ，这时线圈將位于位置 bb' ，并且將有 2×9 根线穿过它。

到第三秒鐘末，线圈位于位置 cc' ，这时將有 2×11 根线穿过它。最后到第四秒鐘末，线圈处在位置 dd' ，在这瞬間，所有的 2×12 根线都將穿过这个线圈。

我們描述穿过线圈的磁通变化过程如下。

我們首先画两个互相垂直的 CX 和 CY 軸（圖 8）。沿着 CX 軸量出相当于圖 7 中弧线 Ca 、 ab 、 bc 和 cd 的相等的线段 Ca 、 ab 、 bc 和 cd 。

从 CX 軸上的 a 、 b 、 c 和 d 点画出和 CY 軸平行的线段 aa_1 、 bb_1 、 cc_1 和 dd_1 。这些线段的每一根的长度的毫米数恰好等于在相应位置上穿过半个线圈 CD 的感应磁数。也就



是： $aa_1=5$ 毫米； $bb_1=9$ 毫米； $cc_1=11$ 毫米和 $dd_1=12$ 毫米。現在我們把 C 、 a_1 、 b_1 、 c_1 和 d_1 點連接起來成為一條圓滑曲綫，就可以得到當綫匝

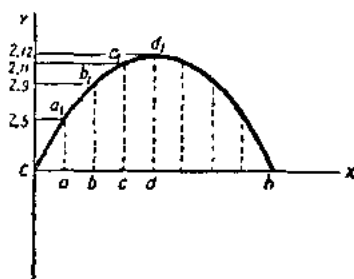


圖 7 和圖 8 綫匝旋轉半週時感應綫(磁通)數的变化

從位置 CD 轉到位置 dd_1 時(圖 7)穿過綫匝 CD 的磁通的所謂變化圖。

要是綫匝按同方向繼續旋轉(圖 7)，那末很容易看出，穿過綫匝的感應綫數開始減少：到第五秒鐘末，它減少到 2×11 根綫，第六秒末，減少到 2×9 根綫，第七秒末，減少到 2×5 根綫，最後到第八秒末，這時綫匝 CD 對於自己原来的位置來說已經扭轉了 180° (C 點和 D 點的位置對調)，這時綫匝又是一根感應綫也沒包圍。

與此相應，磁通進一步的變化在圖 8 中用與曲綫 Cd_1 對稱的曲綫 d_1h 來表示。

假設第八秒以後以同一速度繼續旋轉。顯而易見，到第十六秒末，也就是在第二個半週內，穿過綫匝的感應綫數的變化過程重複了第一個八秒內的程序，但不同的地方就是从

N 極發出而進入 S 極的感應綫，將穿過從其對面扭轉了 180° 以上的綫匝(圖 9)。

因此，第二個半週時期內磁通變化過程的圖形用和圖 8 相同的曲綫來表示的，只是這個曲綫畫在水平軸 CX 的下方。在綫匝旋轉一整週時間內，磁通變化的全部過程用圖 10 中的曲綫表示，這曲綫叫作正弦曲綫。

CX 軸叫作橫座標軸， CY 軸叫作縱座標軸，全曲綫的任何一點都由相當於該點的橫座標值和縱座標值決定。例如對曲綫的 a_1 點來說(圖 10)，其橫座標值等於 Ca ，而縱座標值等於 aa_1 ；同理 d_1 點的橫座標值等於 Cd ，而其縱座標值等於 dd_1 。

圖 10 中的曲綫叫作正弦曲綫，因為它的縱座標值是和旋轉綫匝(圖 7)的平面與感應綫的方向間所形成的夾角的正弦成比例而變化。

事實上，如果用 Φ 表示任何瞬間穿過綫匝的感應綫數，可得：

(1) 當綫匝平面和磁通垂直而所有的 24 根感應綫都穿過這綫匝平面的時候，

$$\Phi = 24 \sin 90^\circ = 24 \times 1 = 24.$$

(2) 當綫匝的平面和磁通間所形成的夾角等於 67.5° 的時候(位置 oc)，

$$\Phi = 24 \sin 67.5^\circ = 24 \times 0.924 = 22.$$

(3) 當角度等於 45° 的時候(位置 Ob)，

$$\Phi = 24 \sin 45^\circ = 24 \times 0.707 = 18.$$

(4) 當角度等於 22.5° 的時候(位置 Oa)，

$$\Phi = 24 \sin 22.5^\circ = 24 \times 0.383 = 10.$$

(5) 當綫匝 CD 的平面與感應綫的方向重合的時候，也