

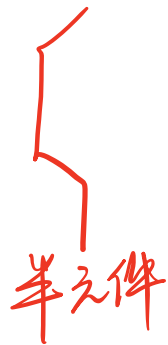
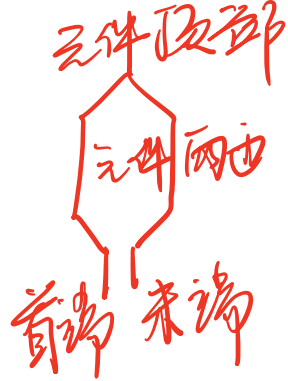


直流电机的电枢绕组

电枢绕组是直流电机的核心部分，在电机的机电能量转换过程中起着重要的作用。

因此，电枢绕组须满足以下**要求**：

在能通过规定的电流和产生足够的电动势前提下，尽可能节省有色金属和绝缘材料，并且要结构简单、运行可靠等。



· 极距: 相邻 2 磁极轴线 沿电极表面之间的距离

$$\tau = \pi D / 2p$$

圆周长

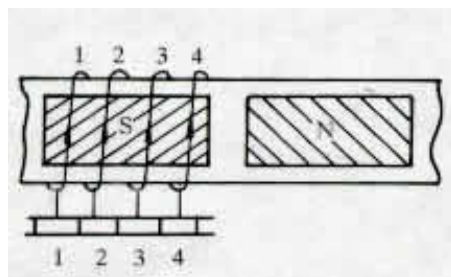
磁极数

p : 极对数

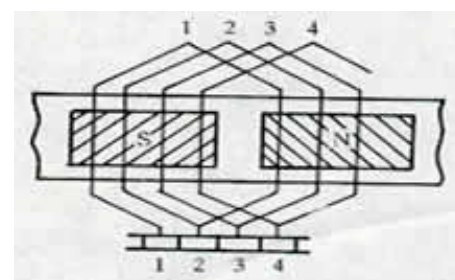
电枢绕组

主要分类

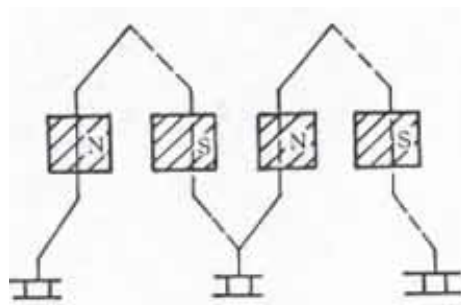
大的分类为环形和鼓形；环形绕组只曾在原始电机用过，由于容易理解故讲原理时也用此类绕组；现代直流电机均用鼓形绕组，它又分为叠绕组和波绕组。鼓形绕组比环形绕组制造容易，又节省导线，运行较可靠，经济性好，故现在均用鼓形绕



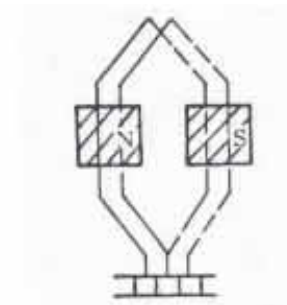
环形绕组示意图



鼓形绕组示意图



波绕组示意图



叠绕组示意图

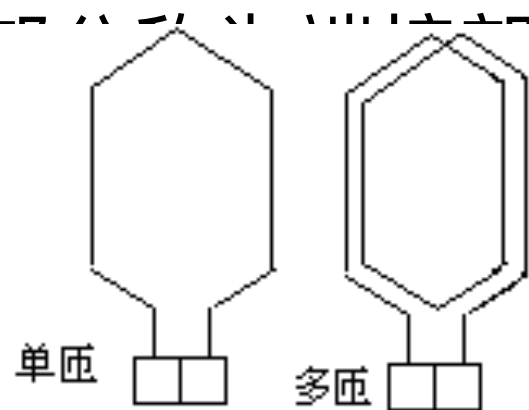
电枢绕组

一、电枢绕组的一般知识

对电枢绕组的基本要求是：在产生足够大的感应电动势（发电机）或电磁转矩（电动机）的前提下，消耗的有效材料少，机电强度高；结构简单、运行可靠。

1、电枢绕组元件

由绝缘导线绕制而成的线圈称绕组元件，每个元件有两个嵌放在电枢槽内、能与磁场作用产生转矩或电动势的边。元件的槽外部分，可认为是无用的。（元件的槽外部分里仅有一根导体）也可以是多匝的（一个元件边里有多根导体）。



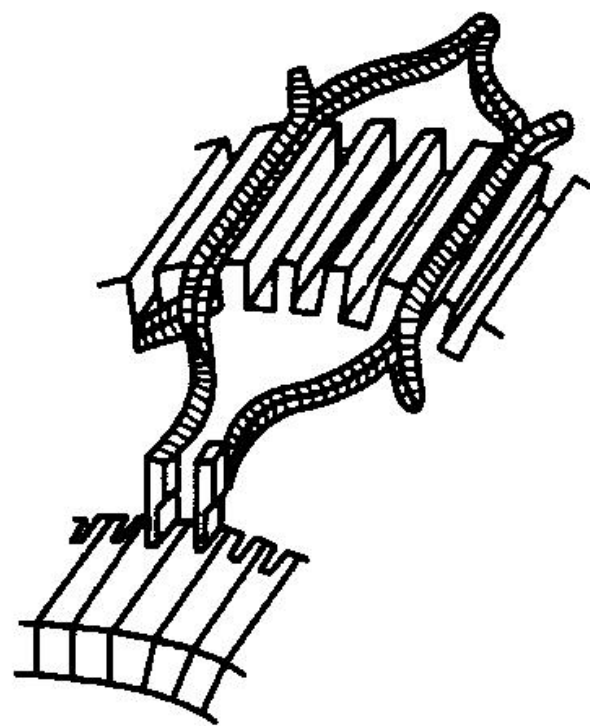
电枢绕组

为便于嵌线，每个元件的一个元件边嵌放在某一槽的上层，称为上层边；另一个元件边则嵌放在另一槽的下层，称为下层边。每个元件有两个出线端，称为首端和末端，均与换向片相连。如图·

2、电枢元件数 S 、换向片

数 K 及电枢槽数 Z 的关系

每个电枢元件分别接两个换向片，同时每个换向片又连接两个不同的元件，所以 $S=K$ ；而每个电枢槽分上下两层嵌放两个元件边，所以 $S=Z=K$ 。



电枢绕组

3、极对数 p 、极数 $2p$ 及极距 τ

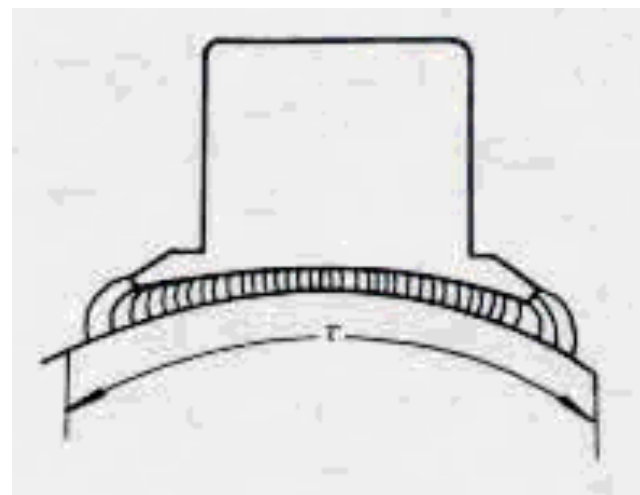
极对数指电机中主磁极的对数（N、S为一对），用 p 表示。极数为 $2p$ 。

极距用希腊字母 τ 表示，是指相邻两个异性极中心线之间的沿电枢表面之间的距离。用槽数表示时（不一定是整数）：

$$\tau = \frac{z}{2p} \quad (\text{槽})$$

槽数

极数



电枢绕组

二、绕组节距

第一节距(线圈节距) y_1

一个元件的两条有效边在电枢表面上所跨的距离称为第一节距，通常用槽数来表示。因为元件边置放在槽内，所以 y_1 必定是一个整数。为得到较大的感应电动势和电磁转矩， y_1 最好等于或者接近一个极距，故

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon \quad (\text{槽})$$

当 $y_1 = \tau$ 时，称为全距绕组；当 $y_1 < \tau$ 时，称为短距绕组；当 $y_1 > \tau$ 时，称为长距绕组。因为短距绕组接线短，省铜且有利于换向，故常被采用。

电枢绕组

合成节距 y

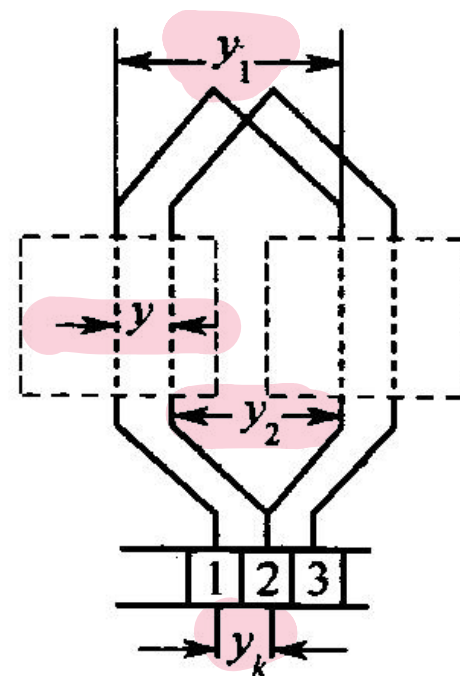
直接相连的两个元件对应元件边在电枢表面上的距离称为合成节距，通常用槽数来表示。

换向器节距 y_k

每个元件首末两端所连的两个换向片在换向器表面上的距离。通常用所跨的换向片数来表示。 $y=y_k$ 。

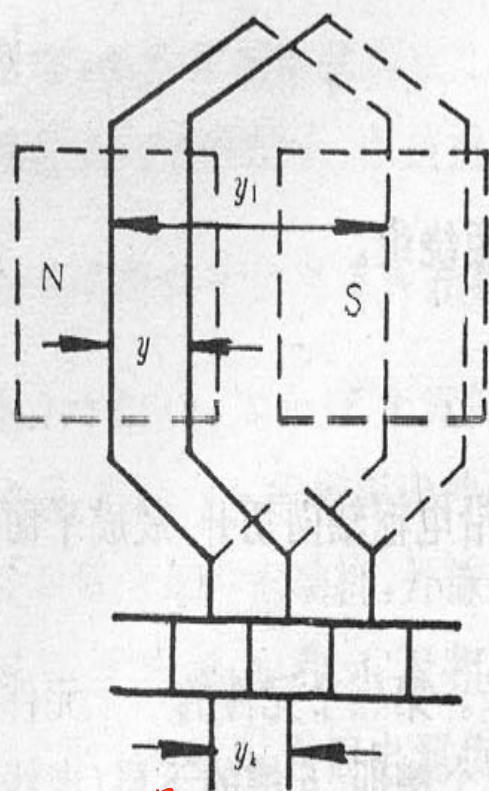
第二节距 y_2

第一个元件的下层边与直接相连的第二个元件的上层边之间在电枢圆周上的距离，用槽数表示。

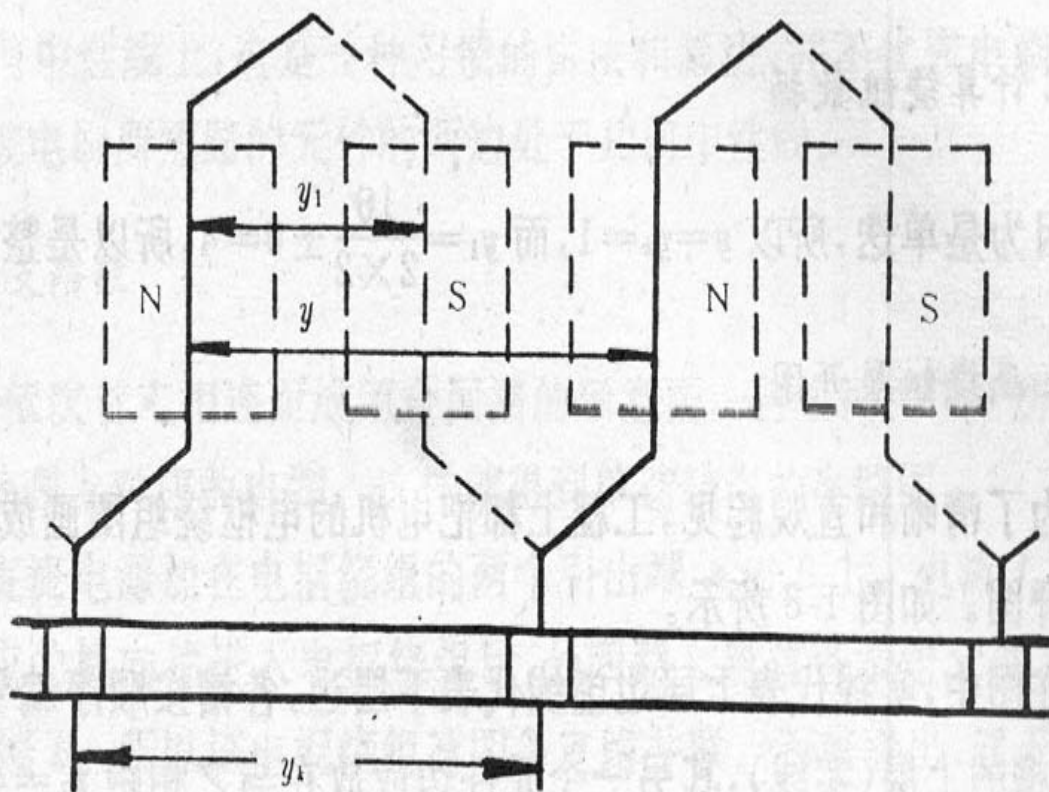


绕组类型

单波绕组，单叠绕组，复波绕组，复叠绕组，复合绕组



(a) 单波绕组元件



(b) 单波绕组元件

电枢绕组

三、单叠绕组

单叠绕组的同一元件首末两端分别与相邻两换向片相接，第一只元件的末端与第二只元件的首端接在同一换向片上。两只相互串联的元件总是后一只紧叠在前一只上面，故称为叠绕组。在单叠绕组中，绕组元件数 S ，槽数 z 和换向片数 k 相等。

下面以 $Z = S = K = 16$ ， $2P = 4$ 为例说明单叠绕组的连接规律和特点：

1、绕组数据计算 $y_1 = \frac{Z}{2P} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} \pm 0 = 4$ 为整距绕组；

$$y = y_k = 1$$

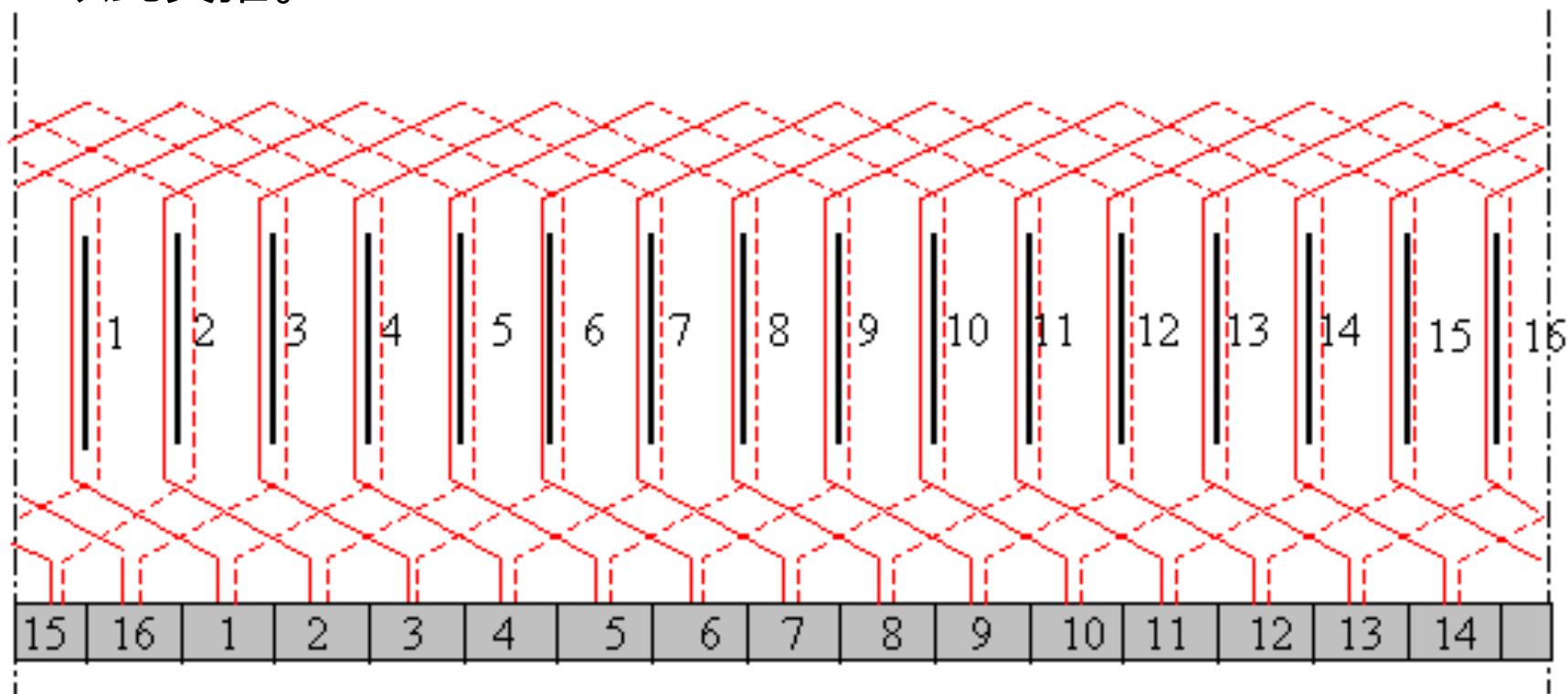
电枢绕组

(2) 绕组放置

元件1：上元件边放在1槽，下元件边放在相距 $y_1=4$ 即5槽下层。

元件2：上元件边放在2槽，下元件边放在相距 $y_1=4$ 即6槽下层。

以此类推。



电枢绕组

(3) 某一瞬间磁极、电刷放置

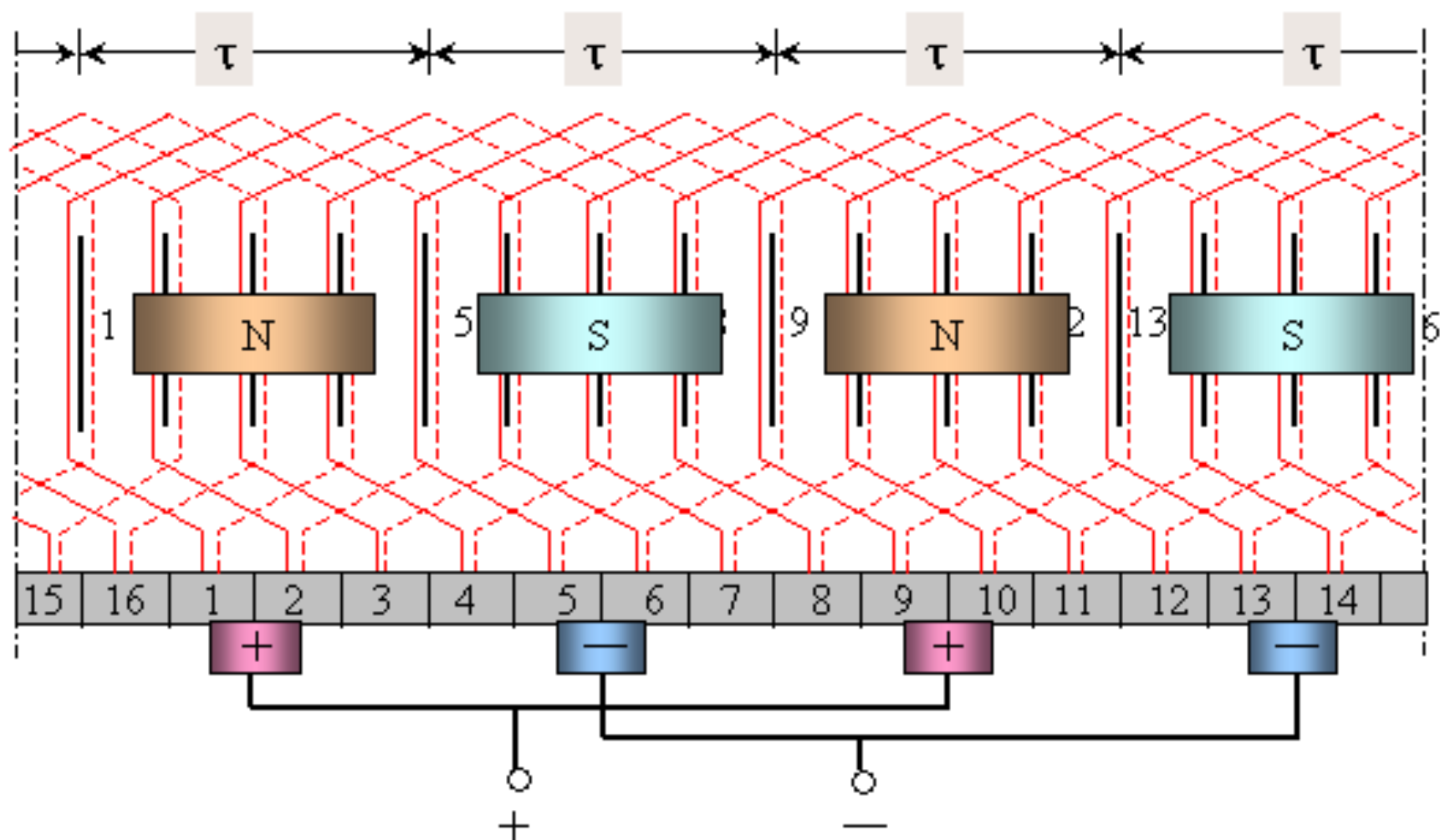
磁极： 对称均匀划分极距，极靴宽度一般为 $0.6-0.7\tau$ ，N、S极交替安排。

电刷： 电刷组数也就是刷杆数目等于极数。电刷在换向器上的位置是根据空载时在正负电刷之间能获得最大电势这一原则来确定的，因此电刷应放置在使被电刷短路的元件中感应电动势最小的位置。
在一个主极下的元件边电势具有相同的方向。由于几何中心线处的磁密为零，故此元件边中电势为零。

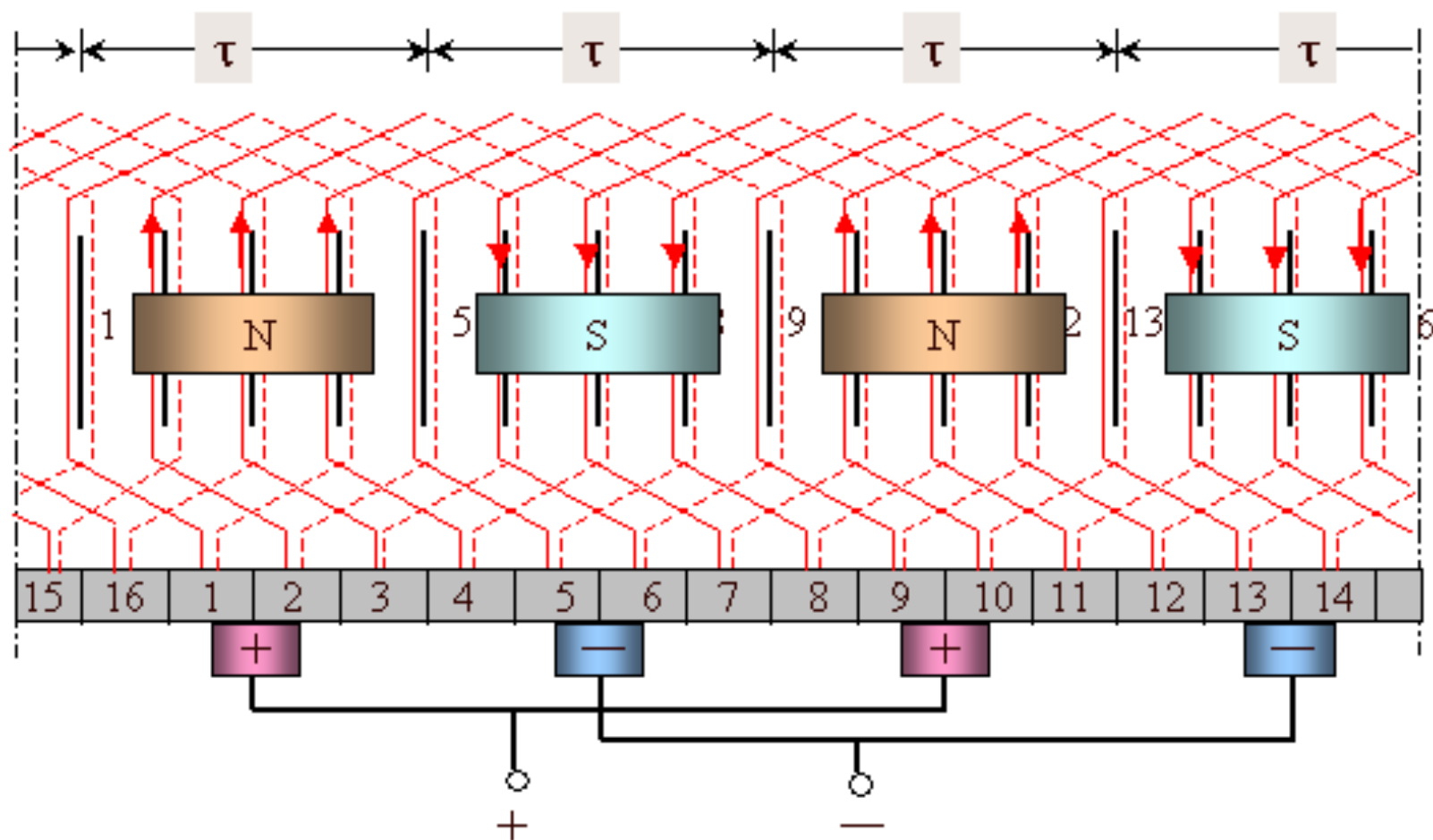
电刷放置： 当元件左右对称时，电刷中心线应对准磁极中心线。

- 注意：放电刷，对准在磁极轴线下，画一个换向片宽（实际上K很多，电刷宽 = $2 \sim 3$ 片宽）。并把相同极性下的电刷并联起来。实际运行时，电刷是静止不动的，电枢在旋转，但是被电刷所短路的元件，永远都是处于电机的几何中性线，其感应电动势是接近零的。为使正、负电刷间引出的电动势最大，我们已知被电刷所短路的元件电动势为零，在元件端接线对称的情况下，电刷的实际位置应在磁极中性线下，所以习惯上称为“电刷放在几何中性线位置”

电枢绕组



电枢绕组



电枢绕组

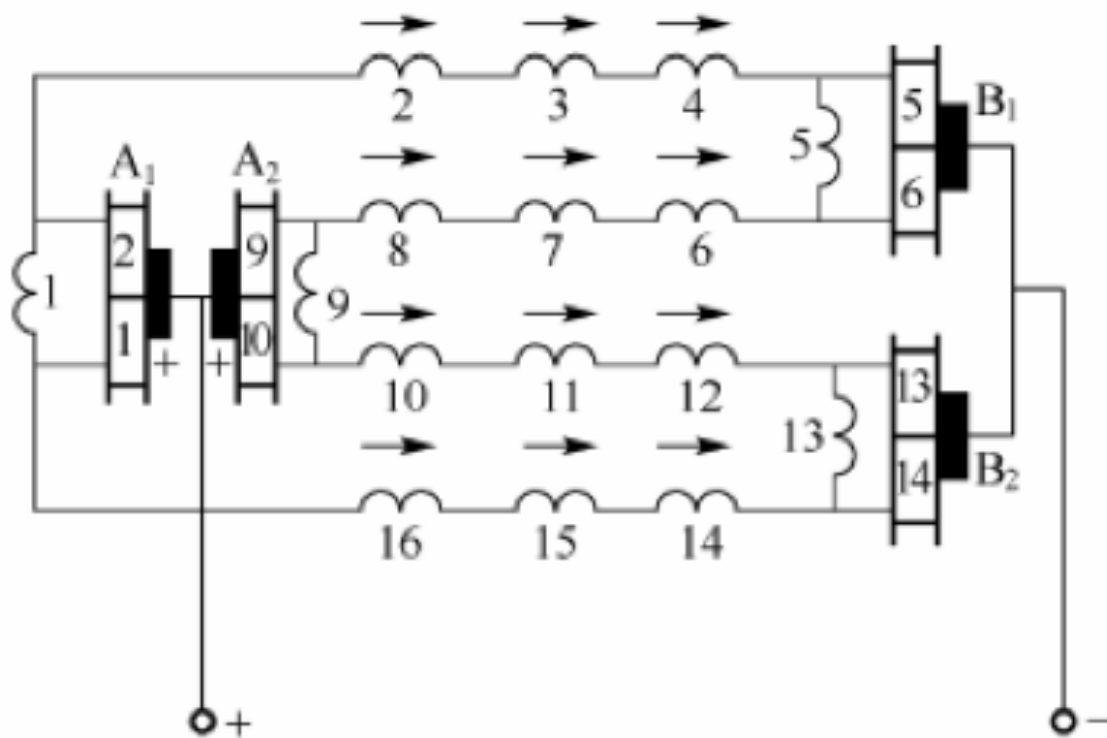
绕组连接规律也可用连接顺序表表示。表中上排数字同时代表上层元件边的元件号、槽号和换向片号，下排数字代表下层元件边所在的槽号。



单叠绕组连接顺序表

电枢绕组

结合电刷的放置，得到瞬间的电路图



每一磁极下的各元件串联起来组成一条支路，**并联支路对数等于极对数，即 $a=p$ 。**

电枢绕组

单叠绕组特点

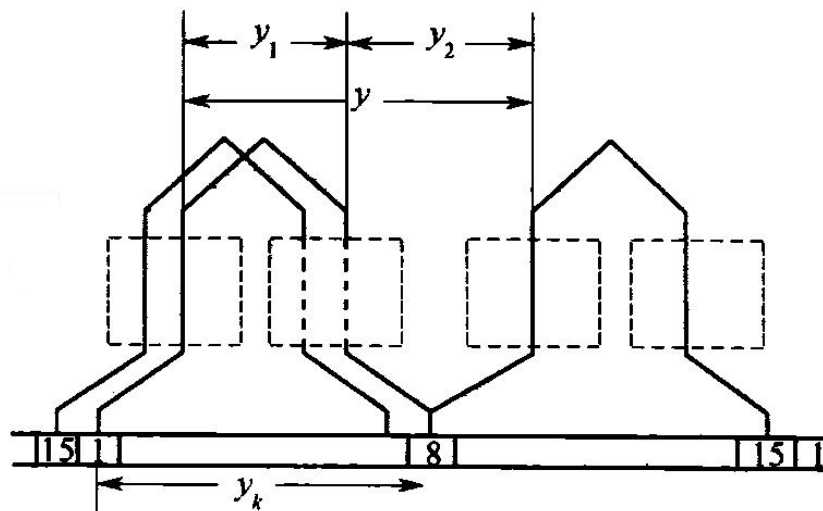
- 元件的两个出线端连接于相邻两个换向片上。
- 并联支路数等于极对数。
- 每条支路由不同电刷引出，电刷数等于极对数。
- 正负电刷引出的电动势即为每一支路的电动势，电枢电压等于支路电压。(并联)
- 正负电刷引出的电枢电流等于各支路电流之和。适用工大的

电枢绕组

四、单波绕组

单波绕组的元件首、末端之间的所接的换向片相隔很远，两个元件串联起来形似波浪形，故称波绕组。

为了使两个串联的元件产生的电动势相叠加，应使合成节距 y 接近于2倍极距，但 y 和 y_k 又不能等于2倍极距。否则将使从#1出发的元件又回到#1，从而无法继续。



电枢绕组

因此，我们希望从 # 1 片出发，串联 P 个元件绕电枢一周后，第 p 只元件的末端要接到第一只元件的首端所接的 # 1 换向片相邻换向片上，即单波绕组的换向器节距为：

$$p \times y_k = k \pm 1$$

或

$$y_k = y = \frac{k \pm 1}{p} = \text{整数}$$

因此，极对数与换向片数必须有适当的配合。当采用 $k+1$ 时， p 个元件串联后，接到换向片 2 上，称右行绕组，此时端接交叉，很少采用。一般采用 $k-1$ ，称为左行绕组。

电枢绕组

以 $Z = S = K = 15$ ， $2p=4$ 为例，绕制一单波左行绕组。

1、绕组数据计算

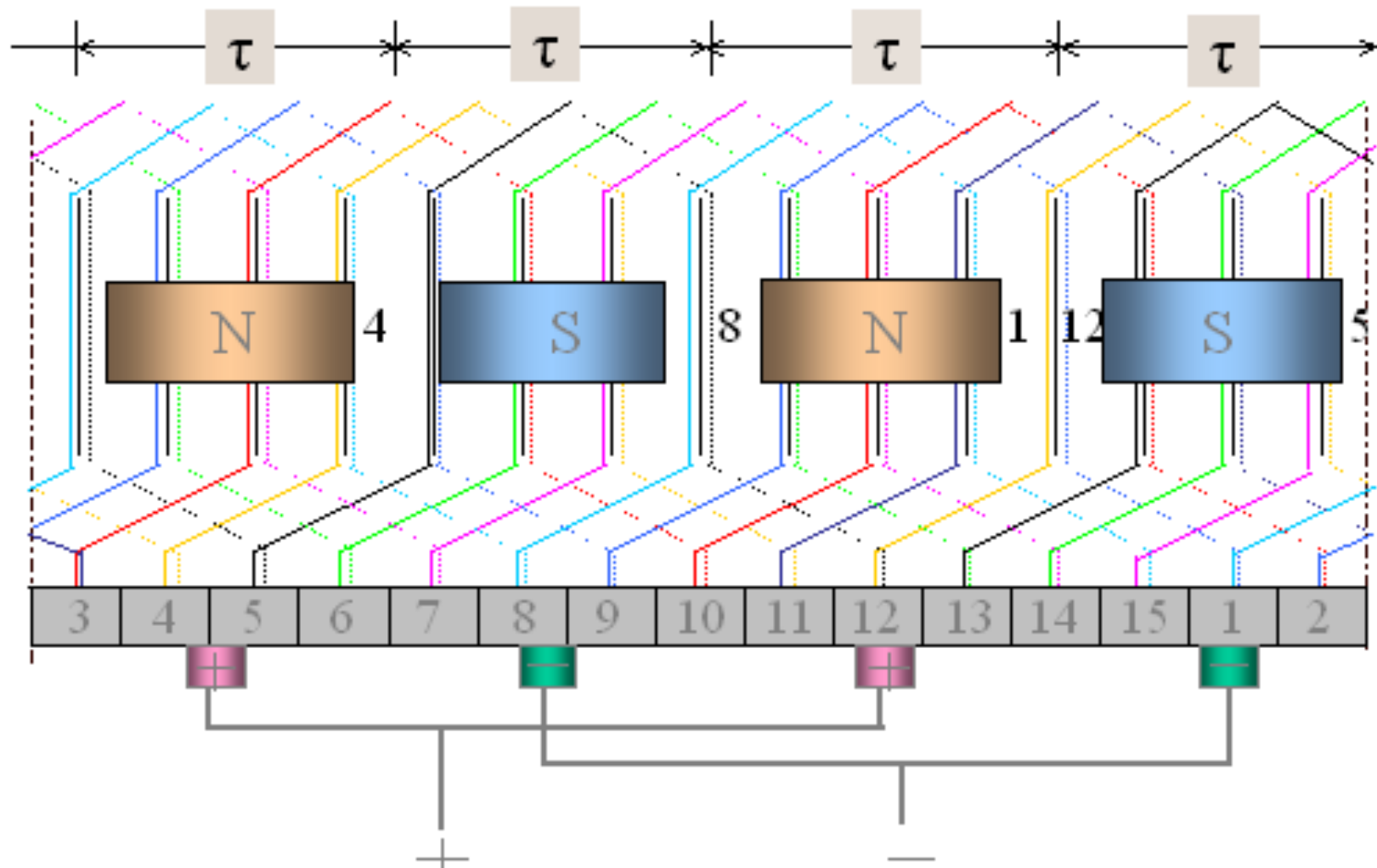
$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3$$

$$y = y_k = \frac{K-1}{p} = \frac{15-1}{2} = 7$$

$$y_2 = y - y_1 = 7 - 3 = 4$$

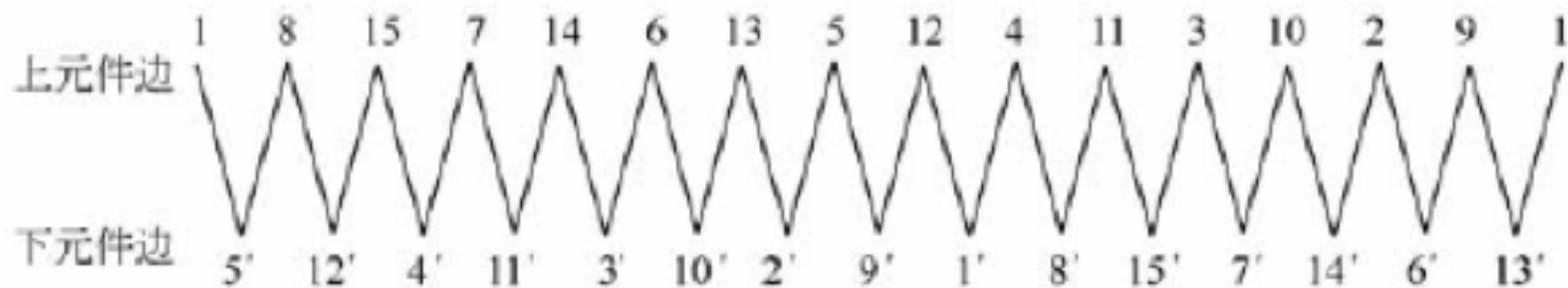
电枢绕组

2、绕组展开图



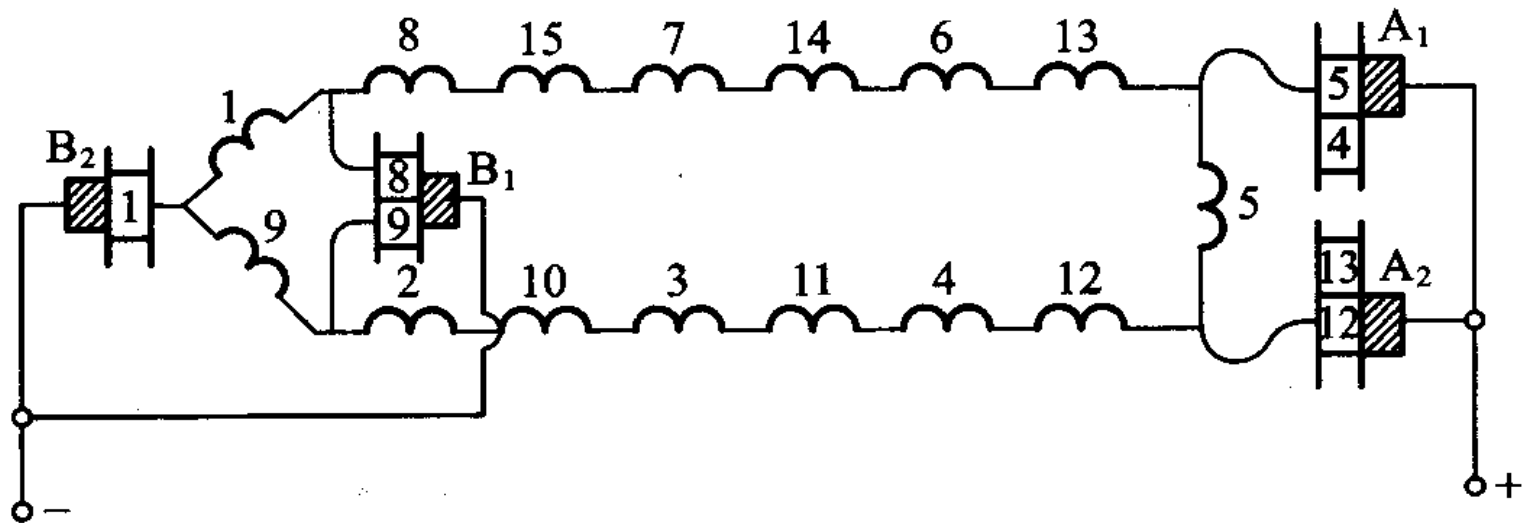
电枢绕组

单波绕组的连接顺序表



电枢绕组

单波绕组电路图



电枢绕组

单波绕组的特点

- 同极下各元件串联起来组成一条支路，支路对数为1，与磁极对数无关；
- 当元件的几何形状对称时，电刷在换向器表面上的位置对准主磁极中心线，支路电动势最大；
- 电刷数等于磁极数；
- 电枢电动势等于支路感应电动势；
- 电枢电流等于两条支路电流之和。

$$a=1$$

还是U大

电枢绕组

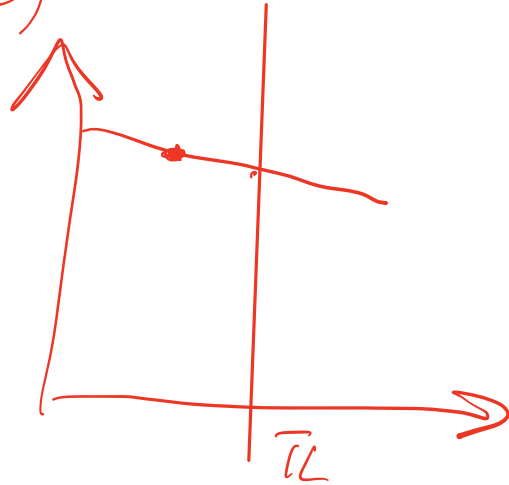
单叠与单波绕组的区别

单叠与单波绕组是直流电机基本的绕组形式，其主要区别是并联支路数不同。单叠绕组 $a = p$ ，可以通过增加磁极对数来增加并联支路数，适用于低电压、大电流的电机。

单波绕组 $a = 1$ ，在元件数相同的情况下，每条支路串联的元件较多，适用于小电流、较高电压的电机。

$$7. \quad E_a = C_e \phi N = U - \frac{I_a R}{\sqrt{3}}$$

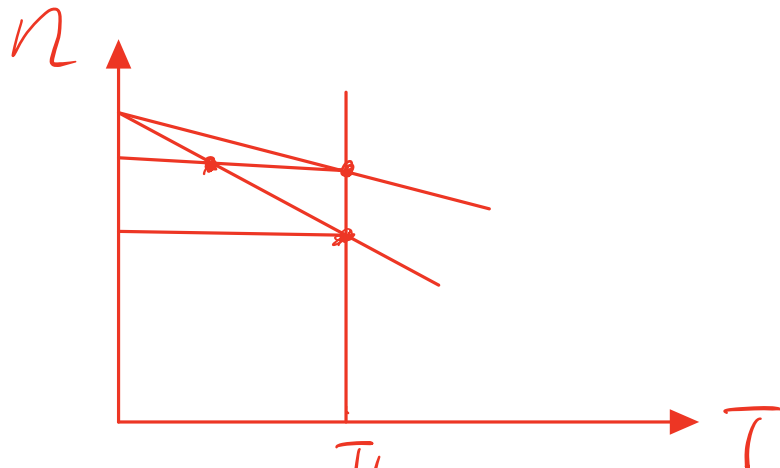
$$T = C_T \phi I$$



$$S_N = \sqrt{3} U_{LN} I_{LN}$$

$$I_{LN} = I \phi \phi$$

$$\frac{I_{LN}}{I_{2N}} = \frac{6.8}{10}$$



$$C_e \phi N = E_a = U - \frac{I_a R}{\sqrt{3}}$$

$$T = C_T \phi I_a$$

$$\frac{dT_e}{dN} < \frac{dT_c}{dN}$$

$$n \downarrow$$

$$T \uparrow \rightarrow T_2 = C_{\text{eff}} I_a$$

$$n_s = 1000 \text{ r/min}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1000 - 800}{1000} = 0.2$$

$$n = n_s - \Delta n = 600 \text{ r/min} = \frac{60f'}{p}$$

$$Z_f = 4.4 \Omega, n, \uparrow \phi,$$

$$I_o = \frac{Z_1}{Z_m}$$

