中央人民政府燃料工業部

電氣講習班講義

第五册

中央人民政府燃料工業部
技術研究室編

燃料工業出版社

中央人民政府燃料工業部

電氣講習班講義

第五册

中央人民政府燃料工業部
技術研究室編

燃料工業出版社
一九五三年六月·北京

电氣講習班講義

第五册

中央人民政府燃料工業部
技術研究室編

燃料工業出版社出版
（北京東長安街中央燃料工業部）
新華書店發行

編輯：曾　志　開
校對：符坤珍　趙迦南
書號：50-5＊25開本＊共273頁198,000字＊定價：15,000元
一九五三年六月北京第一版（1—7,000册）

編 者 的 話

一、本書是中央人民政府燃料工業部於一九五一年七月在北京開辦的電氣講習班第一期的講義提綱。這個班的教程和主講是蘇聯專家主持的；中國工程師配合着作些專題報告。參加學習的同學都是全國各電廠的工程人員和先進工人，共計六十餘人。

二、講義的內容主要是針對目前我國電廠和電力網中存在的常易發生而以往作得不够的技術問題。

三、本書原爲講授形式的資料，在原講習班共講授約兩個半月，其中包括專題報告、學員提問題和專家解答問題的時間在內。這些資料的介紹方法對於具有一般文化的參加實際工作的技術人員和工人是切合實際需要並易於接受的。

四、這個講義經過整理以後，按照內容的類別分爲五册出版：

第一册包括同期發電機運行和檢修工作中的問題；

第二册包括過電壓、防雷保護設備、絕緣配合等問題；絕緣試驗方法也列入本册裏；

第三册包括電力系統的繼電保護裝置和自動裝置等在工作中應注意的問題；

第四册包括發電設備的保護裝置在工作中應注意的問題；

第五册包括短路電流的計算問題。

五、本册內容均係本室工程師根據專家材料及自己所搜集資料編寫而成。

六、本書出版時仍保留了原來講義的形式，因此，各篇中敘述有關問題時，可能爲引述的必要而發生重複的地方；每篇所用的專門名詞未必盡同，雖盡量修正，或恐仍有遺漏；熱烈希望讀者發現問題時，函寄我室，以便幫助我們改正。

中央人民政府燃料工業部技術研究室

一九五二年五月

目　　錄

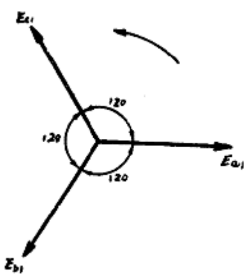
對 稱 分 量

第一節　對稱分量法

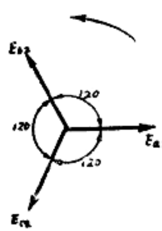
應用於三相不平衡電路的基本原理，即是將三個不平衡的向量（三相不平衡電壓或電流）分解成三組平衡的向量系。每一組平衡的向量系均謂爲原不平衡向量的對稱分量。這種分解不平衡向量爲三組平衡的向量系的方法，即稱爲對稱分量法。

一、三組平衡向量系稱爲正序向量系、逆序向量系和零序向量系

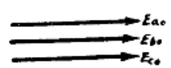
（1）正序分量：由三個其量互等、其向量間的相位角相距 120° 的向量所組成。三個向量到達其最大值的順序是 A、B、C。用“1”表示正序分量，例如 E_{a1} 即表示 a 相的正序電壓。（見第一圖）



第一圖　正序分量



第二圖　逆序分量



第三圖　零序分量

（2）逆序分量：由三個（不同於正序的）其量互等、其向量間的相位角相距 120° 的向量所組成。三個向量到達其最大值的順序

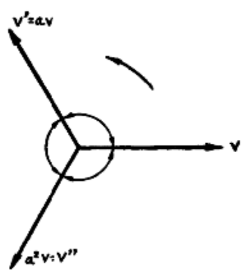
與正序分量順序相反，是 A、C、B。用"2"表示逆序分量，例如 E_{b2} 即表示 b 相的逆序電壓。（見第二圖）

（3）零序分量：由三個其量互等、方向相同的向量所組成。用"0"表示零序分量，例如 E_{c0} 即表示 c 相的零序電壓。（見第三圖）

正序、逆序分量旋轉方向，均假定逆時針旋轉的方向爲正，順時針旋轉的方向爲負。

二、算子 a 的性質

我們用算子 a 來代表向量在運行時的各種關係。其基本意義是表示一個單位長度的量，由某一基礎座標起沿正方向旋轉 120°。任何一個向量與 a 相結合，即表示該向量在長度上未變更，在相位角上沿正方向向前旋轉 120°。例如 $V'=aV$，即表示 V' 爲一新向量，其長度與 V 相等、其相位角較 V 前進 120°。如第四圖所示。



第四圖　向量 V 與算子 a 的結合

a^2 代表另一個算子，其意義是由原向量向負方向旋轉 120°，亦即由原方向起向正方向旋轉 240°。

（1）a 及 a^2 的値量：a 及 a^2 是 $f(a)=a^3-1=0$ 的兩個根：

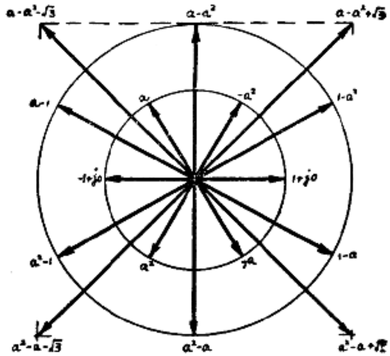
$$a=-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j120},$$

$$a^2=-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j240}.$$

（2）a 的基本性質：可由下列各式表示之：

$$1=1+j0=e^{j0}.$$

$$a=-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j120}.$$



第五圖　算子 a 的基本性質圖解

$$a^2=-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j240}.$$

$$a^3=1+j0=e^{jo}.$$

$$a^4=a=-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j120}.$$

$$a^5=a^2=-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j240}.$$

$$a+a^2+1=0.$$

$$a+a^2=-1+j0=e^{j180}.$$

$$a-a^2=0+j\sqrt{3}=\sqrt{3}\,e^{j90}.$$

$$1-a=\frac{3}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}=ja^2\sqrt{3}=\sqrt{3}\,e^{j330}.$$

$$1-a^2=\frac{3}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=-ja\sqrt{3}=\sqrt{3}\,e^{j30}.$$

$$a-1=-\frac{3}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=-ja^2\sqrt{3}=\sqrt{3}\,e^{j150}.$$

$$a^2-1=-\frac{3}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}=ja\sqrt{3}=\sqrt{3}\,e^{j210}.$$

$$1+a=-a^2=\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j60}.$$

$$1+a^2=-a=\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}=e^{j300}.$$

三、對稱分量方程式

在三相電壓（或電流）系統中，可以將已知之電壓（或電流）向量用對稱分量方程式表示之。

令已知電壓向量爲 V_a、V_b、V_c，則對稱分量方程式爲：

$$V_a=V_{a1}+V_{a2}+V_{ao}, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1—1)$$

$$V_b=V_{b1}+V_{b2}+V_{bo}, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1—2)$$

$$V_c=V_{c1}+V_{c2}+V_{co}. \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1—3)$$

可以選擇某相向量爲基準，將其他兩相向量化爲基準相之向量值。如以 a 相爲基準，利用算子 a 表示之，則對稱分量方程式變爲：

(1) 正序分量：

$$V_{b1}=a^2V_{a1}, \qquad V_{c1}=aV_{a1}.$$

(2) 逆序分量：

$$V_{b2}=aV_{a2}, \qquad V_{c2}=a^2V_{a2}.$$

(3) 零序分量：

$$V_{bo}=V_{ao}, \qquad V_{co}=V_{ao}.$$

將上列關係代入對稱分量方程式 (1—1)、(1—2)、(1—3) 中，則得

$$V_a=V_{ao}+V_{a1}+V_{a2}, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1—4)$$

$$V_b=V_{ao}+a^2V_{a1}+aV_{a2},\quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—5)$$

$$V_c=V_{ao}+aV_{a1}+a^2V_{a2}.\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—6)$$

由（1—1）、（1—2）、（1—3）及（1—4）、（1—5）、（1—6）比較，得知三個向量系用對稱分量法表示時，係數的關係是：

正序分量：1，a^2，a。

逆序分量：1，a，a^2。

零序分量：1，1，1。

第二節　不平衡向量分解成對稱分量法

任何三個已知的不平衡向量，均可用分析法或圖解法分解成爲對稱分量。普通多用分析法，有時亦用圖解法。茲分述如下。

一、分 析 法

利用（1—4）、（1—5）、（1—6）三方程式，可以將三個對稱分量 V_{a1}、V_{a2}、V_{ao} 用 V_a、V_b、V_c 表示之。

（1—4）+（1—5）+（1—6），則得

$$V_{ao}=\frac{1}{3}(V_a+V_b+V_c).\quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—7)$$

（1—4）+（1—5）$\times a$+（1—6）$\times a^2$，則得

$$V_{a1}=\frac{1}{3}(V_a+aV_b+a^2V_c).\quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—8)$$

（1—4）+（1—5）$\times a^2$+（1—6）$\times a$，則得

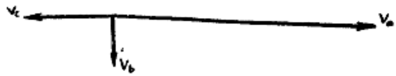
$$V_{a2}=\frac{1}{3}(V_a+a^2V_b+aV_c)\quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—9)$$

二、圖 解 法

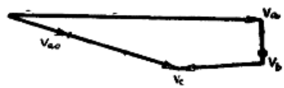
可按（1—7）、（1—8）、（1—9）三式的基本關係求得之。

若已知三不平衡向量 V_a、V_b、V_c（如第六圖之一所示），則

（1）零序分量 V_{a0} 的求法，即將三相向量 V_a、V_b、V_c 相加並將相加的結果以 3 除之（如第六圖之二所示）。



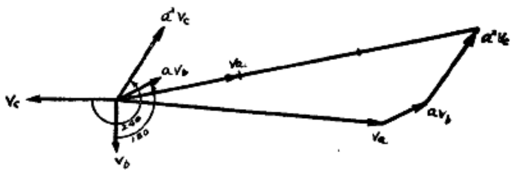
第六圖之一　不平衡向量 V_a、V_b、V_c 圖



第六圖之二　V_{a0} 的求法

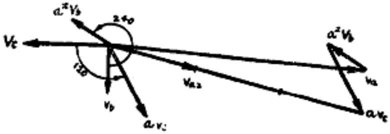
（2）正序分量 V_{a1} 的求法，是根據（1—8）式的關係爲之。

在 V_a 向量上加 aV_b（即將 V_b 旋轉 120°），在 V_a+aV_b 上加 a^2V_c（即將 V_c 旋轉 240°），將相加的結果以 3 除之，即得 V_{a1}（如第六圖之三所示）。



第六圖之三　V_{a1} 的求法

（3）逆序分量的求法，是根據（1—9）式的關係爲之（如第六圖之四所示）。



第六圖之四　V_{a2} 的求法

三、特例——零序分量不存在的情况

若 V_a、V_b、V_c 之和等於零時，由 (1—7) 式可知，在此情況下無零序分量存在。而不平衡之三向量 V_a、V_b、V_c 僅可由正序及逆序分量表示之。

$$V_a+V_b+V_c=0, \qquad \text{則} \ V_c=-V_a-V_b.$$

由 (1—8) 及 (1—9) 式得

$$V_{a1}=\frac{1}{3}\left[(1-a^2)\,V_a+(a-a^2)\,V_b\right],$$

$$V_{a2}=\frac{1}{3}\left[(1-a)\,V_a+(a^2-a)\,V_b\right].$$

將 $(1-a^2)$、$(a-a^2)$、$(1-a)$ 及 (a^2-a) 用極座標式表示之，

則 $$V_{a1}=\frac{1}{3}\left[\sqrt{3}\ V_a\,\underline{|30^\circ}+\sqrt{3}\ V_b\,\underline{|90^\circ}\right]$$

$$=\frac{1}{\sqrt{3}}\left[V_a+V_b\,\underline{|60^\circ}\right]\underline{|30^\circ}. \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—10)$$

$$V_{a2}=\frac{1}{3}\left[\sqrt{3}\ V_a\,\overline{|30^\circ}+\sqrt{3}\ V_b\,\overline{|90^\circ}\right]$$

$$=\frac{1}{\sqrt{3}}\left[V_a+V_b\,\overline{|60^\circ}\right]\overline{|30^\circ}. \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—11)$$

若將 $(1-a^2)$、$(a-a^2)$、$(1-a)$ 及 (a^2-a) 用複素數式表示之，

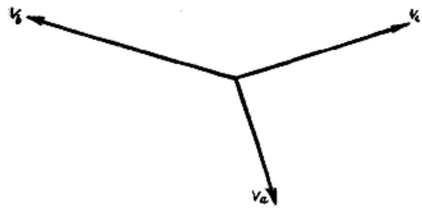
則 $$V_{a1}=\frac{1}{3}\left[V_a\left(\frac{3}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)+V_b(j\sqrt{3})\right]$$

$$=\frac{V_a}{2}+\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{V_a}{2}+V_b\right)\underline{|90^\circ}. \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—12)$$

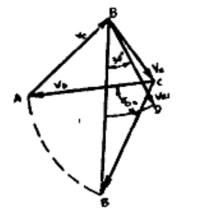
$$V_{a2}=\frac{1}{3}\left[V_a\left(\frac{3}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)+V_b(-j\sqrt{3})\right]$$

$$=\frac{V_a}{2}-\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{V_a}{2}+V_b\right)\underline{|90^\circ}. \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1—13)$$

例如：三不平衡向量 V_a、V_b、V_c（如第七圖之一所示）：



第七圖之一　不平衡向量 V_a、V_b、V_c 圖

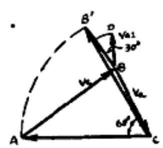


第七圖之二　V_{a1} 的求法

（1） V_{a1} 的求法：由 (1—10)式的關係求得之。

將 V_b 向量沿正方向旋轉 60°，即爲 CB'。在 CB' 上加 V_a 向量，則其和爲 BB'。以 B 點爲中心，沿正方向旋轉 30°，並將 BB' 值以 $\sqrt{3}$ 除之，則得知 D 點。BD 即 V_{a1} 分量。其方向表示 V_{a1} 的方向，其長度表示 V_{a1} 的大小。

（2） V_{a2} 的求法：由(1—11)式關係求得之。



第七圖之三　V_{a2} 的求法

V_b 沿負方向旋轉 60°，即 CB'。在 CB' 上加 V_a，得 BB'。將 BB' 值用 $\sqrt{3}$ 除之，並沿負方向以 B 點爲圓心旋轉 30°，即得 D 點。DB 即 V_{a2} 之向量，如第七圖之三所示。

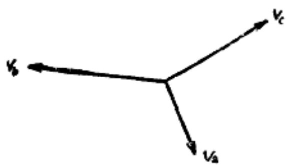
四、根據 (1—12)、(1—13) 亦可用作圖法表示之

在 (1—12)、(1—13) 內：V_{a1} 及 V_{a2} 由兩部分組成。一部分爲 $\frac{V_a}{2}$，另一部分爲 $\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{V_a}{2}+V_b\right)\underline{|90^\circ}$。$V_{a1}$ 爲此兩部分之和。V_{a2} 爲此兩部分之差。圖解法即根據此兩部分關係構成之。

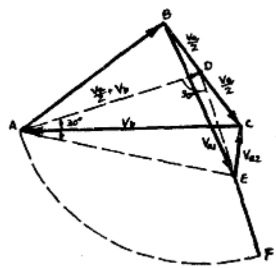
（1） V_{a1} 的圖解法：

將 $(\frac{V_a}{2}+V_b)$ 旋轉 90°，並以$\sqrt{3}$除之，再加上$\frac{V_a}{2}$（如第八圖之二所示）。

（2） V_{a2} 的圖解法：以$\frac{V_a}{2}$ 減 $\frac{1}{\sqrt{3}}(\frac{V_a}{2}+V_b)\ \underline{|90°}$。

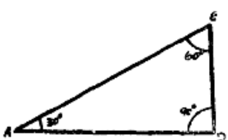


第八圖之一　不平衡向量 V_a、V_b、V_c 圖



第八圖之二　V_{a1}、V_{a2} 的圖解法

作圖法：求得 BC 中點 D，連結 AD，則 $AD=\frac{V_a}{2}+V_b$。將 AD 沿正方向旋轉 90°，得 DF。自 A 點以 AD 綫為基準做 30° 角，與 DF 綫相交於 E 點。連結 BE，則得 $BE=V_{a1}$。連結 EC，則得 $EC=V_{a2}$。



第八圖之三　圖解法的證明

證明 V_{a1}：

$$DE=AD\tan 30°=\frac{AD}{\sqrt{3}},$$

DE 等於 AD 向量被$\sqrt{3}$除再旋轉 90°，

$$\text{向量 } DE=\frac{\text{向量 } DA}{\sqrt{3}}\ \underline{|90°}=\frac{1}{\sqrt{3}}(\frac{V_a}{2}+V_b)\ \underline{|90°}.$$

向量 BE＝向量 BD＋向量 DE,

$$V_{a1}=\frac{V_a}{2}+\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{V_a}{2}+V_b\right)\underline{|90^\circ}.$$

向量 EC＝向量 DC－向量 DE,

$$V_{a2}=\frac{V_a}{2}-\frac{1}{\sqrt{3}}\left(\frac{V_a}{2}+V_b\right)\underline{|90^\circ}.$$

第三節　電壓及電流向量的對稱分量

一、電壓對稱分量方程式

$$V_a=V_{ao}+V_{a1}+V_{a2}.$$

$$V_b=V_{ao}+a^2V_{a1}+aV_{a2}$$

$$=V_{ao}-\frac{1}{2}(V_{a1}+V_{a2})-j\frac{\sqrt{3}}{2}(V_{a1}-V_{a2}).$$

$$V_c=V_{ao}+aV_{a1}+a^2V_{a2}$$

$$=V_{ao}-\frac{1}{2}(V_{a1}+V_{a2})+j\frac{\sqrt{3}}{2}(V_{a1}-V_{a2}).$$

$$V_{a1}=\frac{1}{3}\left[V_a-\frac{1}{2}(V_b+V_c)+j\frac{\sqrt{3}}{2}(V_b-V_c)\right].$$

$$V_{a2}=\frac{1}{3}\left[V_a-\frac{1}{2}(V_b+V_c)-j\frac{\sqrt{3}}{2}(V_b-V_c)\right].$$

二、電流對稱分量方程式

$$I_a=I_{ao}+I_{a1}+I_{a2}.$$

$$I_b=I_{ao}+a^2I_{a1}+aI_{a2}$$

$$=I_{ao}-\frac{1}{2}(I_{a1}+I_{a2})-j\frac{\sqrt{3}}{2}(I_{a1}-I_{a2}).$$

$$I_c=I_{ao}+aI_{a1}+a^2I_{a2}$$

$$=I_{ao}-\frac{1}{2}(I_{a1}+I_{a2})+j\frac{\sqrt{3}}{2}(I_{a1}-I_{a2}).$$