

交流電機

著 章 佳 尤

現代工程小叢書



交流電機

目錄

第一章	基本概念及定律	一
第一節	交流與直流之區別	一
第二節	波狀及周波率	四
第三節	平均值及有效值	七
第四節	表圖	九
第二章	交流電路	一五
第一節	連列電路	一五
第二節	並列電路	二三

第三節 電路解法.....	二六
---------------	----

第四節 共振.....	三九
-------------	----

第五節 三又連接.....	四二
---------------	----

第六節 三角連接.....	四四
---------------	----

第三章 工率與工率因數.....	四六
------------------	----

第一節 有效工率.....	四六
---------------	----

第二節 反應工率.....	四七
---------------	----

第三節 工率因數.....	四八
---------------	----

第四節 工率計算法.....	五一
----------------	----

第四章 變壓器.....	五八
--------------	----

第一節 效用及原理.....	五八
----------------	----

第二節 構造.....	六〇
-------------	----

第三節 減熱法.....六四

第四節 耗損效率及定額.....六七

第五節 自變壓器.....七〇

第六節 定流變壓器.....七二

第七節 多相變壓器.....七四

第八節 特種變壓器.....七六

第五章 感應電動機.....七九

第一節 構造大要.....七九

第二節 旋轉磁場.....八〇

第三節 旋轉器.....八三

第四節 旋力及速度.....八六

第五節 特性.....八八

第六節 變速法.....	九〇
--------------	----

第七節 單相感應電動機.....	九二
------------------	----

第八節 感應發電機.....	九四
----------------	----

第六章 交流發電機.....	九六
----------------	----

第一節 構造大要.....	九六
---------------	----

第二節 磁場.....	九八
-------------	----

第三節 發電子.....	九九
--------------	----

第四節 發電子反應.....	一〇一
----------------	-----

第五節 定額耗損及效率.....	一〇三
------------------	-----

第六節 並列運用與分工.....	一〇五
------------------	-----

第七章 同期電動機.....	一一〇
----------------	-----

第一節 概論.....	一一〇
-------------	-----

第二節 設喻……………一二二

第三節 起動特性……………一二四

第四節 運用特性……………一二七

第五節 同期機之功用……………一二〇

第六節 追逐作用……………一二三

第八章 變流機……………一二四

第一節 同期變流機……………一二四

第二節 電動發電機組……………一二九

第三節 振動整流器……………一三〇

第四節 水銀整流器……………一三一

第九章 單相整流電動機……………一三六

第一節 單相連列電動機……………一三六

第二節 抗拒電動機.....一四一

第三節 單相定速電動機.....一四四

第四節 單相鼠籠電動機.....一四五

交流電機

第一章 基本概念及定律

第一節 交流與直流之區別

以電之本體而論，初無直流交流之別；其所以有此分別者，由於其行動現象之不同耳。電子之流動，方向不變者，是爲直流，如電瓶、電池、直流發電機所發之電流是已。至若交流，則方向時變，而數量隨之，其循環往復，自成周期。二者各有其特殊之應用，然以言應用之廣，輸送之便，則交流勝於直流。茲就交流之基本概念，列述如左：

(一) 電流 交流者，方向交變之電流；當其在導綫中流動時，初則超前繼則退後，往還流行，

一如鐘擺。其數量之變更，初則零值，次則漸增，達最高值後，則又漸減，返於零值，然後反其方向，漸增至最高值，再由此漸減至零值；如此循環一周，謂之一周波。此項交變之圖解及其算學關係，俱詳下文。

(二)電壓 交電流作上述之交變時，其發生此電流之電壓亦作同一之變更。其初亦由零值漸增至最高值，次則漸減為負值，與電流之經歷同。惟電流之最高值與電壓之最高值，未必發現於同時，此則讀者所應注意者也。交流之電流與電壓均為變數而非常數，故其相加相減，不能以直流之法為之。設有交電流二，其流行之方向雖同，然其一達最高時，又一未必亦達最高值。二者之交變，或先後參差，或適成相反，亦猶二人同行，速度雖等，而步伐未必一致。故欲加減此二流，必先確知二者在某時點之方向與數值，而後可以直流之法施之。

(三)多相電流 設有數量相等之二交流，其最高值發現於同時，則二者相加，即得一數量倍增之交流。此二交流之最高值所以得同時發現者，乃由於步伐之一致，在電學中稱此步伐為相位 (Phase)；凡相位相同之電流，其各時點之數量與方向，均為同等，故可作簡單之加減。在實際上，交

流電機所發之電流，在一種以上者，其相位恆不一致，常有一定之相差，其加減法爲幾何的而非算術的。例如交流機發出三種相位不同之電流，則稱爲三相電流，此外又有二相四相等之稱，總稱曰多相電流 (polyphase current)。

(四) 工率 在直電流中，工率 (power) 之量等於電壓與電流之乘積；在交電流，則電壓與電流時時變值，故祇能謂爲在某時點之電壓與電流之乘積，即係該時點之工率，而不能便以最高值電壓與最高值電流之乘積爲其有效之工率。交電流之發熱能力，等於若干直電流者，此直電流之量，稱曰該交流之有效值；蓋以實用效力而論，此變值之交流，猶彼定值之直流也。交電壓之有效值亦然。以有效值之電壓與電流（二者須同相）相乘，即得交流之有效工率。

(五) 電阻 交流電路中亦有電阻 (resistance)，其與電壓及電流之關係，得用直流電中之「歐姆定律」(Ohm's law) 以計算之，惟須電流與電壓均爲同相，方可合用。在純粹電阻之路中，電壓與電流爲同相，計算之法一如直流；若二者爲異相，則惟與電流同相之一部分電壓，始合乎上述之定律。

(六)電抗 電抗(Reactance)惟交流電路中有之，蓋抗電之效應，乃由電流變值時之自感應作用而起。感應所生之電壓，常與原有之電壓相反，由是而抵抗電流之進行，與直電流中之電阻相類。然電阻與電抗有一根本上之區別，即電阻之阻止電流，結果則消耗一部分之電能，而發為熱力，若電抗則雖足以減低交流之有效電壓，但實際上並不消耗電能。(即有之，亦非由於電抗，而由於磁遲渦流等效應)。

(七)電阻抗 電阻抗(impedance)亦惟交流有之，即電阻與電抗之綜合效應也。按電阻所生之電壓降，係與電流同相，電抗所生之電壓降，則與電流相位差九十度角，故電阻降之數量，等於二者之幾何和而非代數和也。

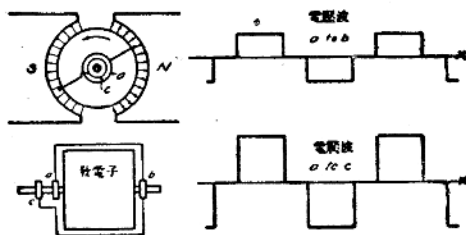
第二節 波狀及周波率

直流電機發電子中產生之電流，即係交流；其電磁感應之理，以及說明感應電壓及磁流、行動、三方關係之佛來銘定則(Fleming's rule)，及楞次定律(Lenz's law)，俱詳拙著直流電機一

書，茲不複述。

交流變值之波狀，視電機中磁場之分配及導線之佈置與行動而異。如導線以均等之速度，行於均勻分配之磁場中，則感應之電壓，必為定值。若磁場每半周反其方向，則電壓亦隨而反向。故如第一圖，導線自 a 至 b 之一段，所感應之電壓成長方形之曲線，蓋即表示電壓之定值，且隨磁流之方向以俱變也。自 b 至 c 之一段導線，以磁流方向與 $a b$ 所處之磁場相反，而其行動方向則與前相同，故其感應電壓之方向與前者相反。但以二線連成環狀，此二電壓適成相加，故 $a c$ 間之電壓，倍於 $a b$ 間之電壓。

今若令磁場之分配，密於磁極之中心，而疏於極尖，且導線之行動方向，與磁線所成之角度，隨處而異，不若第一圖之恆成直角，則感應電壓之波狀，將如第二圖所示。若磁場之密度均勻，如第三圖所示，



第一圖 電壓波之一

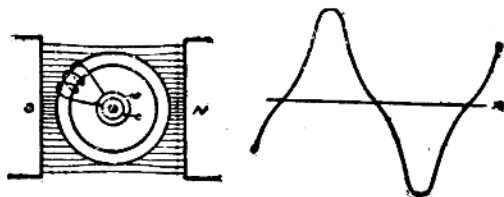
則導線割截磁線之速度，隨導線行動方向與磁線所成之角度而異。此時感應電壓之波狀，成一簡單之正弦曲線（如圖）——此為標準之波狀。此波之零值，設在 t_1 秒數之後，則其各時點之數值，以算式表之，當為

$$e = M E \sin 2\pi f (t - t_1),$$

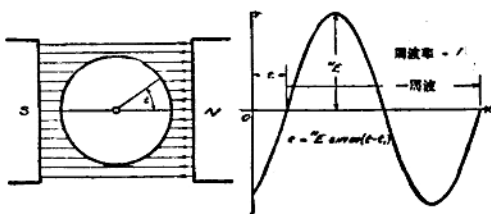
式中 $M E$ 為最高電壓， f 為周波率 (frequency)，即每秒鐘內之周波數， t 為時間，以秒計。計算電流時點值之算式，與前相類，即

$$i = M I \sin 2\pi f (t - t_1)$$

正弦曲線亦稱單諧曲線，交流電之作此波狀者，其耗損為最低，即發電之效率，較任何其他種之波狀為高。交流電之周波率，有高低二種；高者供無線電報及無線電話之用，低者供電力電燈之用。普通



第二圖 電壓波之二



第三圖 電壓波之三

交流電機所產之電流，其周波率之高低，視旋轉速度及磁極之數目而定。磁極一對成一周波，故周波率者，即每秒所經若干對之磁極也。

第三節 平均值及有效值

正弦波狀之交流有四值：一、最高值 (maximum value) 二、時點值 (instantaneous value) 三、平均值 (average value) 四、有效值 (effective value)。最高值即波之振幅，時點值即在各時點之數值，均見上文。至平均值者，乃以一周波之時間，除此曲線所包之面積所得之商數。按所謂電流，即係每單位時間流過導線某截面之電量，故曲線所包之面積（即時間與電流之乘積）即係交流之電量；今以時間除面積，不啻化正弦曲線為長方形，二者所包之面積則相等，故以此長方形之高度為平均值。此平均值之量約為最高值之 0.636 倍，即

$$I = 0.636 I_m$$

有效值之命意異是，前者以電量為根據，今則以能量為根據。蓋交流雖為變量，而其所含之能

力，則可假定其與某直流電之能力相等；此直流電之數值，即可根據之以計量交流。電學家朱爾 (Joule) 於一八四一年，證明電流在導線中所發之熱能，與電流之平方成正比，即

$$J = RI^2T.$$

J 爲朱爾數，乃能力之單位，爲朱爾所發明，故名。若以加洛里 (calories) 計，則前式變爲

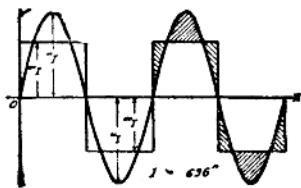
$$H = 0.24I^2RT,$$

此中 I 均指直流， T 爲時間， R 爲電阻。在交流，則當用時點電流 i 代 I ，並用積分法積集 T 時間之總能量，其算式爲

$$H = 0.24R \int_0^T i^2 dt \quad \text{或} \quad J = R \int_0^T i^2 dt$$

今令交流與直流所發之熱能相等，以求直流 I 與交流最高值 MI 之關係，則

$$RI^2T = R \int_0^T i^2 dt$$



第四圖 平均值

$$I = \frac{M I}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t) = \frac{M I}{\sqrt{2}} = 0.707 M I$$

故知此同等發熱量之有效電流 I ，爲最高電流之 0.707 倍。從上列之算式觀之，而知平均值與有效值在算學上的區別，即平均值爲各時點值之平均量，而有效值則爲各時點值之平均平方之平方根。普通計量交流電壓及電流之單位，如電表上所示之弗打數與安培數，皆爲有效值。

有效值對於平均值之比例名曰「波狀因子」(form factor)，所以表示電波之形狀也。在正弦曲線之波狀因子，爲 1.11 ，餘則各隨波狀而異。

第四節 表圖

表圖者，表示交電流及交電壓之數量與相位關係之圖也。圖表之法可分四種：

一、直角坐標 (rectangular coordinate)，爲笛卡兒 (Descartes) 所發明，故亦名笛卡兒坐標。

二、極坐標 (polar coördinate) 以圓半徑及與橫標所成之角度，定數量之位置。

三、向量圖 (vector diagram) 分二：

(甲) 極相位圖 (polar-phase diagram)。

(乙) 曲拐相位圖 (crank-phase diagram)。

四、測量圖 (topograph) 可藉此以代計算。

(一) 直角坐標 上文第二節中諸圖皆直角坐標圖，與算學表法之三角函數相合。例如第五圖，即以直角坐標法，代表一交流電壓與一交流電流之波狀變值，電流波之進行，後於電壓，其相差為一角度 θ 。若以三角函數表之，則

$$i = M I \sin(\omega t)$$

$$e = M E \sin(\omega t + \theta)$$

式中之 θ ，即電壓前進之角 (angle of lead)，亦即電流落後之角 (angle of lag) 也。

(二) 極坐標 在直角坐標中，以縱標代時點值，橫標代時間或角度（假定速度為定值），在