

3K 602 / 2703

第二十篇

整流器及換流機

目 錄

頁

第一章 整 流 器

1.1	汞弧整流器之理論及特性	20— 1
1.1.1	汞弧整流器之理論	20— 1
1.1.1.1	原理	20— 1
1.1.1.2	整流波形及電壓比	20— 2
1.1.1.3	變壓器二次視在功率	20— 4
1.1.1.4	變壓器一次視在功率	20— 4
1.1.1.5	變壓器電抗之影響	20— 7
1.1.1.6	相間電抗器	20— 10
1.1.1.7	各種變壓器不同結線方式特性之比較	20— 14
1.1.1.8	汞弧整流器之效率	20— 15
1.1.2	格子（整流橋）之機能	20— 17
1.1.2.1	格子之臨界點弧電壓特性	20— 17
1.1.2.2	電弧起動時期之控制	20— 17
1.1.2.3	格子電壓之控制法	20— 17
1.1.2.4	直流電流之遮斷	20— 21
1.1.2.5	電弧再起動之阻止	20— 21
1.1.2.6	通弧及失弧	20— 21
1.2	汞反用換流器	20— 21
1.2.1	多相汞反用換流器	20— 21
1.2.2	單相汞反用換流器	20— 23
1.3	玻璃體汞整流器	20— 24
1.3.1	玻璃體汞整流器	20— 24
1.3.2	玻璃體汞整流器之構造	20— 24
1.3.3	玻璃體汞整流器之動作	20— 24
1.4	鐵極汞整流器	20— 25

1•4•1	鐵櫃汞整流器	20— 25
1•4•2	鐵櫃汞整流器之構造	20— 26
1•4•3	鐵櫃汞整流器之動作	20— 26
1•5	單相汞整流器	20— 27
1•5•1	單相汞整流器	20— 27
1•5•2	Ignitron	20— 28
1•5•3	Excitron	20— 28
1•5•4	單相整流器之利弊	20— 29
1•6	汞整流器之附屬裝置	20— 29
1•6•1	整流器用變壓器	20— 29
1•6•2	相間電抗器	20— 29
1•6•3	化成用變壓器	20— 29
1•6•4	真空幫浦	20— 30
1•6•4•1	汞真空幫浦	20— 30
1•6•4•2	迴轉真空幫浦	20— 30
1•6•5	真空計	20— 30
1•6•5•1	McLeod 式真空計	20— 31
1•6•5•2	電阻真空計	20— 31
1•6•6	濾波裝置(過濾裝置)	20— 31
1•6•6•1	低減率	20— 32
1•6•6•2	頻率變動之影響	20— 32
1•6•6•3	保護裝置	20— 32
1•7	汞整流器之操作要點	20— 32
1•7•1	汞整流器之起動	20— 32
1•7•2	真空度之觀察	20— 33
1•7•3	冷却水	20— 33
1•7•3•1	整流器之冷却水	20— 33
1•7•3•2	真空幫浦之冷却水	20— 34
1•7•4	化成	20— 34
1•7•4•1	溫水化成	20— 34
1•7•4•2	直流化成	20— 34
1•7•4•3	低壓化成	20— 34
1•7•4•4	高壓化成	20— 35

1.7.5	逆弧.....	20— 35
1.7.5.1	逆弧之原因.....	20— 35
1.7.5.2	逆弧之防止.....	20— 36
1.7.6	異常電壓.....	20— 36
1.7.6.1	電弧消滅之原因.....	20— 36
1.7.6.2	異常電壓之防止.....	20— 36
1.7.7	並聯運轉.....	20— 36
1.7.8	電壓調整.....	20— 36
1.7.8.1	變壓器一次側之電壓調整.....	20— 36
1.7.8.2	變壓器二次側之電壓調整.....	20— 37
1.7.8.3	格子控制及整流電壓調整.....	20— 37
1.8	整流管.....	20— 37
1.8.1	真空熱電子管型整流器.....	20— 37
1.8.1.1	整流電壓 200 至 800 V 級	20— 37
1.8.1.2	整流電壓 1,500 至 40,000 V 級	20— 37
1.8.1.3	整流電壓 20,000 至 230,000 V 級	20— 37
1.8.2	氣體或金屬蒸氣填充熱電子管型整流器.....	20— 37
1.8.2.1	鎢鈹 (tungar) 整流管	20— 38
1.8.2.2	熱陰極汞蒸氣整流管.....	20— 38
1.8.2.3	氣體或金屬蒸氣填充多極管.....	20— 38
1.8.3	真空管型整流器.....	20— 40
1.9	金屬 (半導體) 整流器.....	20— 40
1.9.1	氧化亞銅整流器.....	20— 40
1.9.1.1	構造.....	20— 40
1.9.1.2	特性.....	20— 40
1.9.2	碲整流器.....	20— 41
1.9.2.1	構造.....	20— 42
1.9.2.2	特性.....	20— 42
1.9.3	鍺整流器.....	20— 42
1.9.3.1	PN 接合.....	20— 43
1.9.3.2	構造.....	20— 43
1.9.3.3	特性.....	20— 44
1.9.4	矽整流器.....	20— 45

1.9.4.1	構造.....	20— 45
1.9.4.2	特性.....	20— 45
1.9.5	整流器之應用.....	20— 46
1.9.5.1	電解製造方法.....	20— 46
1.9.5.2	牽引系統.....	20— 46
1.9.5.3	工業上應用.....	20— 46
1.9.5.4	無線電通信.....	20— 47
1.9.5.5	電子變頻機.....	20— 47
1.9.5.6	直流電力輸送.....	20— 47
1.9.5.7	高頻率變換.....	20— 48
1.9.5.8	焊接.....	20— 48
1.10	機械型整流器.....	20— 48
1.10.1	同期整流子型整流器.....	20— 49
1.10.2	變壓整流器 (transverter).....	20— 49
1.10.3	Vertoro.....	20— 49
1.10.4	接觸整流器.....	20— 50
1.11	特殊整流器.....	20— 51
1.11.1	液體電刷型整流器.....	20— 51
1.11.1.1	廻轉電刷型.....	20— 51
1.11.1.2	靜止電刷型.....	20— 51
1.11.2	振動型整流器.....	20— 51
1.11.3	電解型整流器.....	20— 52
1.11.3.1	鋁整流器.....	20— 52
1.11.3.2	鉭 (tantalum) 整流器.....	20— 52
1.11.3.3	化成.....	20— 53
1.11.3.4	特性.....	20— 53
1.12	整流電路.....	20— 53
1.12.1	接線方式.....	20— 53
1.12.1.1	單相整流.....	20— 53
1.12.1.2	三相整流.....	20— 55
1.12.2	濾波電路.....	20— 55
1.12.3	超高壓整流電路.....	20— 55

第二章 同步換流機

2.1	概論	20— 57
2.1.1	同步換流機之原理	20— 57
2.1.1.1	換流機之定義及分類	20— 57
2.1.1.2	與單獨同步電動機及直流發電機之比較	20— 57
2.1.1.3	激磁 (excitation)	20— 57
2.1.2	同步換流機之電壓比	20— 57
2.1.3	同步換流機之電流比	20— 58
2.1.4	同步換流機之電樞電流及發熱 (armature currents and heating)	20— 60
2.1.4.1	換流機之電樞電流造成	20— 60
2.1.4.2	有效或合成電樞電流與外電路直流電流之比	20— 60
2.1.4.3	在 100% 功率因數時	20— 60
2.1.4.4	以直流發電機損失為基準之相對換流機損失	20— 62
2.1.4.5	損失影響額定 (losses affecting rating)	20— 62
2.1.5	同步換流機之電樞反應	20— 63
2.1.6	同步換流機之換向	20— 63
2.1.7	直流電壓之控制	20— 65
2.1.8	交流電壓之調整	20— 65
2.1.8.1	感應式電壓調整器	20— 66
2.1.8.2	同步升壓器調整	20— 66
2.1.8.3	換向極在升壓換流機之應用	20— 67
2.1.8.4	自動復激 (automatic compound excitation) 之應用	20— 69
2.1.9	磁場控制式換流機 (field-control converter)	20— 71
2.1.10	直流升壓機 (direct-current booster)	20— 71
2.1.11	變壓器電壓及連結	20— 71
2.2	一般設計	20— 73
2.2.1	換流機與直流發電機之相似性	20— 73
2.2.2	換流機之重量、速度及效率	20— 74
2.2.3	25 週與 60 週換流機之比較	20— 75
2.2.4	換向器之設計 (commutator design)	20— 75

2.2.4.1	同步換流機換向器之設計	20— 75
2.2.4.2	換向器之通風	20— 75
2.2.4.3	電樞均壓環之連接 (armature equalizer connections)	20— 76
2.2.4.4	阻尼繞組 (damper windings)	20— 76
2.3	同步換流機之特性	20— 76
2.3.1	無載飽和曲線	20— 76
2.3.2	同步換流機之損失	20— 76
2.3.3	同步升壓式換流機之額外損失 (additional losses)	20— 76
2.3.4	同步換流機之追逐現象 (hunting)	20— 77
2.3.5	能源之中斷	20— 77
2.4	一般應用	20— 77
2.4.1	同步換流機與電動發電機組 (motor-generator set) 之比較	20— 77
2.4.1.1	效率 (efficiency)	20— 78
2.4.1.2	所需場地 (floor space)	20— 78
2.4.1.3	成本 (cost)	20— 78
2.4.1.4	可靠性 (reliability)	20— 78
2.4.1.5	電壓控制 (voltage control)	20— 78
2.4.1.6	功率因數控制 (power factor control)	20— 78
2.4.2	同步換流機鐵路、工業電力等供電	20— 78
2.4.2.1	鐵路供電	20— 78
2.4.2.2	照明及電力供電	20— 79
2.4.2.3	工業動力供電	20— 79
2.4.2.4	化學工業用電	20— 79
2.4.2.5	三線直流電路供電	20— 79
2.5	同步換流機之操作	20— 79
2.5.1	交流自身起動 (alternating current self-starting)	20— 79
2.5.2	逆極性交流自身起動 (reversed polarity with A. C. self-starting)	20— 81
2.5.3	直流自身起動	20— 81
2.5.4	交流馬達起動法	20— 82
2.5.5	同步換流機之整步法 (method of synchronizing)	20— 82

2·5·6	同步換流機之並聯操作	20— 83
2·5·7	同步換流機直流側負載分配	20— 83
2·5·8	不適當負載分配之校正	20— 83
2·5·8·1	串聯——並聯電阻之調整	20— 83
2·5·8·2	在串聯磁場與均壓器匯流排間引線中插入電阻	20— 83
2·5·8·3	改變變壓器比	20— 84
2·5·8·4	輕載換流機電路中增加電抗	20— 84
2·5·8·5	改變二換流機相關之並激磁場電流	20— 84
2·5·9	負載分配研究	20— 84
2·5·10	同步換流機與其他設備之並聯操作	20— 84
2·5·10·1	直流發電機	20— 84
2·5·10·2	汞弧整流器	20— 85
2·5·11	同步換流機之保護	20— 85
2·5·11·1	變電所內斷路器引起之交流供電中斷	20— 85
2·5·11·2	變電所戶外交流供電之中斷	20— 85
2·5·11·3	低交流電壓，具有換向極之換流機需要更完備之保護	20— 85
2·5·11·4	高電壓換流機之保護	20— 85
2·5·11·5	電刷之火花現象	20— 85
2·5·11·6	降壓跳動或閃火現象 (bucking or flashing)	20— 86
2·6	同步換流機之試驗	20— 86
2·6·1	無負載試驗	20— 86
2·6·2	負載反饋法	20— 86
2·6·2·1	直流側補償損失之方法	20— 87
2·6·2·2	交流側補償損失之方法	20— 87
2·6·2·3	直流側使用升壓器之方法	20— 87
2·6·3	相位特性試驗	20— 88
2·7	電動發電機 (dynamotors)	20— 88
2·7·1	一般敘述	20— 88
2·7·2	電樞反應	20— 88
2·7·3	換向 (commutation)	20— 89
2·7·4	電壓調整	20— 89
2·7·5	電動發電機和升壓器合併	20— 89
2·7·6	電話電鈴系統用特殊型電動發電機	20— 89
2·7·7	電動發電機之其他用途	20— 89

第二十篇

整流器及換流機

皇甫圻

第一章 整 流 器

1.1 汞弧整流器之理論及特性

1.1.1 汞弧整流器之理論

以汞（水銀）爲陰極，鐵或石墨爲陽極，使產生汞蒸氣弧（arc），則其電流具有向一個方向流通之性質，若連接於交流電源與負載之間，則負載側將流通一定方向之電流，即直流，如此使交流變換爲直流之裝置稱爲汞弧整流器（mercury arc rectifier）。

1.1.1.1 原理：汞在常溫時爲液態。凝固點 -38.85°C ，沸點 357.25°C ，電離電壓 10.4 eV。如以汞爲電極，使其產生電弧，則汞將蒸發而形成汞蒸氣，電離而可通過多量之電流，凝結則再復原爲液態之汞，流回至電極。2~3 公斤之汞，可以通過 100 A 之電流，並能維持汞弧繼續不斷。但汞在空氣中有受氧化及其他之影響，故須在高度真空中使其產生電弧。

（1）汞弧之成立：以汞爲電極，在真空中點燃電弧，則在該陰極之汞面上放出青白色的光，並產生活潑移動之強光點，稱爲陰極點（cathode spot）。該點溫度約爲 $2,000^{\circ}\text{C}$ ，使汞強烈的蒸發並放射出電子。電子被加速向陽極以高速度移動，並衝擊汞蒸氣形成多數之正負離子（ion），流通電流，陽離子並衝擊陰極供應動能。衝擊陰極時，陽離子之速度約達 200 m/s，並被限制於狹小的空間，電流密度達 $4,000\text{ A/cm}^2$ ，而動能將變成熱能，局部的提高溫度，形成放出強光之陰極點，供給放電所必要之汞蒸氣及電子。故陰極是直接影響汞弧之成立，陽極並非成立汞弧之直接條件。

（2）整流作用之功效：如要點燃交流汞弧，則任何一電極（陰極或陽極）爲正或負極性都須產生陰極點，故兩極皆需使用汞；但是點燃直流汞弧，則僅陰極使用汞即可，陽極則使用不與汞作用之鐵或石墨。如一電極使用鐵或石墨，則當

汞電極為負電極性時方形成陰極點，而正極性時不能產生陰極點，故亦不能點燃電弧。因此將其連接交流電路，則當汞電極為負性之半波可通過電流，而其他半波使汞電極為正性，故不能通過電流，以是完成整流之作用

(3) 陰極位降 (cathode drop)：在汞陰極表面附近厚度約 5×10^{-6} cm 部份，有約 7~8 V 之電壓位降，稱為陰極位降，並產生 1.3×10^6 V/cm 程度之強電場 (field)，一般均認為以高電場放射或冷陰極放射，使電子從汞原子之拘束中引出，以供給電離所需之大部份電子，而由陰極點溫度所產生之熱電子放射，僅佔小部份。據陰極位降每一安培之電力損失 (瓦特數) 係與陰極位降之伏特數相等，除一部份由於放射、傳導損失能量外，消耗於汞之蒸發熱及給予電子之能量。殘留於陰極之陽離子，被從陰極飛出之電子衝擊而改變其道路，故陰極點亦時刻在改變其位置。

(4) 陽極位降 (anode drop)：因陽離子被陽極反射而向陰極移動，故在陽極附近電子之數量比陽離子多，陽極就被電子包圍，由於空間電荷效應之關係，電子欲達到陽極就需相當之電場強度，並形成陽極位降，鐵陽極為 6.3 V、石墨陽極為 4.8 V，通常電流密度為 8~25 A/cm²，而溫度在 600~800°C 呈赤熱之狀態。

(5) 等電游離氣位降 (plasma drop)：汞蒸氣之原子，由於衝擊電離之結果，分為陰陽離子，故弧通路中，存在着幾乎相等數量之陰陽離子，不必考慮空間電荷效應，如此之放電稱為「等電游離氣放電」，而陽離子與電子共存之部份，稱為「等電游離氣」，因無空間電荷效應，故電位之傾度小，約為 0.05 至 0.2 V/cm，受汞蒸氣之壓力及電流之大小而變異。

(6) 電弧位降 (arc drop)：陰陽兩極之位降加上等電游離氣內之電位降，總稱為電弧位降。對汞弧整流器言，當器內之氣體壓力在 10 μ Hg 以下，汞蒸氣壓力在 100 μ Hg 之程度時，電弧位降最小，其值在 20 V 上下，不受整流電壓及電流之影響，為近乎一定之數值，此為其特徵。

1•1•1•2 整流波形及電壓比：汞弧整流器之接線如圖 20•1•1 (a) 所示，將變壓器二次線圈星形結線之中性點連接負載之負極，變壓器二次線圈之各出線端連接整流器之各陽極，整流器之汞陰極連結負載之正極。

(1) 汞陰極之電位：整流器內發生電弧時，汞陰極之電位，為點燃電弧陽極之電位減去 20 V 之值，在圖 20•1•1 (b) 由 e_1, e_2, e_3 表示陽極電位 (變壓器二次線圈之電勢) 曲線，平均降低 20 V 所成之曲線表示之。

(2) 點燃電弧之陽極：由汞陰極飛出之電子，將向電位較汞陰極高之陽極進行，該接受電子點燃電弧之陽極，在同一時刻，必須在更高之電位。因此在圖

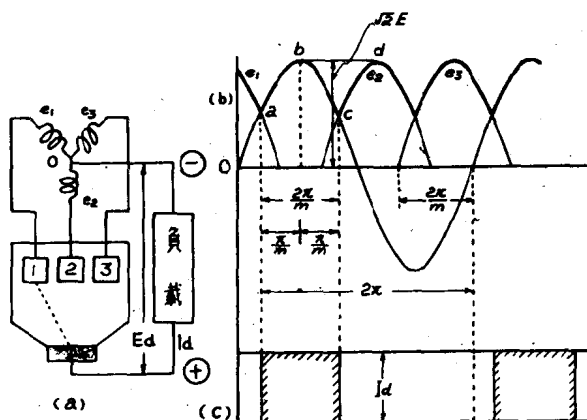


圖 20-1.1 整流電壓波形及陽極電流波形
(無電抗 reactance)

20-1.1 中，使陽極 1 通過電弧是在含有最大值之 abc 部份 [(b) 圖]，而其期間為 $2\pi/m$ (m 為相數)。同樣情形，使陽極開始產生電弧，係 e_1 與 e_2 之交差點 c [(b) 圖]。

(3) 整流電壓之波形：連結圖 20-1.1 (b) 所示正弦波 e_1, e_2, e_3 之頂部，形成曲線 abcd……，即表示汞弧整流器陽極之電位曲線；若不考慮電弧位降，則變壓器二次側線圈之中性點與汞陰極間之電壓，亦即整流電壓之波形仍以曲線 abcd 表示之。

(4) 直流電壓：直流電壓係與波形無關，故取其平均值表示之，若不考慮電弧位降，則計其曲線 abcd 之平均值以求得之。

$$e_1 = \sqrt{2} E \cos \omega t$$

$$E_d = \frac{m}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{m}}^{\frac{\pi}{m}} e_1 d\omega t = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} \quad (20-1.1)$$

上式 E = 變壓器二次相電壓 (實效值)

E_d = 直流平均電壓

m = 相數

1.1.1.3 變壓器二次視在功率 (apparent phase power)：汞弧整流器之陽極如圖 20.1.1 所示，在一週期中，僅有 $1/m$ 期間產生電弧，而其他之期間均在休止之狀態，故變壓器之二次線圈只有斷續的通過電流，故與通過正弦波交流之普通變壓器有顯然之差異。

(1) 直流負載電流：直流側之負載為純電阻之情形甚少，一般情形，均帶有相當之電感 (inductance)，故如整流電壓為脈動形 [如圖 20.1.1 (b)]，其負載電流仍不相應變動而形成相當平滑之波形，在計算上，直流負載之電流，係以平滑之直流 I_d 值表示之。

(2) 陽極電流之波形及實效值：流過某一陽極，假設為圖 20.1.1 (a) 之陽極 1 之電流波形，在一週期中僅 $2\pi/m$ 流過不變電流 I_d ，其波形為斷續方形波如 (c) 圖中之斜線部份。實效值 I_a 可依下列公式求得，變壓器二次線圈之銅損及溫度上升均依此而定之，並可以相等於實效值之正弦交流電實驗。

$$I_a = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \times \frac{2\pi}{m} I_d^2} = \frac{I_d}{\sqrt{m}} \quad (20.1.2)$$

(3) 直流側之輸出功率：由以上之關係，直流側之輸出功率 P 可以下列公式求得：

$$P = E_d I_d = \frac{\sqrt{2m} \sqrt{m} \sin \frac{\pi}{m}}{\pi} E I_a \quad (20.1.3)$$

(4) 變壓器二次視在功率 (或變壓器二次容量)：加於變壓器二次線圈之視在功率 (m 相份)，即變壓器二次線圈應有之容量 P_2 ，可以下列公式求得，且相等於正弦波交流負載之容量。

$$P_2 = m E I_a = \frac{\pi}{\sqrt{2} \sqrt{m} \sin \frac{\pi}{m}} \cdot P \quad (20.1.4)$$

(5) 二次視在功率因數 (apparent phase power factor)：變壓器二次線圈之功率與直流側之輸出功率 P 相等，而其視在功率為 P_2 ，故設變壓器二次線圈之視在功率因數為 $\cos \theta_2$ ，則可以下列公式求得：

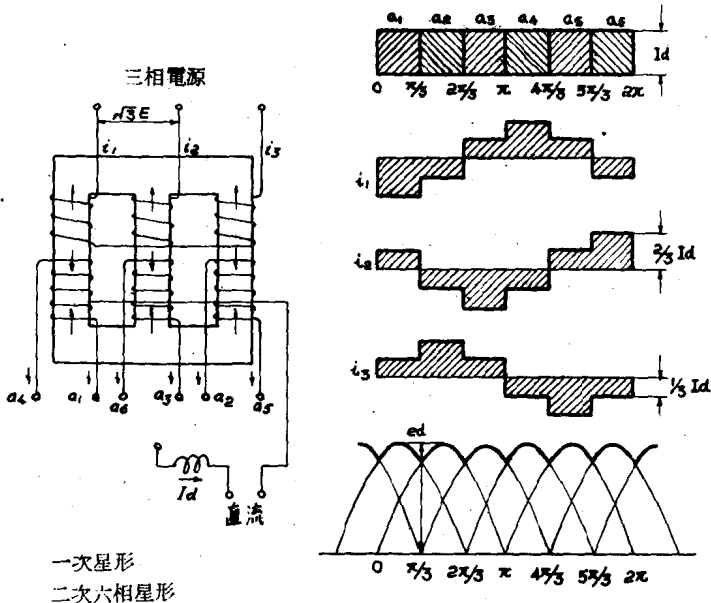
$$\cos \theta_2 = \frac{P}{P_2} = \frac{\sqrt{2m} \sin \frac{\pi}{m}}{\pi} \quad (20.1.5)$$

如相數 m 愈多，則功率因數愈低，當 $m=3、6、12$ 時， $\cos \theta_2=0.676、0.552、0.403$ 。

1.1.1.4 變壓器一次視在功率：流過變壓器二次線圈之直流，並不能流過一次線圈，故整流器用變壓器之一次線圈所流過之電流波形，顯然為非對稱形。

為緩和其波形，通常使用多相變壓器，使各相之電流相互連鎖，而使之呈近似正弦波之情形。由於接線法之不同。其一次電流之波形亦將相異，故每一種情形，均需分析檢查其接線，否則無法確定。又如一次線圈之安培匝與二次線圈之安培匝 (ampere turns) 使之相等，則如一次電流消失，將產生殘留磁勢 (magnetomotive force)。茲舉例說明如后：

(1) 一次星形、二次六相星形：將三相變壓器之一次線圈以星形連結、二次線圈以六相星形連結，連結整流器時，變壓器一次電流將如後述情形決定之。參考圖 20•1•2。不考慮變壓器之勵磁電流及假定其線圈比為 1。



變壓器一次線圈電流為 i_1, i_2, i_3 ，陽極電流為 $a_1, a_2, \dots, a_6$ ，直流負載電流為 I_d ，則由變壓器軛鐵 (yoke) 間之磁勢 (M. M. F.) 及電流之條件，其一次線圈之電流將為：

$$i_1 + a_1 - a_4 = i_2 + a_2 - a_5 = i_3 + a_3 - a_6,$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$i_1 = \frac{1}{3} (-2a_1 - a_2 + a_3 + 2a_4 + a_5 - a_6)$$

$$i_2 = \frac{1}{3} (a_1 - a_2 - 2a_3 - a_4 + a_5 + 2a_6)$$

$$i_3 = \frac{1}{3} (a_1 + 2a_2 + a_3 - a_4 - 2a_5 - a_6)$$

依此作圖，變壓器一次線圈電流 i_1, i_2, i_3 將如圖 20.1.2 所示，呈近似正弦波之階段式波形，而得下列結果：

M = 殘留磁勢

N = 變壓器各線圈之圈數

I_P = 一次線圈電流之實效值

P_1 = 變壓器一次視在功率（一次容量）

P_{av} = 變壓器平均容量

P = 直流側輸出功率

$\cos \theta_1$ = 一次視在功率因數。

$$M = N (i_1 + a_1 - a_4) = \frac{N}{3} (a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + a_5 - a_6)$$

殘留磁勢之頻率為電源頻率之三倍。

$$I_P = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{\pi}{3} \left[\left(\frac{1}{3} I_d \right)^2 + \left(\frac{2}{3} I_d \right)^2 + \left(\frac{1}{3} I_d \right)^2 \right]} = \frac{\sqrt{2}}{3} I_d$$

$$P_1 = 3EI_P = \frac{\pi}{3} P = 1.05 P$$

$$P_{av} = \frac{P_1 + P_2}{2} = 1.43 P$$

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{P_1} = \frac{3}{\pi} = 0.955$$

(2) 一次三角、二次六相星形：圖 20.1.3 (a) 表示變壓器一次線圈為三角結線、二次仍為六相星形之情形。圖 20.1.3 (b) 之 +, - 係當 (a) 圖中箭頭所示之方向為正時，線圈電流之方向。變壓器一次電流及容量，將如下述之數值。又 I_L 係電路電流， P_L 及 $\cos \theta$ 係電源電路之視在功率及視在功率因數。

$$I_P = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{6} [I_d^2 + (-I_d)^2]} = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

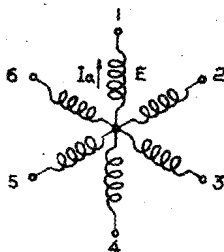
$$I_L = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{6} [I_d^2 + (-I_d)^2 + (-I_d)^2 + I_d^2]} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d$$

$$P_1 = 3EI_P = 1.28 P$$

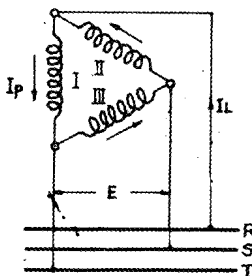
$$P_{av} = \frac{P_1 + P_2}{2} = 1.55 P$$

$$P_L = \sqrt{3} E I_L = 1.05 P$$

$$\cos \theta = \frac{P}{P_L} = 0.955$$



	2x						
1	+						I _a
2		+					
3			+				
4				+			
5					+		
6						+	



(a)

I	+			-			I _p
II			+			-	
III		-			+		

R	+		-	-		+	I _L
S		+	+		-	-	
T	-	-		+	+		

(b)

一次三角 二次六相星形

圖 20-1.3 變壓器一次及電路電流

1.1.1.5 變壓器電抗之影響：以變壓器線圈通過方形波電流，以上 1.1.1.2、1.1.1.3、1.1.1.4 各節所說明之理論，係不考慮變壓器之洩漏電抗方可成立，而實際上，由於變壓器電抗之影響，電流既不連續的急增，亦非突然消滅，而以一增加率流通或以一減少率衰減，因此必續的，陽極通電時間延長，相鄰相之陽極，可能同時點燃電弧，而產生重疊通過電流之期間。

(1) 陽極電流之波形：當陽極 1 之電位 e_1 與陽極 2 之電位 e_2 相等之時刻為時間 t 之起點 [圖 20-1.4 (c)]。當 $t=0$ 時，電弧應由陽極 1 移至陽極 2，但陽極電流事實上不可能突然降為零，又 i_{a1} 亦不會突然變為 I_a ，故如圖 (d) 所表示， i_{a1} 之波形延伸，而陽極 1 與陽極 2 同時點燃電弧 [圖 (a)]，

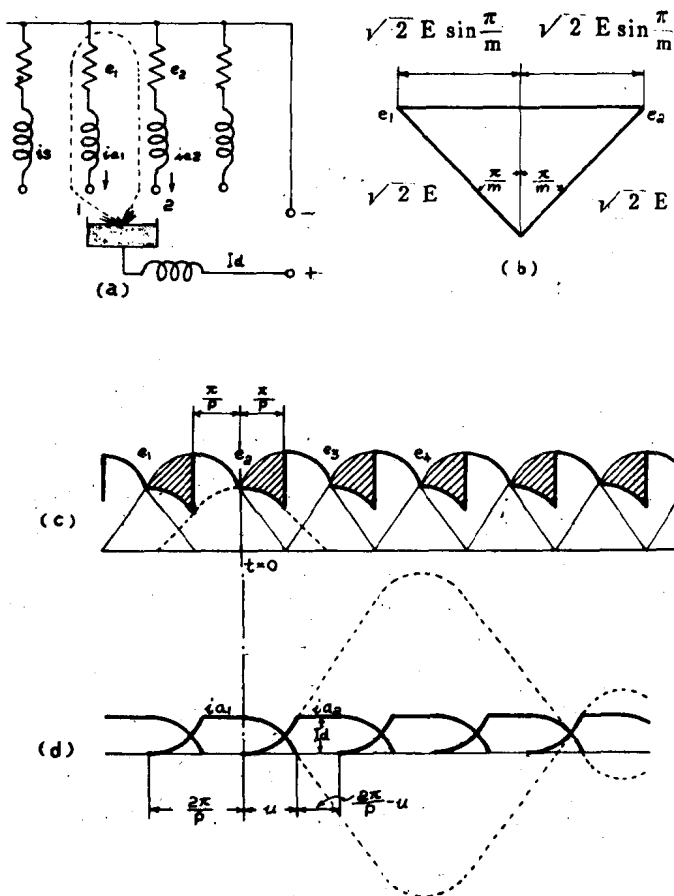


圖 20-14 整流電壓及陽極電流受變壓器電抗之影響

在此重疊期間之 i_{a1} 與 i_{c2} 之波形，將可以下列公式求得：

$$i_{a1} + i_{c2} = I_d$$

如 X = 換算成二次側之變壓器電抗

則

$$i_{a1} = I_d \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{m}}{X} (1 - \cos \omega t)$$

$$i_{a1} = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{m}}{X} (1 - \cos \omega t)$$

(2) 陽極電流之分析：若 (b) 圖所示 e_1 與 e_2 之向量差最大值為 $2\sqrt{2}$

$E \sin \frac{\pi}{m}$ ，則 $\frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{m}}{X}$ 為陽極 1 與陽極 2 之間短路電流 i_s ，[圖 (a)] 之最大值。

設 i_s 之實效值為 I_s ，則 $i_s = \sqrt{2} I_s (1 - \cos \omega t)$

$$I_s = \frac{E \sin \frac{\pi}{m}}{X} \quad (20 \cdot 1 \cdot 6)$$

圖 (d) 中以點線描繪之正弦波表示 I_s 。換言之， i_{s1} 為 i_s 曲線之一部份，而 i_{s1} 為 I_s 與 i_s 之差。

(3) 重疊角 (superposition angle)：以 $t=0$ 為時間之起點，則陽極 1 之電流由 I_s 減至 $i_{s1}=0$ 。由 I_s 變到 $i_{s1}=0$ 之角 ωt 稱為重疊角。

設 μ 為重疊角，則可由下列公式求得：

$$\cos \mu = 1 - \frac{I_s X}{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{m}} \quad (20 \cdot 1 \cdot 7)$$

(4) 陽極電流之實效值：因受變壓器電抗之影響，陽極電流將如 (d) 圖中 i_{s1} 、 i_{s2} 所示，略不成方形波狀，而其實效值 I_a ，為不考慮電抗時之陽極電流，乘一補償係數。

$$I_a = \frac{I_s}{\sqrt{m}} \sqrt{1 - m \phi(\mu)} \quad (20 \cdot 1 \cdot 8)$$

請參照圖 20·1·10 及表 20·1·1。

$$\begin{aligned} \phi(\mu) &= \frac{(2 + \cos \mu) \sin \mu - (1 + 2 \cos \mu) \mu}{2\pi (1 - \cos \mu)^2} \\ &= \frac{2}{15\pi} \left(1 + \frac{\mu^2}{84} + \dots \right) \end{aligned}$$

(5) 整流電壓之波形：重疊角之期間 (圖 20·1·4)，各陽極之電位 e_a ，係由變壓器之相壓及短路電流 i_s 合成電抗位降所致，其計算結果如下列公式：

$$e_a = \frac{e_1 + e_2}{2}$$

整流電壓之波形如 (c) 圖所示，為齒形波狀之脈動波。

(6) 電壓位降：在不考慮受變壓器電抗所引起之影響，如陽極電位 e_a 與整