

# 交 流 計 算 盤

金 禎 鎮

## I. 序 言

### (1) 概 說

電力系統의 運營에 있어서 例컨대 損失電力의 減少라든가 安定한 運轉의 檢討 또는 電力系統의 計劃時에 있어서 經濟的인 送電線 및 變電所의 建設地點選定, 送電網構成方法, 故障時의 對策等を 決定하는데 있어서는 이에 關한 各種 計算을 할 必要가 생기게 된다. 그러나 複雜한 電力系統에 있어서 이들 問題를 사람이 直接 計算 解決한다는 것은 容易한 일 이 아니며 必要로 하는 많은 時日과 努力 및 이에 比한 그 結果의 不的確等으로 모든 問題를 다 計算하여 解決한다는 것은 바랄 수 없었다. 이와같은 電力系統의 計算을 短時間에 또한 正確하게 可能하도록 한 것이 交流計算盤이다. 交流計算盤은 多數의 模擬發電機, 可變抵抗, 可變 Inductance, 可變 capacitance, 變壓器等の 單位를 備置하고 이들 單位를 連結하여 實際電力系統과 같은 模擬回路를 만들고 各部의 電壓, 電流, 電力, 位相等의 諸量을 測定함으로써 實系統의 諸特性을 迅速히 把握 分析하게 한 것으로서 計算機의 分類中에서는 Analogue 型의 直接形에 屬하며 特히 이 交流計算盤은 直接相似形인 計算裝置이다.

### (2) 交流計算盤의 歷史

交流計算盤은 1929年 美國에서 M. I. T. G. E. W. H. 에 依하여 처음으로 開發되었으며 電力問題의 解明에 있어 二 眞價를 認定받은 後 高價임에도 不拘하고 設置臺數는 점점 增加하여 現在 世界에 著名한 것만도 70餘臺 以上을 헤아리게 되었다(交流計算盤의 값은 그 規模에 따라 다르지만 大略 1臺에 數 10 萬弗임).

우리 나라에는 아직 이 交流計算盤이 없으나 가까운 日本에는 1951年에 設置되었고 그 후 設置臺數는 急增加하여 研究所, 電力會社, 學校等の 것을 합하면 20餘臺에 이르고 있으며, 臺灣電力公司에도 1961年에 設置되었다.

### (3) 交流計算盤과 다른 電子計算機와의 相違

最近 電子計算機로서 脚光을 받고 있는 것으로 Analogue computer 와 Digital Computer 가 있어

電力系統分析에도 萬能計算機라고도 불리는 Digital computer가 漸次 使用됨으로서 交流計算盤의 効用性이 減少되어가는 듯한 感을 주고 있으나 Digital computer는 本質的으로 四則演算을 하는 것으로서 問題를 풀름에 있어 우선 方程式을 만들고 다시 計算機에 適合한 program으로 고쳐야 한다. 또한 方程式을 만들고 數字를 내노아도 元回路의 상태는 모르며, 解를 얻어도 途中狀況을 모르고 解의 結果에서 系統의 一部를 變更하며는 먼저의 方程式은 그대로 쓸 수 없게 되어 처음부터 다시 하여야 한다. 이와 같은 方程式을 만드는 困難性과 計算機를 動作시키기 以前의 많은 努力과 時間, 熟練을 要하는 點 및 그밖에 前述한 바와 같은 不便性이 있는데 對하여 交流計算盤은 直接相似形이므로 方程式 program이 不必要하고 그밖에 操作도 簡便하여 特別한 熟練과 머리를 쓰지 않고서도 使用할 수 있다.

## II. 交流計算盤의 基本原理 및 構造

交流計算盤은 實電力系統의 電壓, 電流를 그대로 縮小하는 것이 아니고 모두 規準化하여 P. U.(per unit = 100%)值로 取扱한다. 三相送電線路의 線間電壓을 V(KV)線電流를 I(A)라 하면 皮相電力 (KVA)는

$$(KVA) = \sqrt{3} VI (KVA)$$

이다. 여기서 어떤 一定한 規準(BASE)電力值

$(KVA)_0 = \sqrt{3} V_0 I_0$ 를 定하고 이것과의 比를 P. U. 值로 한다. 即

$$\frac{(KVA)}{(KVA)_0} = \text{per unit KVA} = \overline{(KVA)}$$

로 한다. 마찬가지로

$$P. U. \text{ 電壓} = \bar{V} = \frac{V}{V_0}$$

$$P. U. \text{ 電流} = \bar{I} = \frac{I}{I_0}$$

또한 電路의 一線當 Impedance를 Z(OHM)라 하면

$$Z = \frac{V \times 1000}{\sqrt{3} I}$$

이데 基準의 電壓 電流值로는

$$Z_0 = \frac{V_0 \times 1000}{\sqrt{3} I_0} = \frac{V_0^2 \times 1000}{(KVA)_0}$$

故로 P. U. Impedance는

$$Z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{\bar{V}}{I} = \frac{Z(\text{KVA})_0}{V_0^2 \times 1000}$$

마찬가지로 P. U. Admittance 는

$$Y = \frac{Y}{Y_0} = \frac{I}{V} = \frac{YV_0^2 \times 1000}{(\text{KVA})_0}$$

가 된다. 上記 P.U. 値는 모두 無單位 數值이다. 交流 計算盤은 이 P. U. 値로서 回路를 構成하고 計算하는 것이다. P. U. 値로서는 第1表와 같은 値를 使用하고

이다(第1圖 参照). 同期發電機의 單相等價回路는 第1圖 (b)로 表示되며 出力電力  $P$  및 無効電力  $Q$ 는 次式으로 表示된다.

$$P = \frac{E_0 E}{X} \sin \theta \quad (\text{W})$$

$$Q = \frac{(E_0 \cos \theta - E) E}{X} \quad (\text{VAR})$$

$E_0$  = 內部 또는 無負荷起電力

第 1 表

計算盤種類	P.	U.	值			周波數
美國 W. H.	100 V	1 A	100 W	100 $\Omega$	440 c/s	
〃 G. E.	50 V	50 mA	2.5 W	1000 $\Omega$	480 c/s	
日本 Y. E. W.	10 V	100 mA	1 W	100 $\Omega$	3980 c/s	
獨逸 A. E. G.	100 V	100 mA	10 W	1000 $\Omega$	250 c/s	
〃 Siemens	50 V	50 mA	2.5 W	1000 $\Omega$	150 c/s	
英國	0.5 V	5 mA	2.5 W	100 $\Omega$	1592 c/s	

있다.

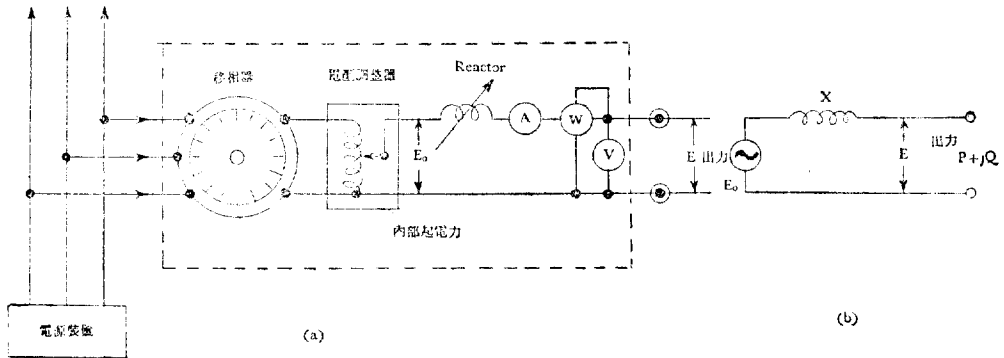
周波數도 實系統과는 無關係로 選擇할 수 있지만 經濟的으로 普通 高周波를 使用하고 있다. 使用되는 周波數는 第1表와 같으며 500 C/S 程度의 것까지는

(勵磁에 依하여 定하여짐)

$E$  = 端子電壓

$X$  = 同期 Reactance

$\theta$  =  $E_0$  와  $E$  사이의 電氣角度



第1圖 發電機單位的 構造

一般으로 回轉式 高周波發電機로서 計算盤의 電源으로 하고 있으며, 數 KC/S 程度의 것은 發振器를 使用하고 있다.

交流計算盤의 基本的 構成單位는 다음과 같다.

(1) 電源裝置

計算盤의 電源裝置로서 回轉式 高周波發電機 或은 發振器를 使用하고 있다.

(2) 發電機單位

電力系統의 發電所나 發電機를 模擬하는 것으로 交流計算盤에서는 靜止形의 發電機單位를 使用한다. 發電機單位는 電壓調整器, 移相器 및 同期 Reactance 를 表示하는 可變 Reactance 로서 構成되는 單相電源裝置

即  $\theta$  에 依해서 主로 電力이  $E_0$  에 依해서 無効電力이 變한다. 또  $X$  의 크기는 낼수 있는 最大電力을 支配하며 大容量의 發電機일수록  $X$  는 작은 값이 된다. 交流計算盤의 規模는 發電機單位的 數로서 表示된다. 그리고 最近의 發電機單位에는 移相器나 電壓調整器를 Servomotor 로 驅動하여 出力을 自動的으로 調整하는 것과 또한 移相角의 時間的變動을 模擬하는 것이 만들어지고 있다.

(3) 線路單位

送電線이나 變壓器等的 Impedance 를 模擬하는 것으로 可變抵抗과 可變 Reactance 를 直列로 한 것이다. 線路의 靜電容量을 無視할 수 없는 것에 있어서는

$\pi$ 型 또는 T型的 等價回路가 되도록 後記하는 容量單位를 分路한다. 이 밖에 처음부터 容量單位를 함께 가지고 있는  $\pi$ 單位를 具備하고 있는 計算盤도 있다.

#### (4) 容量單位

線路의 靜電容量이나 電力用蓄電器를 模擬하는 것으로 可變 Capacitance 를 가지고 있다.

#### (5) 負荷單位

送電系統에 接續되는 負荷를 模擬하는 것으로 可變 抵抗 및 可變 Reactance 를 並列로 한 것이다. 接續點의 電壓에 應하여 一定한 負荷가 되도록 이에 加해지는 電壓이 항상 一定值가 되게 手動 或은 自動的으로 調整되는 것도 있다.

#### (6) 單卷變壓器單位

變壓器의 Tap 變化 即 變壓比의 變化를 模擬하는 것으로 定格變壓比로부터의 變化率을 單卷變壓器로 代表시킨다.

#### (7) 相互結合單位

回線間의 相互結合, 不平衡故障을 模擬하는 경우의 對稱分回路의 接續용으로 使用된다.

#### (8) 主計測裝置

模擬된 回路各部의 電壓, 電流, 電力, 無効電力, 位相角을 測定하는 것으로 이 測定을 迅速 正確히 하기 爲하여 精密級의 計器와 測定器를 가지고 있으며 測定 母線과 引出 스위치 繼電器를 備置하여 計器를 回路에 選擇的으로 插入에하여 많은 測定을 便利하게 하고 있다. 또한 計器에는 安定한 増巾器가 달려 있어 被測定 回路에 거의 擾亂을 주지 않도록 되어 있다. 最近에는 이 測定과 記錄을 더욱 더 迅速 正確 便利하게 하기 爲하여 計器에 自動平衡計器, Auto-Range 選擇裝置, Digital 計器를 採擇하고 있으며, 穿孔 tape 에 依하여 自動的으로 Typewriter 에 印字하거나 或은 直接 系統圖上에 印字하게 만든 것이 製作되고 있다.

#### (9) 接續盤

回路網을 構成하는 部分으로서 各單位의 兩端은 이 接續盤에 連結되어 있다.

#### (10) 其他裝置

上記의 諸單位 및 裝置以外에도 計算盤의 取扱을 便利 迅速化하기 爲하여 記錄卓, 對稱分合成器等的 附屬 裝置와 位相角動記錄計, 綜合損失記錄計, 位相調整變壓器單位 등이 備置되어 있는 것도 있다.

### Ⅲ. 交流計算盤의 機能과 用途

交流計算盤은 電力系統의 여러가지 問題를 計算하여 풀 수 있는데 이것을 다음의 4 分類로 나눌 수 있다.

(1) 負荷의 分配 或은 潮流問題  
이것은 定常狀態의 電壓變動率, 電力潮流等に 關한 問題로서

- 1) 回路各部에 있어서의 有效 및 無効電力, 電壓, 電流 및 位相角
- 2) 變壓器의 容量, 最適 Tap 및 Tap 範圍의 決定
- 3) 調相機容量의 決定
- 4) 新設發變電所의 位置 決定
- 5) 現存送電系統構成을 變更하는 경우의 影響調査
- 6) 新設 送電線의 效果
- 7) 送電損失 및 이의 減少方法
- 8) 位相制御에 의한 改善
- 9) 系統電壓上昇의 影響 等

#### (2) 短路問題

이것은 平衡 및 不平衡故障에 關한 問題로서

- 1) 遮斷器의 遮斷容量의 決定
- 2) 繼電器 設定值의 決定
- 3) 誘導障害을 일으키는 零相電流의 決定
- 4) 接地變壓器容量의 決定
- 5) 接地地點의 決定
- 6) 直接接地 또는 消弧線輪等的 影響 等

#### (3) 安定度問題

- 1) 安穩安定度, 極限電力
- 2) 故障時의 過渡安定度
- 3) 各種 故障時의 繼電器動作時間의 決定
- 4) 高速 再投入遮斷器의 影響
- 5) 遮斷器의 遮斷時間이 安定도에 미치는 影響
- 6) 回轉機의 慣性定數의 影響
- 7) 中性點 接地 Impedance 의 影響
- 8) 制動卷線 및 調速器動作의 影響
- 9) 系統構成에 의한 影響 等

#### (4) 特殊回路 및 其他的 問題

- 1) 大熔接裝置 또는 電氣爐의 系統電壓 및 負荷에 미치는 影響
- 2) 複雜한 系統을 單純한 等價回路로 하는 것.
- 3) 特殊回路問題: 例컨데 直列蓄電器付送電線
- 4) 流體網系의 問題 等

交流計算盤의 使用實績에서 보면 問題別의 使用率은 負荷의 分配 或은 潮流問題가 70~80%로 으뜸이고 다음으로 安定度問題, 短路問題의 順이다.

### Ⅳ. 交流計算盤 解法에 必要한 DATA

交流計算盤으로 問題를 푸는 경우 풀고자 하는 問題의 性質에 따라 DATA의 種類는 多少 틀리지만 一般的으로 第2表와 같다.

第 2 表

問題의 種類 系統內의 機器	電 壓 調 整 電 力 潮 流	故 障 計 算	安 定 度
發 電 機 同 期 調 相 機	KW 出力 KVAR 의 限度 電壓의 限度	定格 KVA 力率, 電壓 Impedance (過渡, 次過渡 및 零相)	左記外에 速度 回轉部의 慣性定數
變 壓 器	抵抗. Reactance 卷數比, 使用 Tap	抵抗. Reactance 定格卷數比*	抵抗. Reactance 卷數比, 使用 Tap*
Reactor 抵 抗	% Impedance KVA 또는 電流定格	% Impedance KVA 또는 電流定格, 時定格	% Impedance KVA 또는 電流定格
線 路	抵抗. Reactance 靜電容量	抵抗. Reactance**	抵抗. Reactance 靜電容量*
負 荷	KW 및 KVAR 電壓의 限度	普通 不要	KW 및 KVAR 電壓의 限度
開 閉 器 類	不 要	位 置 遮斷容量	位 置 遮斷容量 遮斷 및 再閉의 時間
保 護 繼 電 器	不 要	位置, 型 現在 또는 豫定設定值	位置, 型 現在 또는 豫定設定值 平均動作時間

\* 接地故障을 取扱하는 境遇는 零相 Impedance 靜電容量 變壓器의 接地 非接地等도 必要.

V. 交流計算盤의 取扱法

(1) 一般의 順序

計算의 順序는 普通 다음 단계로 行하여진다.

- 1) 回路定數를 一定한 Impedance 基準으로 換算한다.
- 2) 計算盤上에 單相接續한다. 不平衡問題는 對稱座標法에 依한 正相, 逆相, 零相回路 接續을 한다. 또한 特別한 問題는 三相接續을 한다.
- 3) 各單位의 Impedance 나 Tap 值의 設定을 한다.
- 4) 發電機單位의 位相, 電壓, 負荷의 值, 變壓器 Tap 等을 豫定된 條件이 되도록 調整한다.
- 5) 回路의 各部를 主計測器로 測定한다.
- 6) 測定結果를 實系統의 量으로 換算한다.

(2) Impedance 의 換算

交流計算盤에서는 前述한 바와 같이 三相送電線을 單相回路로 表示하고 定格線間電壓을 基準의 100% 로 하고 基準電流 100% 는 KVA 에 比例해서 定한다. 即

$$\text{BASE AMP} = \frac{\text{BASE KVA}}{\sqrt{3} \text{ BASE KV}}$$

Impedance 는 相電壓과 電流에서

$$\text{BASE OHM} = \frac{\text{BASE KV} \times 10^3}{\sqrt{3} \text{ BASE AMP}}$$

$$= \frac{(\text{BASE KV})^2 \times 10^3}{\text{BASE KVA}}$$

Admittance 는

$$\text{BASE MHO} = \frac{1}{\text{BASE OHM}} = \frac{\text{BASE KVA}}{(\text{BASE KV})^2 \times 10^3}$$

% Impedance 는 實際線路의 Impedance 와 前記 基準值와의 比임으로

$$Z(\%) = \frac{Z(\Omega) \times 100}{\text{BASE OHM}} = \frac{Z(\Omega) \times \text{BASE KVA}}{(\text{BASE KV})^2 \times 10^3}$$

% Admittance 도 마찬가지로

$$Y(\%) = \frac{Y(\sigma) \times 100}{\text{BASE MHO}} = \frac{Y(\sigma) \times (\text{BASE KV})^2 \times 10^3}{\text{BASE KVA}}$$

$$b(\%) = \frac{b(\mu\sigma) \times 100}{\text{BASE MHO} \times 10^6} = \frac{b(\mu\sigma) \times (\text{BASE KV})^2}{\text{BASE KVA} \times 10}$$

가 된다.

上記에서 明白한 바와 같이 우선 基準 KVA 를 決定하여야 한다. 基準 KVA 는 大略 다음과 같이 選定한다.

1) 交流計算盤에 發生하는 電壓, 電流가 各單位的 許容電壓, 電流值를 超過하지 않을 것.

2) 電壓, 電流, 電力等이 主計測器의 測定範圍 以內일 것.

第 3 表

實回路의 最大 KVA	計算盤의 基準 KVA(100%值)	電力倍率
30000 以下	10000	100
30000~ 60000	20000	200
60000~ 120000	40000	400
120000~ 300000	100000	1000
300000~ 600000	200000	2000
600000~1200000	400000	4000

(電力倍率이란 電力計의 %指示에 乘하여야 할 值)

3) % Impedance의 값이 適當한 크기를 갖도록 할 것.

基準 KVA는 大體로 第3表와 같이 選定한다.

(3) 回路의 構成

Impedance 換算이 끝나면 電力系統의 單線圖를 그 리고 여기에 計算盤의 單位番號, 母線符號를 記入하고 이것에 依하여 接續盤上에서 回路를 構成한다.

(4) 測定 및 實系統의 量으로 換算

回路構成이 끝나면 各單位의 值를 設定하고 發電機의 出力을 調整하여 이 模擬系統을 豫定된 狀態로 한 후 回路의 各部를 主計測裝置로 測定한다. 이 測定結果를 實系統의 量으로 換算한 것이 所要의 解가 된다.

(西紀 1962年 6月 21日 刊受)

### 參 考 文 獻

- (1) 電子管式交流計算盤 藤木久男
- (2) Electric World. Vol 156. No 19.  
Nov. 6 1961.
- (3) 電氣計算. 第27卷 第9號 1960. 9.