論文 資料
9—6

동기기(同期機) 2대를 1대로 치환함으로써 제3기의 과도안정도에 미치는 영향

趙 健 纘

1. 서 론

많은 수의 동기기를 포함한 전력계통의 과도 안정도를 계산함에 있어서 각각의 동기기를 독립적으로 취급하는 것은 실제상 불가능하며, 따라서 몇 대의 동기기를 1대의 동가기로 치환하여 계통을 간략하게 하는 것이 보통이다. 그러나 이렇게 함으로써 피시험동기기의 안정도에 주는 영향은 상금도 문제로 되어있다. 본 실험의 목적은 그 영향을 여러가지 운전조건에 대하여 검토하여 정당한 등치법을 찾는 데 있다.

본실험은 불란서전력회사(Electricité de France)의 전력연구부(Direction des Etudes et Recherches)에 있는 미크로·레조(Microréseau, 微少電力系統)에 의하여 행하여 졌다.

이 장치는 교류전력계통의 과도상태의 분석 특히 과도안정도문제 분석연구에 적당하다. 그 이유는 실제계통을 그대로 3 상모의 계통으로 본딸 수 있게되었기 때문에

① 정확한것 : 과도안정도를 교류계산반으로 할 때는 차과도 또는 과도임피단쓰가 일정하다고 가정한다. 그러나 회전기의 임피단쓰는 차과도에서 과도, 과도에서 다시 동기 임피단쓰로 변화한다. 미크로·레조는 연구하고자 하는 전력계통의 회전기와 꼭 같은 특성을 가진 3상 동기기를 사용하기 때문에 실제계통의 특성을 그대로 나타낼 수 있다.

② 계산의 신속 : 교류계산반으로는 단단법을 사용하므로 상당한 시간이 필요하지만 미크로·레조에 있어서는 고장을 직접 만들어서 옷씨로그라프에 나타나는 내부유기 전력의 위상각을 직관함으로써 단시간에 그의 안정도를 판단 할 수 있다.

③ 제어조정장치가 각동기기에 설치되어 있으므로 이것이 과도 안정도에 미치는 영향을 알 수 있다.

2. 유사조건

실제전력계통을 미크로·레조에 유사시킴에 있어서 양자간의 다음과 같은 감쇠을 을사용 한다.

① 전기적유사

실제계통의 출력과 전압을 각각 S_N, U_N 이라고 한다.

이것을 미크로·레조에 모의하기 위하여서 $s_n=\lambda S_N$, $u_n=\mu U_N$을 사용한다. 즉 실제계통의 S_N, U_N은 미크로·레조에 있어서는 s_n, u_n에 해당한다. 따라서 패러미터 λ와 μ는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda=\frac{\text{미크로·레조의 정격출력}}{\text{실제계통의 정격출력}}$$

$$\mu=\frac{\text{미크로·레조의 전압}}{\text{실제계통의 정격전압}}$$

또 실제계통, 미크로·레조의 임피단쓰를 각각 Z, z라고 하면

$$z=\left(\frac{u_n}{U_N}\right)^2\cdot\frac{1}{\lambda}Z$$

는 자연히 결정된다.

② 기계적유사

I, Ω, P_n을 각각 실제계통의 1군(群)의 기계의 만성능률, 회전속도 및 출력이라고 하고 미크로 레조의 해당양을 각각 i, w, p_n이라고 하면 $p_n=\lambda P_n$, $iw^2/p_n=I\Omega^2/P_N=T$의 관계가 있다.

3. 미크로·레조의 구조개요

미크로·레조를 기계, 선로(부하포함) 조정장치 3부분으로 구성되었다.

3.1. 기계부

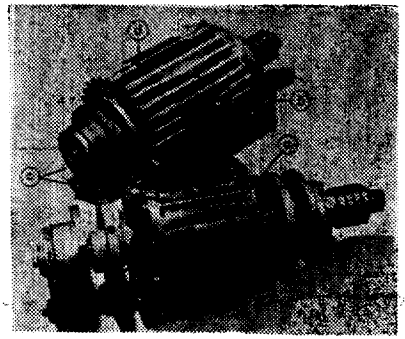
12대의 동기발전기가 있으며 각 발전기는 1,500 r.

제1도 기계실. (a)교류발전기 (b)직류전동기(터어빈) (c)교류발전기의 여자기 (d)직류전동기의 여자기 (e)직류전동기전원 (f)관성정수감속판 (g)내부 유기기전력의 위상각을 표시하기위한 교류기

서울大學校 工科大學

p.m, 50 싸이클이며, 직류 전동기로 운전된다.

이기계실의 외관은 제 1 도와 같으며 발전기의 회전자는 제 2 도와 같다.



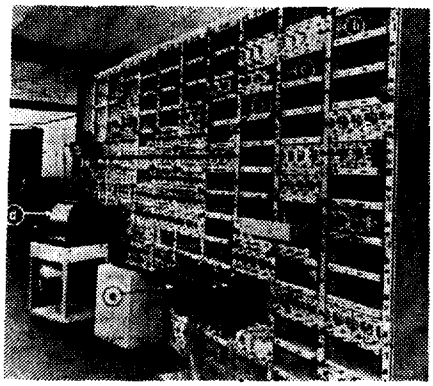
제 2 도 2 종류의 회전자. (a)초극(凸極)회전자 (b)원통형회전자 (c)제동권선 (d)자기(磁氣) 분로.

제 2 도(a)는 수력발전기 또는 동기조상기의 회전자를 표시하기 위한 초극회전자이며 (b)는 화력발전기의 회전자를 표시하기 위한 원통형회 전자이다.

실제계통을 미크로·레조에 유사시킴에 있어서 실제기계의 시정수는 미크로·레조의 그것보다 긴것이 보통이다. 따라서 미크로·레조의 고정자권선과 외부에서 적당한 리악탄쓰를 연결하는 것이 필요 할때도 있다.

3.2. 선로부

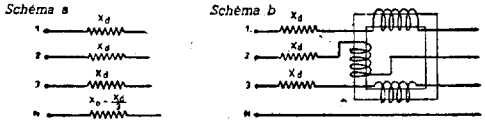
이것은 송전선을 나타내기 위한 단상리 악탄쓰이다. 리악탄쓰는 0.5 에서 10 A 까지 변하여도 오차가 1.5% 이내로 되도록 설계제작한 것이다. 또 리악탄쓰와 직결로 저항을 연결하여 조정하여서 여러가지 송전선의 특성을 나타낼 수 있게 되었으며 또 리악탄쓰자체도 ± 10%씩의 탑을 5 개 내어 그값을 조정 할 수 있게 되었다.



제 3 도 선로. (a)단상선로 요소 (b) 3 상선로 요소 (c)2상오오트·트란스포머 (d)회전개폐기 (e)측정반

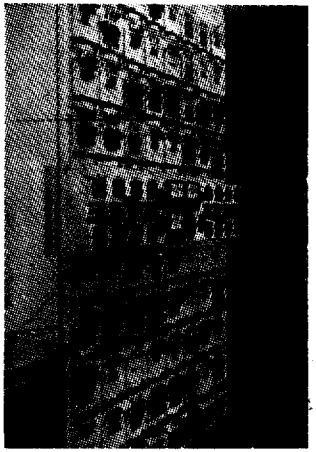
단상선로는 제 4 도(a)와 같으며 상호인덕탄쓰가 작용하지 않으며 대칭회로에서는 문제가 되지 않지만 비대칭회로에 있어서 상호인덕탄쓰를 고려하여야만 할경우는 제 4 도(b)와 같이 공통철심에 3 상선로를 감아서 사용한다.

변압기는 1, 2 차 3 상권선이 있으며 변압비는 0.05 에서 0.8 과 1.25 간을 자유로 조정 할 수 있게 되었다.



제 4 도 (a)단상선로 (b)3 상선로

부하는 64 개의 부하함으로 구성되었으며 16 개의 다른 부하를 나타낼 수 있다. 부하함은 저항, 인덕탄쓰, 캐파씨탄쓰로 구성 되었으며 이것을 조합하여 실제 부하를 나타낸다.



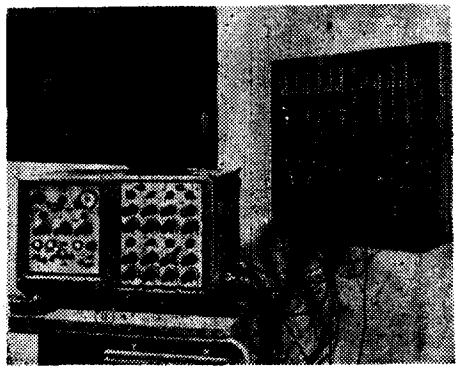
제 5 도 부하부분

3.3. 측정장치

이것은 12 대의 발전기 각각의 다음과 같은 것을 측정 또는 기록하기 위한 것이다.

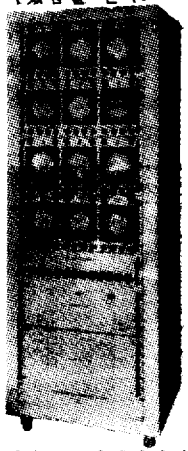
① 발전기의 축끝에 달린 2 상교류기의 전압

② 50 싸이클의 일반계통과 미크로계통과의 주파수의 차이



제 6 도 측정반.

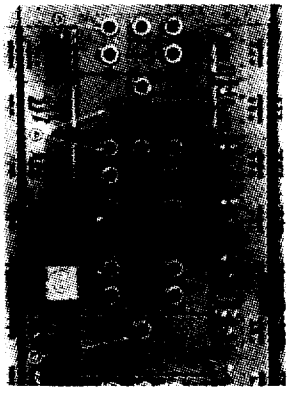
③ 미크로·터어빈(직류전동기)의 개도(開度)
⑤ 발전기의 단자전압
⑤ 발전기의 여자기단자의 전압 및 전류
⑥ 이 외에 제1도 ⑧와 같은 2상 교류기의 전압을 제7도와 같은 전자위상계에 걸어서 발전기의 내부유기기전력의 위상각을 측정하게 되어 있다. 매발전기간의 위상각 또는 무한 모선에 대한 위상각을 측정 할수 있도록 되어 있으며 계통고장시에 안정도를 측정하려면 전자위상계에 나타나는 점의 의동을 보아서 그것이 회전하면 불안정하고, 진동하다가 새 위치에 정지되면 안정상태로 복구 되었음을 안다.



제7도 전자위상계

4. 운전 및 조정반

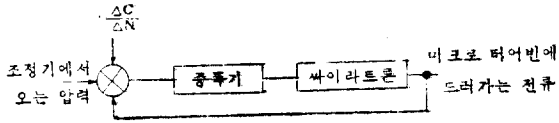
발전기 1대에 대하여 6개의 조정함이 있으며 그중 2개는 실제계통과 미크로계통간의 관계를 결합시키는데 사용되며, 나머지 4개는 발전기의 여자기 및 터어빈조종을 하기 위한 것이다. 각 조정장치는 그 특성을 변화시켜 실제에 있는 각종 조정장치의 특성을 나타내게 할 수 있다.



제8도 발전기 1대 용조정장치. (a)(d)실제계통의 조정 장치를 모의 하기 위한 조정함 (b)터어빈조정함 (c)발전기의 여자기 조정함.

4.1. 실제계통의 조정장치를 모의하기 위한 조정장치.

여기에는 주파수검출기(détecteur de fréquence)가 있어서 미크로·발전기의 주파수가 2중 T여과기에 의하여 발생된 전압의 기준주파수와 차의가 생기면 오차에 비례하는 직류전압을 발생시킨다. 이 전압은 터어빈조정기에 공급된다. 이 전압은 다시 싸이라트론의 그릿드에 궤환된다. 이것을 블록·다이아그램으로 표시하면 제9도와 같다.



제9도 미크로·터어빈에 드러가는 전류의 조정장치의 블록·다이아그램.

제9도에 ΔC는 회전력의 변동이며, ΔN은 주파수 변동을 의미한다. 따라서 $\Delta C/\Delta N$은 주파수변동에 대한 회전력의 변화율이며 전위차계를 통하여 $\frac{\Delta C}{\Delta N}$과 정격출력 P_N을 우리가 원하는 값으로 조정 할 수 있다.

또 이 함속에는 전압검출기(détecteur de tension)도 설치되어 있는 데, 이것은 교류발전기에서 공급되는 전압과 기준전압과의 차에 비례하는 전압을 검출한다. 이 전압은 발전기 여자조정기에 공급된다.

4.2. 터어빈의 조정장치

이 장치는 2개의 증폭기로 되어 있는 데 이것을 조정하여 우리가 원하는 조정장치로 할 수 있다. 이 조정장치의 전달함수는

$$\frac{\Delta C}{\Delta \Omega}=\frac{1+mp}{\delta+\tau p}$$

여기서 ΔC는 터어빈의 회전력변화, $\Delta\Omega$는 회전속도변화, m은 0에서 4초까지 조정 할 수 있는 입력조정기의 시정수, δ는 전위차계에 의하여 0에서 10%까지 조정 할 수 있는 정수, τ는 0.1에서 2초까지 조종 할 수 있는 시간특성.

4.3. 발전기의 여자기의 조정장치

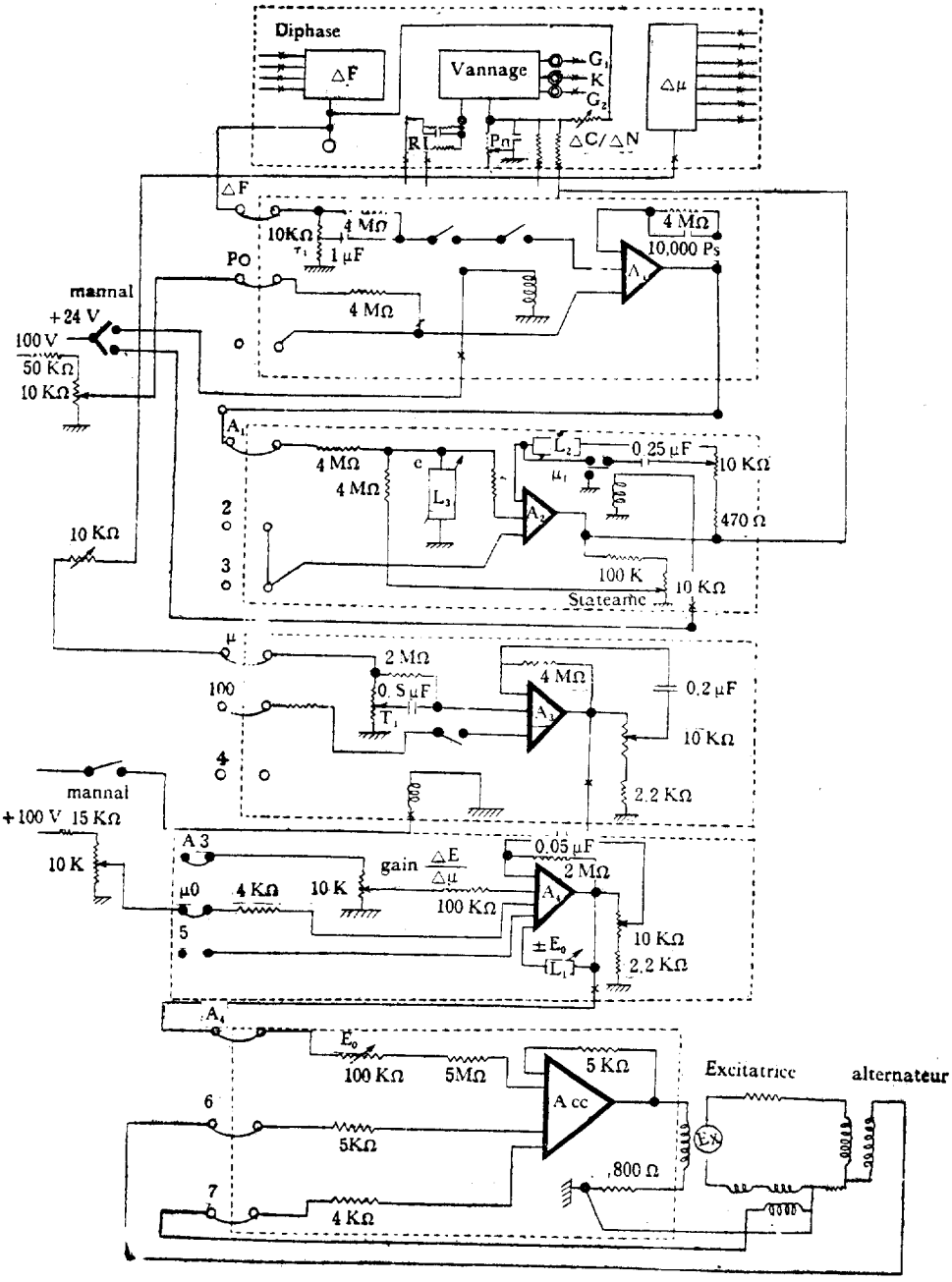
이 조정장치에는 2개의 증폭기가 포함 되어있다. 이 증폭기의 입력으로서 4.1의 장치에서 나오는 전압차 ΔU가 공급된다. 그 결과 출력으로서 ΔE라는 전압이 발생되어 발전기의 여자기에 공급된다. 따라서 이 장치의 전달함수는

$$\frac{\Delta E}{\Delta U}=\frac{\Delta E_0}{\Delta U}\,\frac{1+T_1p}{(1+T_2p)(1+T_3p)}$$

여기서 $\Delta E_0/\Delta U$는 전압증폭장치의 이득(gain)이며 0에서 100까지 조정된다. T_1은 전위차계를 조정하므로써 0.1에서 1초까지 조정 할 수 있는 정수. 전위차계에 의하여 0.1에서 0.5로 조정 할 수 있는 실제계통

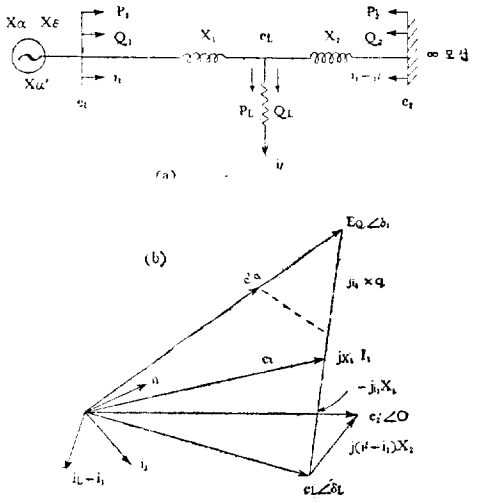
의 여자기시정수에 비례하는 시정수. T_3는 0.2에서 0.8초 까지 조정 할 수 있는 실제 조정기의 시정수.

이상은 미크로·레조의 운전 및 조정장치를 부분적으로 설명 하였는 데 전체회로도는 제 10 도와 같다.



제 10 도 E.P.F. Microréteau의 운전 및 조정장치

5. 도중부하가 있는 전력계통의 전력각 및 무효 전력각에 관한 방정식의 진개



제 11 도 (a)도중부하가 있는 전력계통 (b)(a)도의 전압 전류벡터도.

제 11 도에 있어서

e'_q : 직축자계에 비례하는 전압.

δ_1 : 무한모선전압을 기준으로한 동기기(피시험기)의 위상각.

δ_L : 부하점의 전압 e_L의 e_2에 대한 위상각.

e_2 : $e_2$0° 즉 무한모선의 전압이라고 하면

$$P_1=\frac{e'_q e_L}{X_1+X'_d}\sin(\delta_1-\delta_L)-\frac{e_L^2}{2}\frac{X_q-X'_d}{(X_1+X'_d)(X_1+X_q)}\sin 2(\delta_1-\delta_L)$$

$$Q_1=\frac{X_1}{X_1+X_{d'}}(e'_q)^2+e'_q e_L\frac{X'-X_1}{(X_1+X'_d)^2}\cos(\delta_1-\delta_L)-\left(\frac{e_L}{2}\right)^2\left[\frac{X'_d}{(X_1+X_{d'})^2}\{1+\cos 2(\delta_1-\delta_L\}+\frac{X_q}{(X_1+X_q)^2}\{1-\cos(\delta_1-\delta_L)\}\right]$$

$$P_2=-\frac{e_L e_2}{X_2}\sin\delta_L$$

$$Q_2=-\frac{e_2^2}{X_2}-\frac{e_2 e_L}{X_2}\cos\delta_L$$

$$P_L=P_1+P_2$$

$$Q_L=\frac{e'_q e_L\cos(\delta_1-\delta_L)}{X_1+X'_d}+\frac{e_2 e_L}{X_2}\cos\delta_L-\frac{e_L^2}{2}\left\{\frac{1}{X_1+X'_d}+\frac{1}{X_1+X_q}+\frac{X_q-X'_d}{(X_1+X_q)(X_1+X'_d)}\cos(\delta_1-\delta_L)\right\}$$

안정도 연구하는 동안 무한모선의 전압은 항상 0 위상이고 크기도 일정하다. 안정도의 각을 구하기 위하여 $\partial P_1/\partial\delta_1$을 구하면

$$\frac{\partial P_1}{\partial\delta_1}=\left(\frac{1}{e_L}\frac{\partial P_L}{\partial\delta_1}\right)\left(P_1-\frac{e_L^2}{2}\times\frac{X_q-X'_d}{(X_1+X'_d)(X_1+X_q)}\sin 2(\delta_1-\delta_2)\right)+\left(1-\frac{\partial\delta_L}{\partial\delta_1}\right)\left[Q_L-\frac{e_2 e_L}{X_2}\cos\delta_L+\frac{e_L^2}{2}\left(\frac{1}{X_1+X_{d}}+\frac{1}{X_1+X_q}+\frac{2}{X_2}-\frac{X_q-X'_d}{X_1+X_q}\cos 2(\delta_1-\delta_L)\right)\right]$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial\delta_1}=\left(\frac{1}{e_L}\frac{\partial e_L}{\partial\delta_1}\right)P_2-\frac{\partial\delta_L}{\partial\delta_1}\left(\frac{e_L e_2}{X_2}\cos\delta_L\right)$$

$$\frac{\partial Q_L}{\partial\delta_1}=\left(\frac{1}{e_L}\frac{\partial\delta_L}{\partial\delta_1}\right)\left[Q_L-\frac{e_L{}^2}{2}\times\left(\frac{1}{X_1+X'_d}+\frac{1}{X_1+X_q}+\frac{2}{X_2}+\frac{X_q-X'_d}{(X_1+X'_d)(X_1+X_q)}\cos 2(\delta_1-\delta_L)\right)\right]-P_1+\frac{e^2_L}{2}\frac{X_q-X'_d}{(X_1+X'_d)(X_1+X_q)}\times\sin 2(\delta_1-\delta_L)+\frac{\partial\delta_L}{2}\left(P_L-\frac{\partial^2 L}{2}\times\frac{X_q-X'_d}{(X_1+X'_d)(X_1+X_q)}\sin 2(\delta_1-\delta)\right)$$

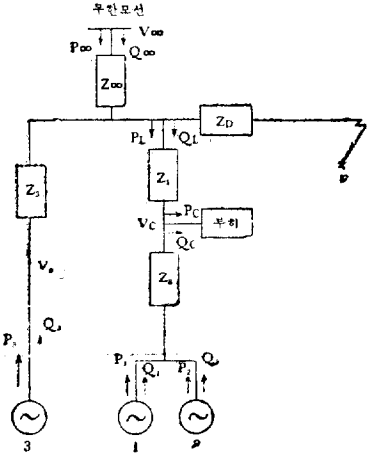
$$\frac{\partial P_L}{\partial\delta_1}=\frac{\partial P_L}{\partial e_L}\frac{\partial e_L}{\partial\delta_1}=KP_L\left(\frac{1}{e_L}\frac{\partial e_L}{\partial\delta_1}\right)=\frac{\partial P_1}{\partial\delta_1}+\frac{\partial P_2}{\partial\delta_1}$$

부하특성 K는 부하에 따라서 결정되며 $\partial P_1/\partial\delta_1=O$를 만족하는 점이 안정도의 극한이다.

6. 실 험

실험 1.

회로로서 제 12 도와 같은 것을 사용하였다.



제 12 도 실험회로도

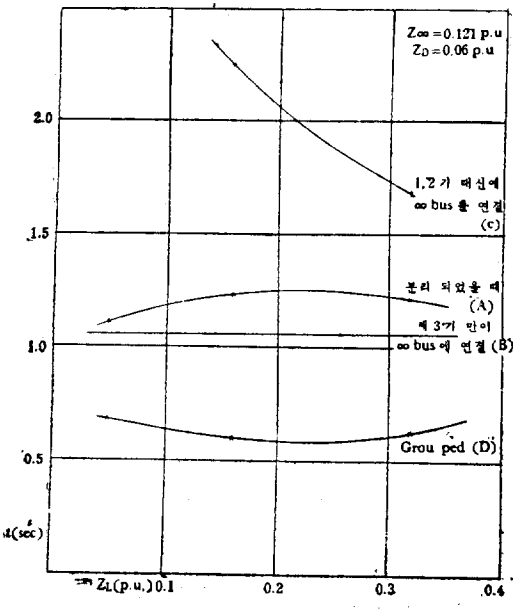
제12도에 있어서 기계 1이 피시험기이며 936VA, 220 V를 기준으로하여 $X_d=2$ p.u $X_d''=0.25$ p.u. 관성능

률=1.52 kg−m^2(H=5 sec), 출력=1 p.u 이며, 기계 2,3은 분리시켜 운전할때와 합쳐서 등가기계 1대로 하였을 경우 기계 1의 안정도에 두는 영향을 보기 위한 보조기이며 각각의 정수는 X_d=0.5 p.u, X'_d=0.0 피시험기만이 무한모선에 연결되었을 경우, (C)는 1, 2기대신에 무한모선에 연결하였을 경우, (D)는 1,2를 합쳐서 등가 1기의 경우에 대한 안정도이며 이것을 그라프에 그리면 제 13도와 같다.

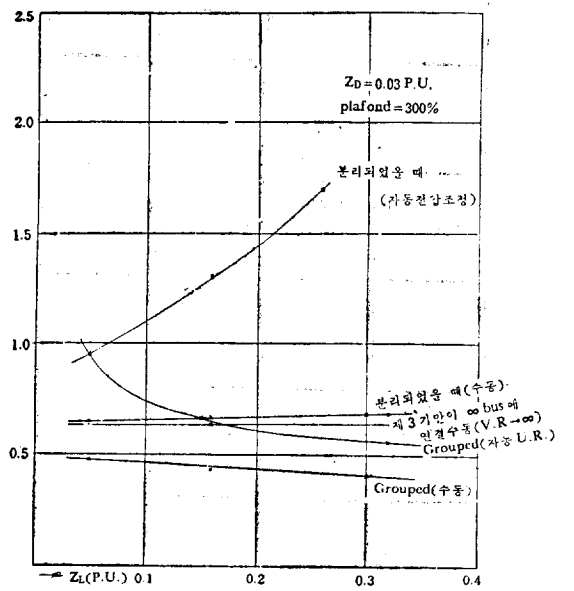
	Z_3 (Ω)	Z_1 (Ω)	Z_D (Ω)	V_C (V)	P_C (W)	Q_C (VAR)	V_B (V)	P_L (W)	Q_L (VAR)	V_1 (V)	P_1 (W)	Q_1 (VAR)	P_2 (W)	Q_2 (VAR)	V_3 (V)	P_3 (W)	Q_3 (VAR)	V_∞ (V)	t (sec)	판정
(A)	4	5.3	2	106	85	43	94.5	30	−31	220	1500	600	1500	600	93	750	200	201	1.22	안정
																			1.25	불안정
	4	1.9	2	1068	48	64.5	93	100	−80	220	1500	550	1500	600	922	750	200	201	1.1	안정
(B)	4	∞	2	106			96.5								93	750	300	201	1.24	불안정
																			1.05	안정
(C)	4	5.3	2																1.08	불안정
																			2.2	안정
	4	1.6	2												92.5	750	200	208	2.3	불안정
																			3.0	안정
	4	10.6	2												92.5	750	200	198	3.2	불안정
																			1.65	안정
(D)	4	1.6	2	1265	39	52	130			225	1500	550	1500	550				253	1.7	불안정
																			0.68	안정
	4	5.3	2	125	68.5	48.5	130			220	1500	560	1500	560				245	0.7	불안정
																			0.6	안정
	4	10.6	2	1158	74	56	122			206	1500	500	1500	500				240	0.62	불안정
																			0.62	안정
																			0.64	불안정

0625 관성능률=3.04 kg−m^2, 출력=2 p.u 이다. z_∞=z_3=4 Ω(0.12 p.u)는 고정시키고, z_1, z_D 만을 변화 시켰을 경우의 실험결과는 다음과 같다.

(A)는 기계 1, 2를 분리시켜 운전 할 경우, (B)는



제 13도 실험 1의 결과 도표



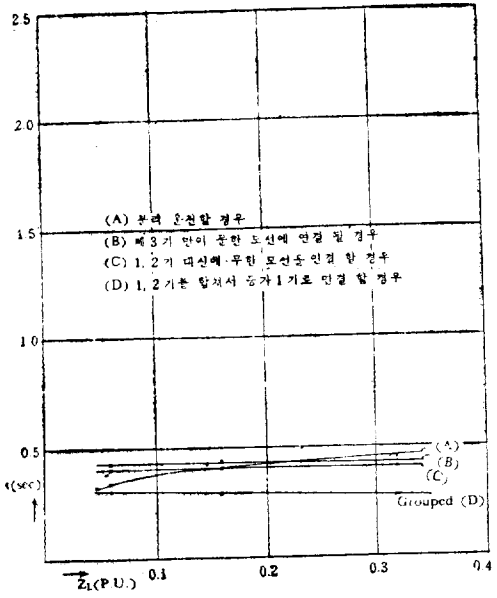
기계 3의 전압조정을 한 영향

실험 2.

이 실험은 고장임피단쓰 Z_D=O를 O으로 하고 Z_1을 1.6 Ω, 5.3 Ω, 10.6 Ω의 값으로 변화시키고 각 경우에 대하여 (A) 1, 2기를 동시에 운전 할 경우, (B) 피시 험기만을 무한모선에 연결 할 경우, (C) 1, 2기대

	Z_3	Z_1	Z_D	V_C	P_C	Q_C	V_B	P_L	Q_L	V_1	P_1	Q_1	P_2	Q_2	V_3	P_3	Q_3	V_∞	t	판 정
(A)	4	1.6	0	106	48	64.5	93	100	−80	220	1500	550	1500	600	92.2	750	200	208	0.33	안 정
																			0.36	불안정
	4	5.3	0	106	85	43	94.5	30	−30	220	1500	600	1500	600	93	750	200	201	0.4	안 정
																			0.42	불안정
	4	10.6	0	106	92	33	94	15	−16	220	1500	600	1500	600	92.5	750	200	198	0.42	안 정
																			0.44	불안정
(B)	4	∞	0												93	750	200	201	0.42	안 정
																			0.44	불안정
(C)	4	1.6	0												93	750	200	208	0.42	안 정
																			0.44	불안정
	4	5.3	0												93	750	200	208	0.42	안 정
																			0.44	불안정
	4	10.6	0												93	750	200	208	0.4	안 정
																			0.42	불안정
(D)	4	1.6	0	126	93	52	130	126	−52	225	1500	550	1500	550	93	750	200	253	0.3	안 정
																			0.32	불안정
	4	5.3	0	125	68.5	48.5	130	70	−42	220	1500	560	1500	560	93	750	200	245	0.28	안 정
																			0.3	불안정
	4	10.6	0	115	74	56	122	51	−68	206	1500	500	1500	500	93	750	200	240	0.26	안 정
																			0.28	불안정

신에 무한모선을 연결할 경우, (D) 1, 2 기를 합쳐서 등가적인 1 기로 연결하여, 운전 할 경우이다.



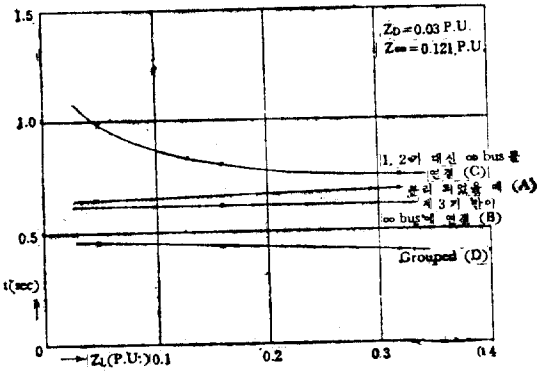
제 14 도 실험 2 의 결과도표

실험 3

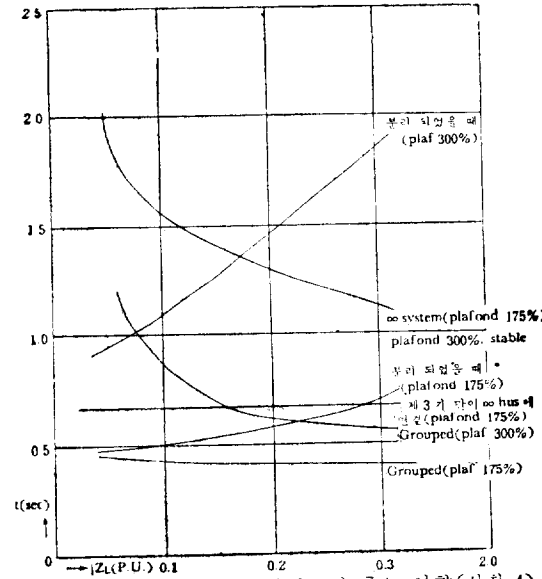
이 실험에서는 $Z_3=4\Omega$, $Z_D=2\Omega$ 로 고정시키고, Z_1 을 1.6Ω, 5.3Ω, 10.6Ω 로 변화시켜 각경우에 대하여 실험하면 그 결과는 제 15 도와 같다.

실험 4.

이 실험에 있어서는 피시험기의 과도 안정도 측정중에 피시험기의 제어장치를 자동시켰을 경우 각각에 대



제 15 도 실험 3 의 결과도표



제 16 도 자동제어가 안정도에 주는 영향(실험 4)

한 안정도의 비교를 한 것이다. 그 결과는 제 16도와 같으며 $Z_D=1\Omega$로 고정시켰고 plafond이라 함은 정격여자에 대한 배율을 의미 한다.

7. 각실험에 대한 검토와 결론

〔실험 1〕

제 13도에서 보는바와 같이 1, 2기 대신에 무한모선을 연결하면 피시험기의 안정도는 훨신 증진되며, (C), (A), (D)를 비교하면 (A)의 경우의 안정도가 (D)보다 증진된다. (A)와 (B)는 근사적으로 일치된다. 그러나 여자기를 조정하여 운전하면 1, 2기를 분리시켰을 경우와 1대로 대치시킬 경우 그 안정도를 같게 할 수 있다.

〔실험 2〕

Z_D 즉 고장임피단쓰가 0일 경우는 모든 경우에 있어서 그 과도안정도가 일치한다.

〔실험 3〕

고장임피단스 Z_D가 실험 1의 경우의 $\frac{1}{2}$ 즉 0.03 p.u 이면 실험 1, 2의 중간정도로 일치되었다. 제 16도에 있어서도 phafond을 적당히 하므로써 그 차의를 적게 할 수 있다.

실험 1,2,3을 통하여 고장점이 전원에서 원거리에 있을 수록 2기를 1기로 대치 시키므로서 피시험기의 안정도에 주는 영향이 커지며, 이것을 같게 하려면 정당한 자동조정장치를 사용하여야 한다.

(西紀1962年 7月21日 接受)