

第11章 Lam Ta Khong揚水の送電計画 と電力系統解析

第11章 Lam Ta Khong揚水の送電計画と電力系統解析

目 次

	頁
11.1 タイ王国の電力系統	11- 1
11.2 揚水発電所の発生電力の送電方法と系統安定度	11- 5
11.3 電力系統解析によるLam Ta Khong揚水プロジェクトの開発可能容量	11- 7
11.3.1 第一段階開発可能容量の予備検討	11- 7
11.3.2 電力潮流計算	11- 8
11.3.3 安定度解析	11-10
11.3.4 短絡電流	11-14
11.4 送電計画	11 37

List of Tables

Table 11-1	Line and Transformer Constants (Z Value on 100MVA Base) of the Power System in 1997
Table 11-2	Reactive Power Facilities Considered in Power Flow Calculation
Table 11-3	Transition of Main Facilities from Fiscal 1997 to 2000
Table 11-4	Fault Conditions Applied for Power System Stability Analyses
Table 11-5	The Result of Power System Stability Analysis of Lam Ta Khong Pumped Storage Power Plant

List of Figures

- Fig. 11-1 Electric Power System of Thailand
- Fig. 11-2 Power Flow Diagram 1997 Peak
- Fig. 11-3 Power Flow Diagram 1997 Night
- Fig. 11-4 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Peak Hours in 1997
- Fig. 11-5 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When Three-phase Fault occurs on the Saraburi 2 - Lam Ta
Khong line at Peak Hours in 1997
- Fig. 11-6 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Off-peak Hours in 1997
- Fig. 11-7 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Off-peak Hours in 1997
- Fig. 11-8 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Tha Tako - Nong Chok
line at Off-peak Hours in 1997
- Fig. 11-9 Generation angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Saraburi 2 - Lam Ta
Khong line at Off-peak Hours in 1997
- Fig. 11-10 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 3*200 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Off-peak Hours in 1997
- Fig. 11-11 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 3*200 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Off-peak Hours in 1997
- Fig. 11-12 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Off-peak Hours in 1999
- Fig. 11-13 Generation Angle Swing Curves with Lam Ta Khong 2*250 MW
When a Three-phase Fault Occurs on the Mae Moh - Tha Tako
line at Off-peak Hours in 2000
- Fig. 11-14 Three-phase Short Circuit Currents And Capacities on the
Buses around the Lam Ta Khong Project in 1997

第11章 Lam Ta khong揚水の送電計画と電力系統解析

11.1 タイ王国の電力系統

タイ王国の電力系統の概要をFig. 11-1に示す。電力系統網を形成する送電線の電圧は500kV、230kV、115kVおよび69kVである。また周波数は50Hzである。

タイ王国の電力系統は下記の4地域に分割されるが、各地域は500kV、230kV、あるいは115kVの送電線で相互に結合されている。

- 第1地域 首都圏およびその周辺地域
- 第2地域 東北部
- 第3地域 南部
- 第4地域 北部および中部

タイ王国の発電設備の容量は1990年9月現在で7,970.3MW(ディーゼル発電プラント28.6MWを除く)となっている。その内訳は水力 2,249.2MW (28.2%)、石油/ガスおよびリグナイト焚火力 4,306.5MW (54.0%)、コンバインドサイクル1,176.6 (14.8%)、ガスタービン 238.0MW (3.0%)である。

1990年9月現在における電源の地域的な分布と各地域への電力供給の実情は次のようになっている。

(1) 第1地域にはSouth Bangkok発電所(1,330MW)やBang Pakong発電所(2,276.6MW)などの大容量火力発電所、Srinagarind発電所(540MW)やKhao Laem発電所(300MW)などの大容量貯水池式水力発電所があり、それらの設備容量の合計は4,752.3MW(全国の総発電設備容量の59.6%)である。

(2) 第2地域にはChulabhorn発電所(40MW)やSirindhorn発電所(36MW)などの中規模水力発電所およびガスタービン発電所があり、それらの設備容量の合計は136.3MW(1.7%)である。これらの電源はピーク時間帯に稼動する調整用電源であり、ベース供給力は主として230kV送電線を通して第4地域から、また115kV送電線を通して第1地域から送られている。また、この地域で必要とする電力の一部は隣国ラオスのNam Gum発電所(150MW)の余剰電力の購入により賅

われている。

(3) 第3地域にはKhanom発電所(150MW)、Krabi発電所(34MW)、Suratani発電所(30MW)などの火力発電所、Rajjaprabha発電所(240MW)、Bang Lang発電所(72MW)などの水力発電所があり、Hat Yaiにあるガスタービンを含めて、それらの設備容量の合計は611.3MW(7.7%)である。ベース負荷に対する供給力として、KhanomやKrabiの火力発電所および最近完成したSecond Central-Southern Tie Line(230kV)による第1地域からの融通がある。また隣国マレーシアとの間に115/132kV Power System Interconnectionがあり電力の相互融通が行われている。

(4) 第4地域は出力1,425MW(1990年9月現在)のMae Moh火力発電所およびBhumibol発電所(535MW)、Sirikit発電所(375MW)などの大容量水力発電所を有し、それらの設備出力の合計は2,470MWである。これは全国の総発電設備容量の31.0%を占めるものである。

E G A Tは近年の電力需要の急増に対応して電源の開発に力を入れている。現在、開発地点は北部のMae Moh地点および第1地域の東部臨海地帯に集中している。

地域間を連系する基幹送電線の強化も進められている。最近、Mae Moh火力発電所とGreater Bangkok Areaを結ぶ500kV Lineは全区間が500kVに昇圧され、また、第1地域と第3地域とを結ぶ230kVのSecond Central-Southern Tie Lineも運開した。更に下記の送電線が建設中である。

電圧(kV)	区 間	距離(km)	回線数	導体(MCM)	運 開
500	Mae Moh - Tha Tako	333	2	4×795	1992
230	Tha Tako - Khon Kaen3	300	2	1×1272	1992

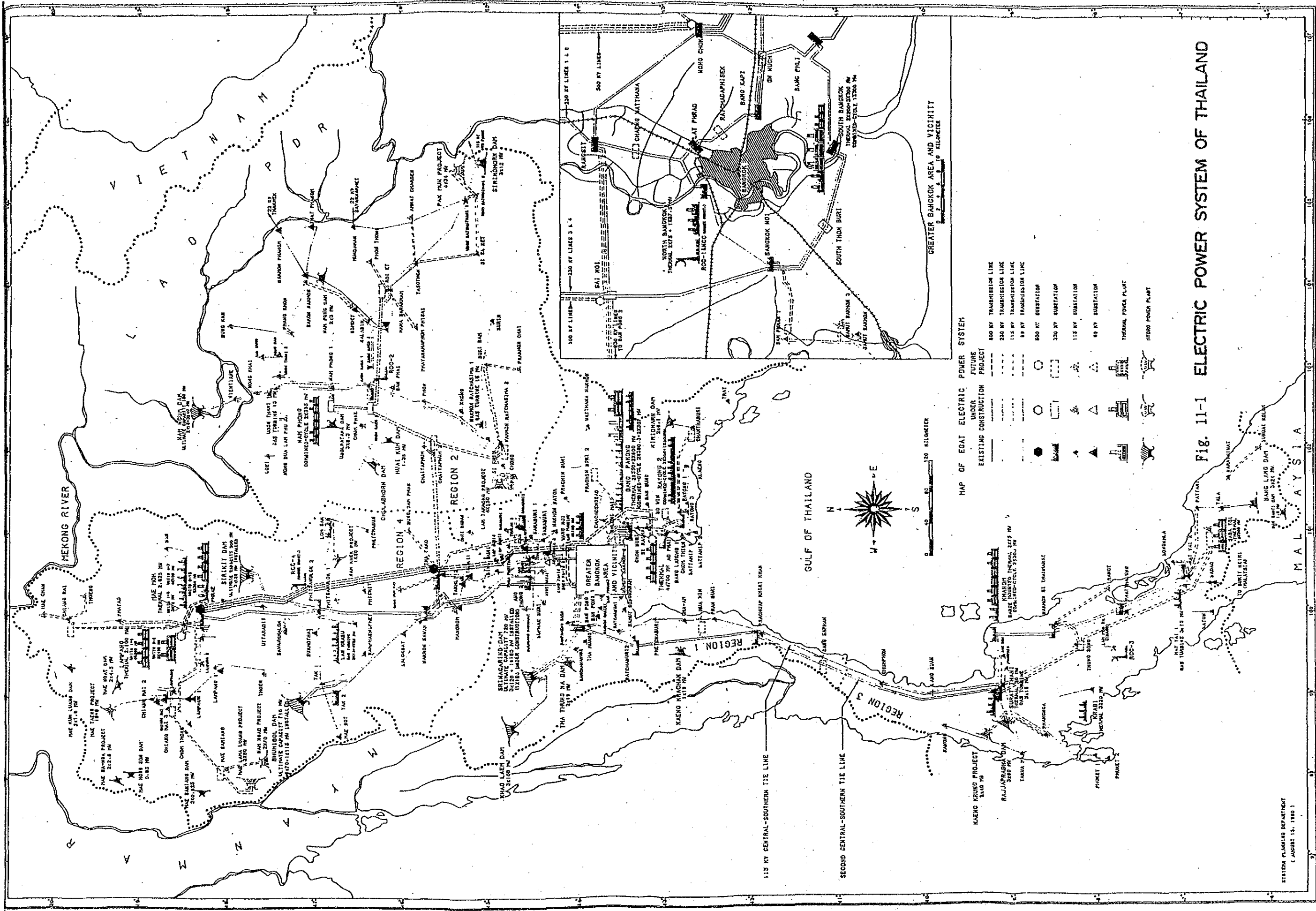


Fig. 11-1 ELECTRIC POWER SYSTEM OF THAILAND

SYSTEMS PLANNING DEPARTMENT
(AUGUST 13, 1980)

11.2 揚水発電所の発生電力の送電方法と系統安定度

一般に電源用送電線は次のような手順によって計画される。すなわち、

- 1) 現在および将来に予定されている変電所の中から、電力の送り先となる変電所を選定する。
- 2) 標準的に使われている電圧の中から送電電圧を選定する。
- 3) 電源に要求される信頼度、送電線ルート取得の難易性、経済性、さらに将来の電源開発計画、電力系統拡充計画などを勘案して送電電圧、回線数、および導体を選定する。
- 4) 立てられた送電計画が系統運用上、問題ないかを系統解析によって確認する。

計画された送電線は電源の運用に十分な送電容量を有するばかりでなく、電力系統を安定に運用できる設備であることが必要である。送電線の送電容量は短距離送電線では電線の許容電流により決まるが長距離送電線では主として系統安定度によって決まってくる。

揚水発電所が運用される場合には、深夜時の系統安定度がピーク時のそれよりも苛酷になる。揚水時には原子力や火力などのベース供給力電源の発電機電圧と揚水運転中の電動機電圧の位相角差が非常に大きくなるため、電力系統の安定度が悪くなり、系統が弱い場合には、小さな擾乱によっても発電機又は電動機が振動を発生したり、脱調を起したりする。系統安定度が問題になる場合には電力系統全体にわたる大幅な系統増強が必要となる。

揚水プロジェクトの開発規模は立地地点の経済性や系統運用面からの必要性などから決められる。その際、揚水の開発にともなって、系統の安定運用のために必要となる電力系統の拡充強化はプロジェクトの経済性を左右する重要な要素となる。すなわち、大規模揚水の開発のために、送変電設備にぼう大な投資が必要になるならばそのプロジェクトを開発する意味が喪失することも考えられる。

電力系統は需要の増大と電源の開発にともなって年々成長、拡大していくものであるから、電源用の送電線も、将来の系統拡充計画を考慮して、これに有効に役立てられるように計画する必要がある。したがって送電線の計画は、国や電力会社の

政策とも係ってくる。

しかし、系統拡充計画との関連が明確にならない場合には、その揚水の運開が予想される時点の電力系統を解析して、それが系統に併入された場合に、安定に運用されるかどうかを確認した上で、系統全体として最経済的な電源の開発規模と送電設備計画を決めることになる。

11.3 電力系統解析によるLam Ta Khong揚水プロジェクトの開発可能容量

11.3.1 第一段階開発可能容量の予備検討

Lam Ta Khong揚水の開発規模についてはE G A Tとの打合せの結果下記3案を検討することになった。

- (1) 600MW (150MW×4)
- (2) 800MW (200MW×4)
- (3) 1,000MW (250MW×4)

これら、3案を含み、同プロジェクトの開発規模に関する検討は第10章で行われ、最適開発規模が推奨されている。

しかしながら、揚水運転は電力系統の安定度(Stability)をきびしくするものであるため、揚水プロジェクトの開発規模は安定度すなわち、それが運開する時点の電力系統の強度から制約を受ける可能性がある。

中間報告書では、Lam Ta Khong揚水の開発が予想される1997年の電力系統についての予備的な解析結果より、同プロジェクトの第一段階の開発可能容量は450MW～600MWになるであろうと報告した。

この場合、Lam Ta Khong揚水発電所は、同プロジェクトの経済的な開発を図るために既設Saraburi 2又は新設予定のThalan 3変電所に230kV送電線で接続されるとし、1997年～2000年の深夜揚水時におけるLam Ta Khong揚水用送電線の3相事故(5サイクルしゃ断)の動的シミュレーションによって揚水運転可能容量が検討された。

その結果、Lam Ta Khong揚水プロジェクトの電力送電パターンにより違いが出るが、同プロジェクトの第一段階の開発可能容量として、上記450MW～600MWが導かれた。しかしながら、500kV送電線の3相事故を考慮するとLam Ta Khong揚水の開発可能容量はもっと小さくなる可能性がある。その理由は500kV送電線はタイ国電力系統の中核をなす送電線であり、従って、その事故は電力系統に重大な擾乱を惹起し、揚水機の運転を不可能にするおそれがあるからである。

Lam Ta Khong揚水の第一段階の開発可能容量は同プロジェクトの電力送電方法の

ほかLampang火力の開発計画、第3地域系統の安定化対策、500kV系統の拡大計画などの条件にも依存する。

本報告書ではE G A Tの改訂電源開発計画(P D P 90-03)にもとづいた電力系統に500kV系統の送電線事故も考慮した動態安定度解析(Dynamic Stability Analysis)によりLam Ta Khong揚水の第一段階開発規模として500MWの可能性を中心に調査した結果を報告する。

11.3.2 電力潮流計算

電力系統の動態安定度解析(Dynamic Stability Analysis)に先立ち、電力潮流計算を実施した。電力潮流計算ではLam Ta Khong揚水が電力系統に併入された場合の1997年のピーク時および深夜時の電圧および電力潮流の分布を計算した。

計算にはE P D C所有の電力系統解析用計算機プログラムC A S T L Eを使用した。計算結果の代表的な潮流図をFig. 11-2およびFig. 11-3に示す。

電力潮流図では各発電所の発電機と変圧器ならびに変電所の変圧器を夫々1台で表わしている。また230kV送電線については複数の回線数を1本の線で表わしているが500kV送電線については1回線につき1本の線で表わしている。500kV送電線に、回線毎に接続されているシャントリアクトルは簡略化して、変電所の500kV母線に一括表示されている。

Tha Tako~Saraburi 2間の既設230kV送電線1回線は計画のThalan 3変電所が建設されると同変電所に引込まれるものとしたが、これは以下の理由により必要である。

- 1) 上記送電線のThalan 3変電所引込みがない場合には、Thalan 3~Saraburi 2間が1回線になり、同区間の送電線事故によりLam Ta Khongの揚水機が脱調する。
- 2) 上記送電線事故の有無にかかわらず、Thalan 3とSaraburi 2間に十分な送電容量を確保する必要がある。

Lam Ta Khong揚水用の送電線は既設Saraburi 2~Nakhon Ratchasima 2間の

230kV送電線をLam Ta Khong揚水地点に引込んで形成することとした。

Lam Ta Khong揚水の出力を1,000MW とする場合には、既設Saraburi2-Nakhong Ratchashima2間の230kV 送電線1回線を同発電所に引込むとともに、発電所をThalan3 変電所に230kV, 2回線の送電線で接続することとした。

後述の安定度解析により、1997年の電力系統におけるLam Ta Khong揚水の揚水可能電力は500MWであるが、1,000MW 発電には全く問題がないことが判明したので、急増する電力需要に対処するため当初から250MW×4台を設置し、深夜揚水は250MW×2台、ピーク時発電は250MW×4台で行うことが考えられる。電力潮流図ではこのような運用を行うものとして計算された結果が表示されている。

各変電所の負荷力率は230kV母線で0.95と仮定した。また深夜の電力需要はピーク負荷時の50%の負荷を想定した。潮流計算に用いた送電線、変圧器等の定数をTable 11-1に示す。

電力系統の運用では各変電所の母線電圧をほぼ規定値に維持するため、発電機による無効電力の供給、変圧器のタップ調整、シャントリアクトルやシャントキャパシタなどによる無効電力の消費、供給が行われる。電力潮流計算では発電所母線の電圧は公称電圧±5%以内に保持されている。このために想定された変電所の無効電力設備はTable 11-2の通りである。

電力潮流計算の結果より、Lam Ta Khong揚水が運開する1997年には、同プロジェクトが関係する送電線即ち、Mae Moh-Tha Tako-Thalan3-Saraburi2送電線、には潮流ネックなどの問題が生じる部分はない。しかしながら、Table 11-2に示すように電力系統の電圧維持のため、多数の変電所に無効電力供給設備を設置する必要がある。特に揚水時には、Saraburi2、Nakhon Ratchashima2変電所の電圧維持対策を考えることが必要である。

Lam Ta Khong発電所の出力が1,000MWの場合には、Thalan3 ~Ang Thong2間の230kV1回線送電線が過不負荷になることも考えられるので、これを避けるための方策を検討する必要がある。

11.3.3 安定度解析

11.3.3-1 安定度解析の諸条件

電力系統安定度解析はFig. 11-2およびFig. 11-3に示された電力潮流状態のほかにLam Ta Khong揚水の容量、送電方法、送電線の事故地点の様々の異った条件で行われた。

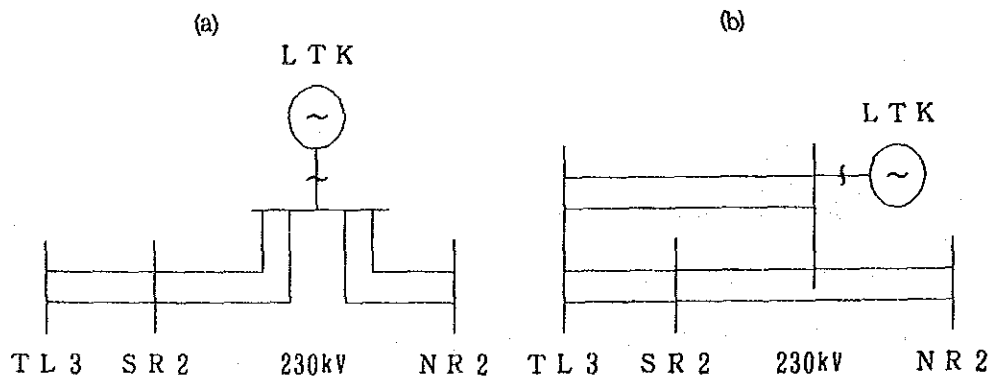
解析の技術的な条件は下記の通りである。

- (1) 解析の対象年度 1997年～2000年
- (2) 系統負荷 ピーク時ならびに深夜時負荷
- (3) Lam Ta Khong揚水の出力 500MW, 600MWおよび1,000MW
- (4) 主要な電力系統設備

系統解析に用いた主要な電力系統設備の条件をTable 11-3に示す。これらは特にLam Ta Khongの安定度に係わるものとして、リストアップされたものである。

- (5) Lam Ta Khong揚水の送電パターン

Lam Ta Khong揚水の送電パターンは既設のSaraburi 2と Nakhon Ratchasima 2間の230kV送電線（2回線）を利用する下図(a)を主に検討したが、同揚水の出力を600MWとする案ではLam Ta KhongとThalan 3間を強化した下図(b)についても検討した。



(6) 系統安定化対策設備

新設の遠方電源の発電機および揚水用発電機には全て超高速励磁装置とPSS（系統安定化装置）が装備されるものとした。

また、既設Tha Tako変電所の他にSecond Central-Southern Tie Lineに新設予定のBan Saphan変電所にも静止形無効電力補償装置（SVC）が設置されるものとした。

SVC at Tha Tako	230kV	SC	80MVar×2
	"	TCR	150MVar×2
SVC at Ban Saphan	230kV	SC	300MVar
	"	TCR	50MVar

(7) 故障条件

安定度解析のための送電線の事故条件はTable 11-4の通りである。

11.3.3-2 安定度解析の結果

安定度解析の結果はTable 11-5に示すとおりである。

- (1) 1997年系統にLam Ta Khong発電所(500MW)を既設Saraburi 2 ~ Nakhon Ratchashima 2送電線(230KV 2回線)に接続した場合(図(a)の送電パターン)ピーク時および深夜揚水時ともにTable 11-4記載のCase 1、2、3のいずれの送電線事故が発生しても系統は安定である。
- (2) 送電線事故の系統安定度に与える影響はCase 1が最も苛酷であり、Case 3が最も軽く、Case 2はそれらの中間である。
- (3) Lam Ta Khong発電所の出力を600MWとした場合には、揚水運転中に前記Case 3の送電線事故があっても、系統は安定を保つが、500kV送電線に事故が起きた場合には(Case 1又はCase 2)、Lam Ta Khongの揚水機は脱調する。
- (4) Lam Ta KhongとThalan 3との間に230kV、2回線の送電線を建設するなどしてLam Ta Khongまわりの電力系統を強化しても(図(b)の送電パターン)Lam Ta Khong(600MW)が揚水運転中に500kV送電線に事故が発生するとLam Ta Khongの揚水機は脱調する。
- (5) 従って現在計画されている1997年の電力系統にLam Ta Khong揚水発電所を接続する場合には同揚水の揚水運転電力は500MWあるいはそれ以下とする必要がある。
同揚水の揚水運転電力を600MWとするためにはMae Moh-Tha Tako-Thalan 3の主幹系統の増強とThalan 3 ~ Lam Ta Khong間の送電線建設が必要となる。
- (6) 1999年7月にはLampang unit 2(300MW)が運開し、Mae MohからTha Takoへの南向き電力潮流が増加するため、深夜揚水時のMae MohとLam Ta Khongの同期機の電圧位相差が大きくなり、系統安定度上、非常にきびしい状態になる。

- (7) 現在計画されている1999年度系統では、Lam Ta Khong発電所の容量を 500MWとした場合、同年のピーク時の約70%負荷時の揚水が安定度上の限界になると予想される。
- (8) 2000年度にはLampang Unit 3 (1月)、Unit 4 (7月) が運開し、更に南向き潮流が増大するが、Lampang-Tha Tako間に500kV 1回線が新設されるため、同年のピーク時の50%負荷時の揚水は安定度上問題はない。しかしながら発電機-電動機の電圧位相角差がより大きくなってきていることから、安定度上非常にきびしい状況にある。従って2000年度以降の電力系統には主幹系統の調査と増強が必要であると考えられる。
- (9) Lam Ta Khong発電所の1,000MW 発電については系統安定度上の問題はない (Fig. 11-15)

11.3.4 短絡電流

1997年ピーク時の電力潮流図 (Fig 11-2) に対応する 3 相短絡電流を計算した。

Lam Ta Khong発電所付近の変電所の短絡電流の状況をFig. 11-14に示す。計算には発電機のインピーダンスとして初期過度リアクタンス X_d' を使用している。

Table 11-1 Line and transformer constants (% value on 100MVA base)
of the power system in 1997

* BRANCH DATA (POSITIVE-SEQUENCE) *				* BRANCH DATA (POSITIVE-SEQUENCE) *				* BRANCH DATA (POSITIVE-SEQUENCE) *										
CODE	FROM	TO	R	X	Y/2	CODE	FROM	TO	R	X	Y/2	CODE	FROM	TO	R	X	Y/2	
B01	TTK-500	MM3-500	0.2700	3.3600	181.3000	B39	SNR	XHL	0.4200	3.0100	13.0200	TG01	MM1-G	MM3-115	0.0000	3.8300	0.0000	
B01A	TTK-500	MM3-500	0.2700	3.3600	181.3000	B40	BP2	SNR	0.2700	1.9600	34.4300	TG02	MM2-G	MM3-230	0.0000	1.7800	0.0000	
B051	MM3-500L	MM3-500	0.0010	0.0100	0.0000	B41	SNO-230	BP2	0.1300	0.9700	15.9600	TG03	MM3-G	MM3-500	0.0000	0.7200	0.0000	
B05	TTK-500L	MM3-500L	0.2600	3.4800	167.4000	B42	RS	SNO-230	0.0600	0.6400	5.2600	TG06	BB-G	BB	0.0000	6.3800	0.0000	
B052	TTK-500	TTK-500L	0.0010	0.0100	0.0000	B43	BN	SNO-230	0.1500	1.0600	4.7100	TG07	NP02-G	NP02	0.0000	2.1400	0.0000	
B061	TTK-500M	TTK-500	0.0010	0.0100	0.0000	B44	NB	RS	0.1900	1.3900	1.5400	TG09	SNR-G	SNR	0.0000	2.9100	0.0000	
B06	NCO-500M	TTK-500M	0.1800	2.2000	116.4000	B45	LPR	ES	0.1800	1.2700	1.4000	TG10	NB-G	NE	0.0000	3.7500	0.0000	
B062	NCO-500	NCO-500M	0.0010	0.0100	0.0000	B46	LPR	NB	0.0700	0.5000	0.6300	TG11	SB-G	SB	0.0000	0.4400	0.0000	
B07	NCO-500	TTK-500	0.1800	2.2000	116.4000	B47	NCO-230	ES	0.1000	1.0500	8.5700	TG12	BPX-G	BPX	0.0000	0.8100	0.0000	
B0811	SN-500	AP2-500	0.2000	2.3700	124.0400	B48	RCHD	LPR	0.0100	0.1200	0.9800	TG13	BPX2-G	BPX2	0.0000	0.5100	0.0000	
B08	AP2-500	NCO-500	0.1200	1.4400	75.5400	B49	BK	RCHD	0.0200	0.1700	1.4200	TG14	AP2-G	AP2-500	0.0000	0.8250	0.0000	
B10	SN-500	NCO-500	0.0800	0.9300	48.5000	B50	ON	BK	0.0200	0.1500	3.7300	TG15	RY2-G	RY2	0.0000	0.8300	0.0000	
B12	PL2	MM3-230	0.8100	5.8300	25.7700	B52	BN	NB	0.1800	1.4400	1.3300	TG17	XHN-G	XHN	0.0000	1.2300	0.0000	
B13	PL2	SK	1.8300	4.3800	17.8000	B53	ON	NCO-230	0.0400	0.4000	3.6000	TG22	LTK-G	LTK	0.0000	2.3000	0.0000	
B14	KX3	NP02	0.0900	0.8800	7.3800	B54	KLM	NCO-230	0.0900	0.9000	7.3500	T01	MM3-500	MM3-230	0.0000	0.7200	0.0000	
B15	LS	PL2	0.5200	4.4500	19.6200	B55	BPX2	NCO-230	0.1100	1.1100	9.0900	T02	MM3-230	MM3-115	0.0000	3.9400	0.0000	
B16	KX3	LS	0.8700	6.3200	27.9700	B56	BPX2	ON	0.1200	1.2500	10.2800	T03	TTK-500	TTK-230	0.0000	0.7200	0.0000	
B17	NS	PL2	1.0900	5.2100	21.2100	B57	BPX	XLM	0.0280	0.2100	1.7100	T03B	TTK-230	TTK-115	0.0000	5.2600	0.0000	
B18	NS	BB	1.0800	7.8200	34.9300	B58	AP	BPX	0.2600	0.8000	8.3200	T03B-SV	TTX230SV	TTK-230	0.0000	0.1000	0.0000	
B19	TA2	BB	0.5400	4.1700	4.0600	B59	AP	BPX2	0.0200	1.8900	8.3200	T04	SN-500	SNO-230	0.0000	1.0900	0.0000	
B20	NS	TA2	1.6200	12.4500	12.1600	B60	BPX	BPL	0.1100	1.1600	9.4500	T05	NCO-500	NCO-230	0.0000	1.0900	0.0000	
B22	CYP2	KK3	0.5550	4.0300	17.7200	B61	BPL	ON	0.0500	0.3800	1.6700	T06	AP2-500	AP2-230	0.0000	1.0900	0.0000	
B23	TTK-230	NS	0.2400	1.7400	7.6300	B62	SB	BPL	0.0800	0.5700	2.5200				0.0000	1.0900	0.0000	
B24	CYP2	TTK-230	0.9300	6.7300	29.8100	B64	STB	SB	0.0400	0.3100	4.1700							
B25	AT2	NS	0.6300	4.5200	20.1400	B65	BN	STB	0.0200	0.1700	2.2500							
B26	TL3	TTK-230	1.7900	13.0000	14.5900	B67	AP	AP2-230	0.0100	0.1500	0.3200							
B27	AT1	TTK-230	1.4600	10.5600	11.7300	B68	BW	AP	0.1100	0.7900	3.4900							
B281	TL3	TTK-230	0.6400	6.8200	18.9500	B69	RY2	EW	0.2300	1.6500	7.2900							
B282	TL3	TTK-230	0.6400	6.8200	18.9500	B70	RTB2	BP2	0.2100	1.5000	6.5900							
B29	TL3	AT2	0.5500	3.9600	4.3500	B71	PKK	RTB2	0.9700	7.0400	31.2200							
B30	SR2	TL3	0.1300	1.0800	4.7400	B721	BSP	PKK	0.1000	0.7800	3.5100							
B31	LTK	SR2	0.7500	5.4000	5.9300	B722	ST	BSP	1.5700	11.5900	52.2600							
B331	LTK	TL3	0.9500	6.8400	7.5100	B73	RJP	ST	0.2600	1.8500	8.1200							
B332	LTK	TL3	0.9500	6.8400	7.5100	B74	XHN	ST	0.3800	2.7600	12.0700							
B3234	NR2	SR2	1.1900	8.6200	9.5000	B75	TS	ST	0.6100	4.4000	19.2200							
B33	NR2	LTK	0.7000	5.0400	5.5300	B76	KHN	KHN	0.4900	3.5300	15.3700							
B35	NR2	CYP2	0.4500	3.2400	14.2400	B77	NST	TS	0.2700	1.9500	8.5000							
B35	AT1	AT2	0.1700	1.2600	1.3900	B78	PTL	NST	0.4500	3.2400	14.1100							
B37	SNO-230	AT2	0.3600	2.5400	11.2800	B79	HY2	PTL	0.4100	2.9200	12.8500							
B381	BP12	AT1	0.2500	1.8000	7.9300													
B382	RS	BP12	0.1500	1.0800	4.7400													

Table 11-2 Reactive Power Facilities Considered in Power Flow Calculation

Facility	Substation	Voltage(kV)	Capacity(MVar)
Shunt Capacitor	South Thon Buri	230	120(60)
	Rangsit	230	120(60)
	Nong Chok	230	180(180)
	On Nuch	230	120(120)
	Ang Thong 1	230	120(60)
	Ang Thong 2	230	240(60)
	Saraburi 2	230	120(120)
	Bang Pa-In 2	230	60(60)
	Phatthalung	230	60(60)
	Hat Yai 2	230	120(60)
	Nakhon Ratchasima 2	230	60
	Lat Phrao	230	120
	Ratchaburi 2	230	240
	Bang Phli	230	120
	Ao Phai	230	60
	Bang Kapi	230	120
	Ratchadaphisek	230	240
	Bangkok Noi	230	120
	Ban Pong 2	230	120
	Sai Noi	230	120
Nakhon Sawan	230	60	
Khon Kaen 3	230	120	
Shunt Reactor	Mae Moh 3	500	290(290)
	Tha Tako	500	440(440)
	Nong Chok	500	245(245)
	Ao Phai	500	150(150)
	Prachuap Khiri Khan	230	50
	Surat Thani	230	50

Note: () indicates capacity planned to be installed by EGAT

Table 11-3 Transition of Main Facilities from Fiscal 1997 to 2000

Facility		1997		1999		2000				
Transmission Line	500kV line									
	Mae Moh - Tha Tako	1 circuit	ACSR795MCM*4	326km	1 circuit	ACSR795MCM*4	326km	1 circuit	ACSR795MCM*4	326km
		2 circuits	ACSR795MCM*4	333km	1 circuit	ACSR795MCM*4	333km	1 circuit	ACSR795MCM*4	333km
		2 circuits	ACSR795MCM*4	215km	2 circuits	ACSR795MCM*4	215km	2 circuits	ACSR795MCM*4	215km
					1 circuit	ACSR795MCM*4	18km	1 circuit	ACSR795MCM*4	18km
					1 circuit	ACSR795MCM*4	351km	2 circuits	ACSR795MCM*4	351km
					1 circuit	ACSR795MCM*4	140km	1 circuit	ACSR795MCM*4	140km
					1 circuit	ACSR795MCM*4	230km	1 circuit	ACSR795MCM*4	230km
					1 circuit	ACSR795MCM*4	90km	1 circuit	ACSR795MCM*4	90km
Substation	Tha Tako	500KV/230KV	600MVA * 3		500KV/230KV	600MVA * 3		2 circuits	ACSR1272MCM*2	260km
	Nong Chok	500KV/230KV	600MVA * 2		500KV/230KV	600MVA * 2		2 circuits	ACSR1272MCM*2	80km
	Sai Noi	500KV/230KV	600MVA * 2		500KV/230KV	600MVA * 2				
Thermal Power										
Pumped Storage										

Table 11-4 Fault Conditions Applied for Power System Stability Analyses

Case	Faulted Line	Fault Location	Fault Type
1	Mae Moh - Tha Tako 500kV Line	Adjacent to the 500kV bus at Tha Tako	4cycle, 3-phase fault
2	Tha Tako - Nong Chok 500kV Line	Ditto	Ditto
3	Saraburi 2 - Lam Ta Khong 230kV Line	Adjacent to the 230kV bus at Lam Ta Khong	5cycle, 3-phase fault
4	Thalan 3 - Lam Ta Khong 230kV Line	Ditto	Ditto

Table 11-5 The Result of Power System Stability Analysis of Lam Ta Khong Pumped Storage Power Plant

○ Stable
 △ Marginal
 × Unstable

Fiscal Year	1997		1999		2000	
Lam Ta Khong Scale (MW)	500	600	600	500	500	
Peak(P)/Ningt(N)	P	N	N	N	N	N
Fault Point	①	○ (Fig 11-4) ○ (Fig 11-6) *○ (Fig 11-7)	*× (Fig 11-10) × (Fig 11-11)	○ (Fig 11-12)	○ (Fig 11-13)	
	②	○ (Fig 11-8)	△	○	○	
	③	○ (Fig 11-5) ○ (Fig 11-9)	○	○	○	
Power System and Fault Point						

Note 1. The substation loads at night were assumed 50% of the peak demand of the fiscal year, except two cases: marked with *, where 75% were adopted.
 2. In the fiscal 1999, pumping operation in the 70% demand of the year, will be stable but almost marginal.

Fig. 11-2 POWER FLOW DIAGRAM

1997 PEAK

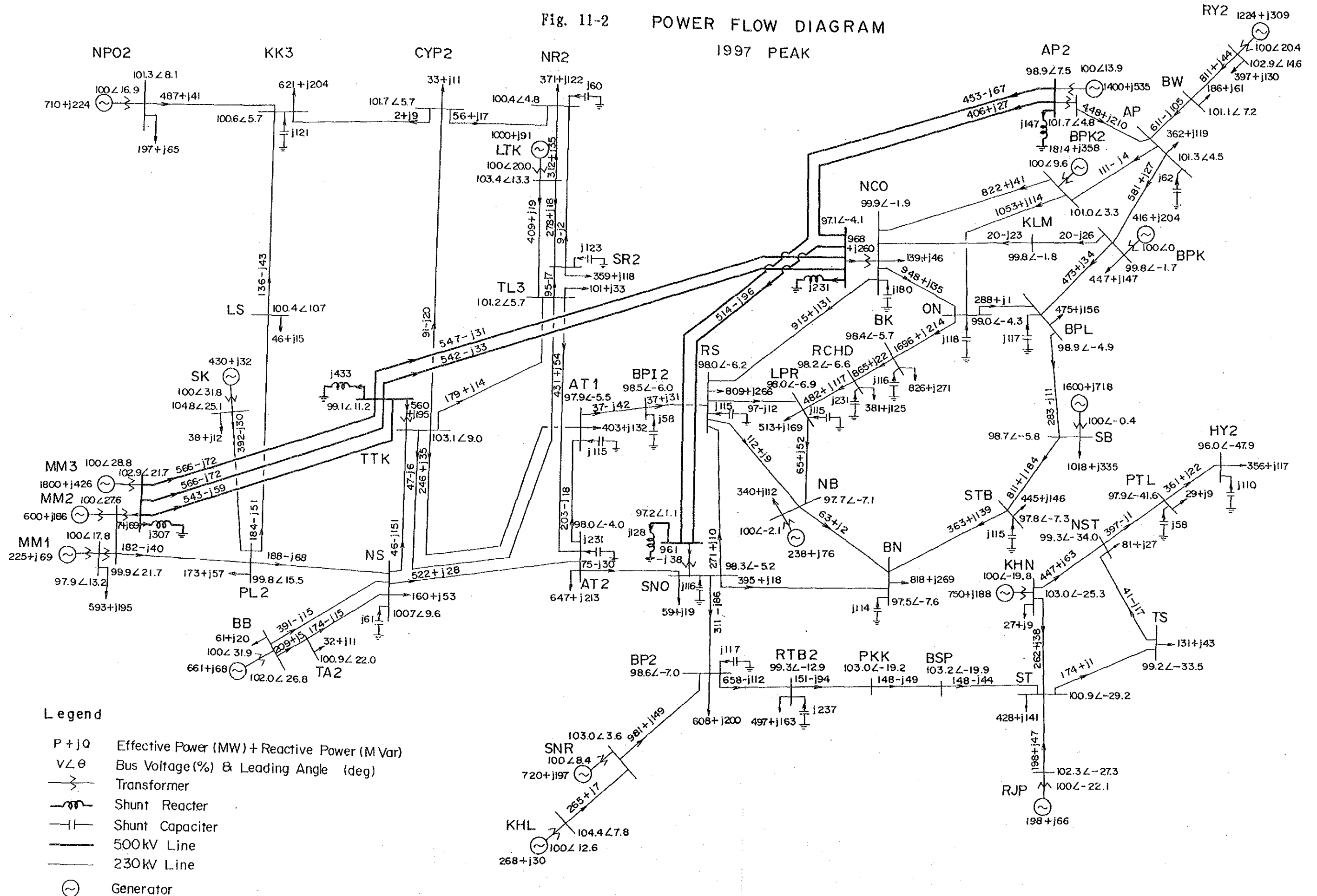


Fig. 11-3 POWER FLOW DIAGRAM

1997 NIGHT

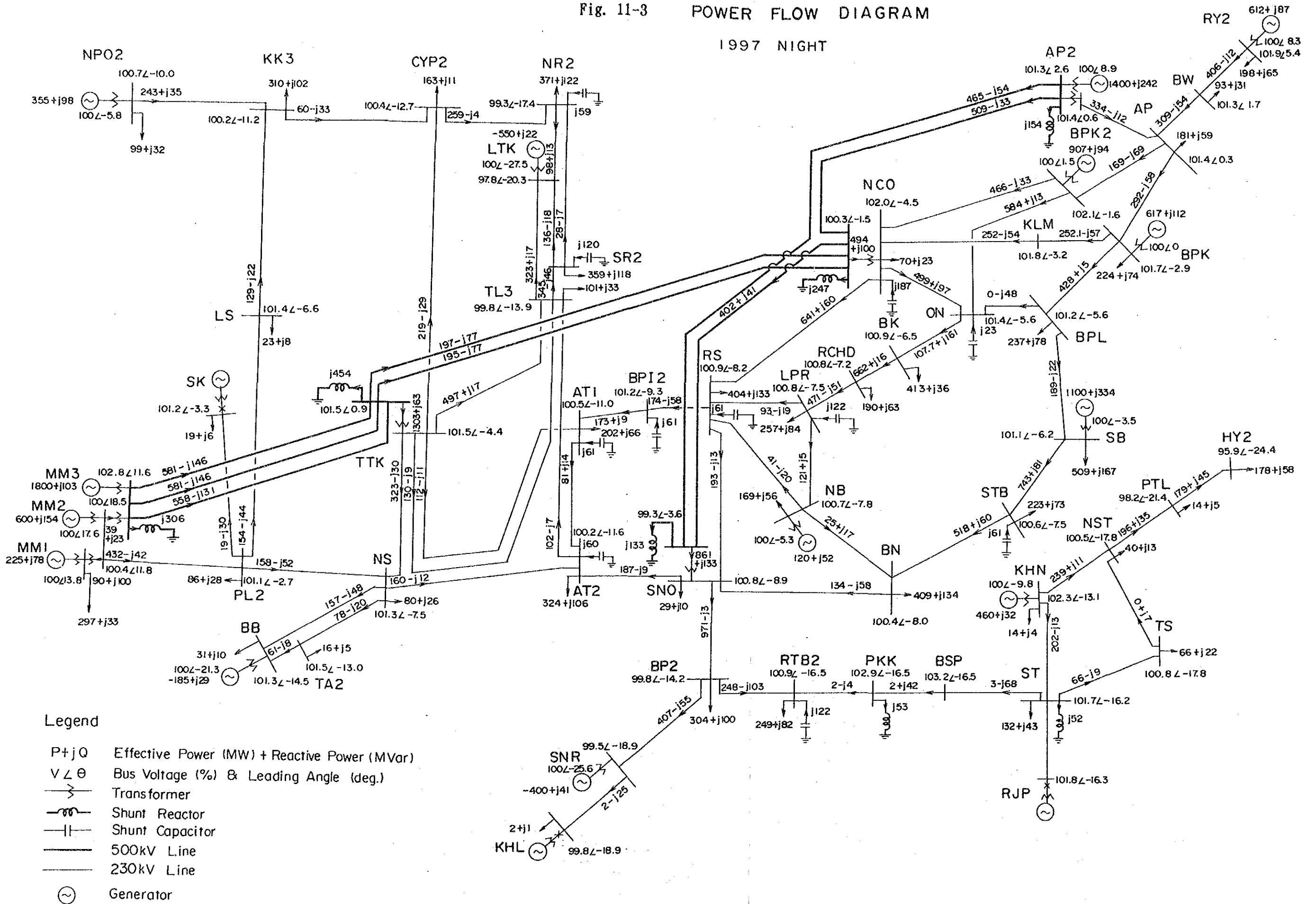


Fig. 11-4

Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 2*250MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at peak hours in 1997.

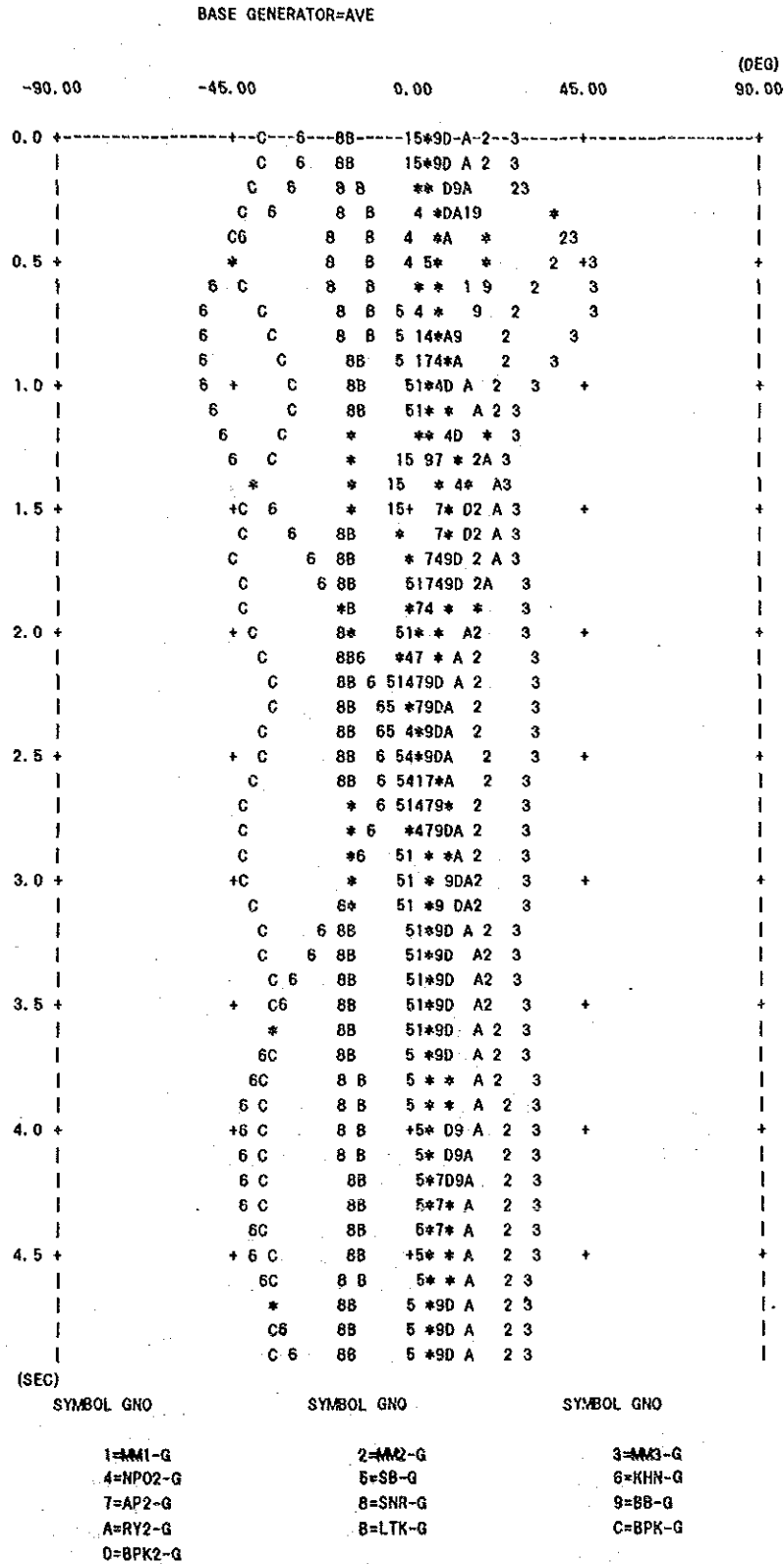


Fig. 11-5 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 2*250MW when a three-phase fault occurs on the Saraburi 2-Lam Ta Khong line at peak hours in 1997.

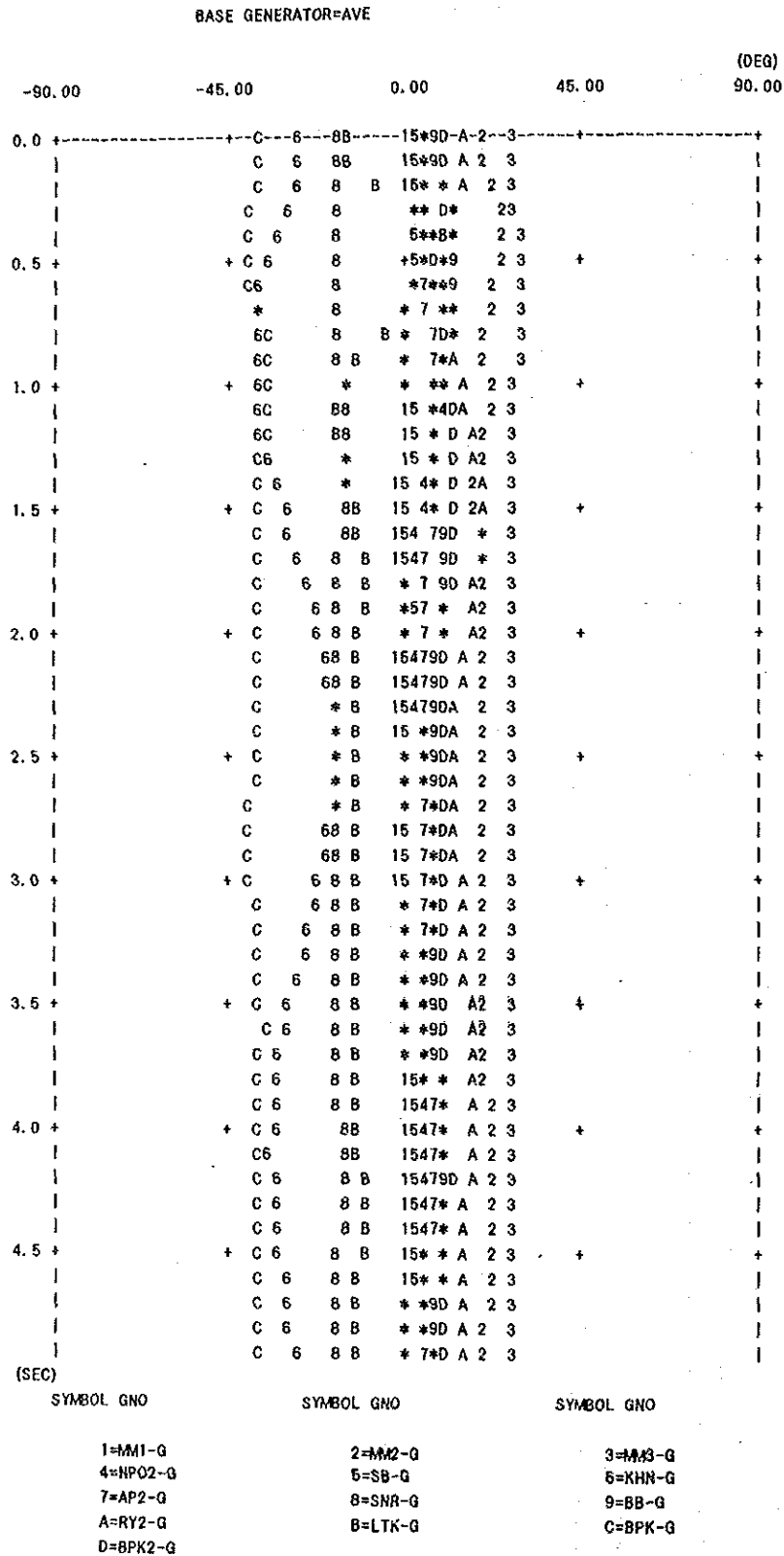


Fig. 11-6 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 2*250MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at off-peak hours in 1997.

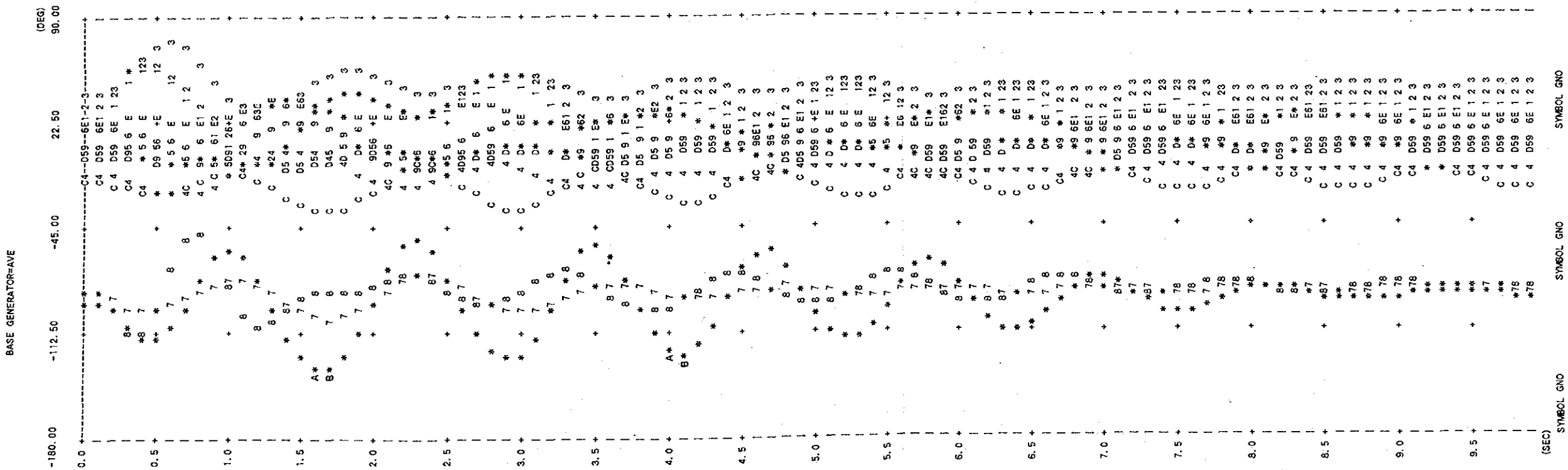


Fig. 11-7 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 2*250MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at off-peak hours in 1997.

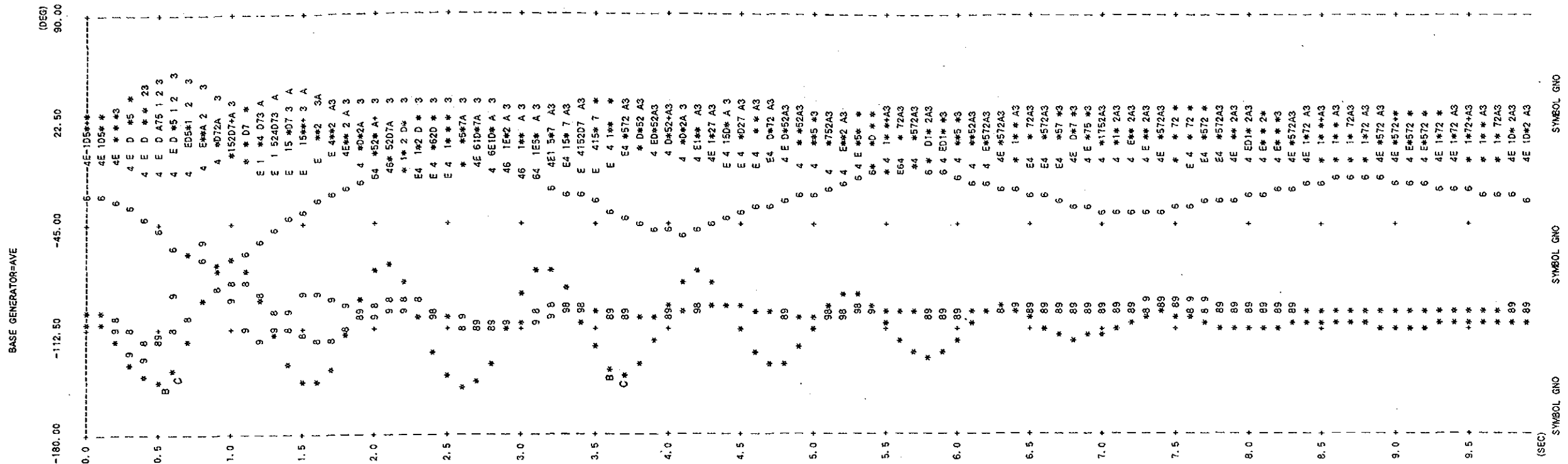


Fig. 11-8 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 24250MW when a three-phase fault occurs on the Tha Tako-Nong Chok line at off-peak hours in 1997.

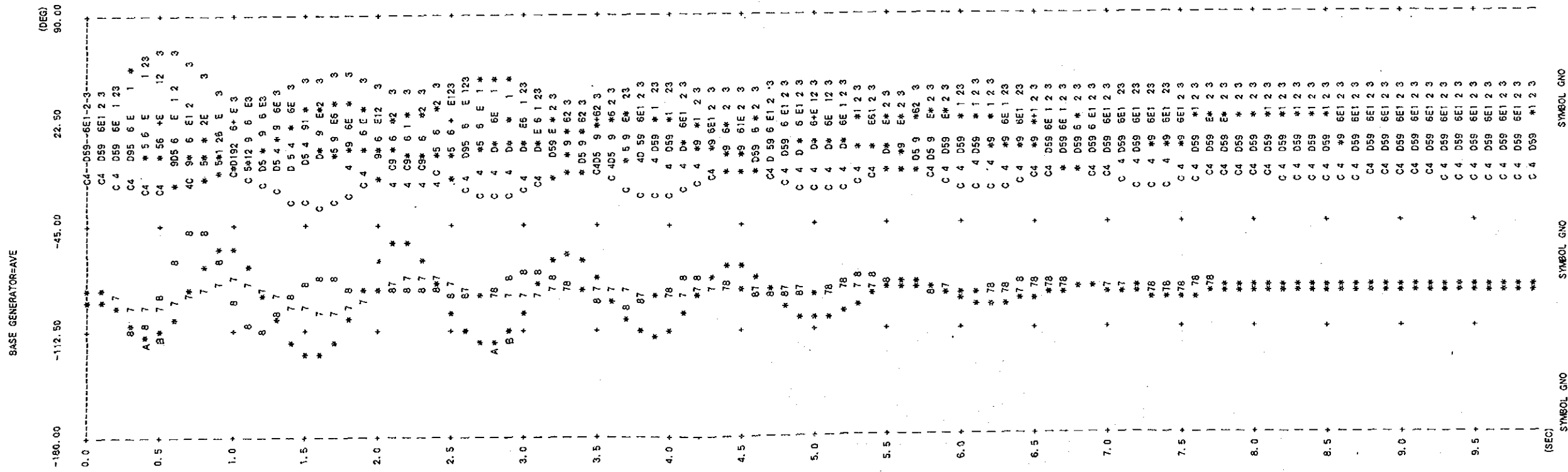


Fig. 11-9 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 24250MW when a three-phase fault occurs on the Saraburi 2-Lam Ta Khong line at off-peak hours in 1997.

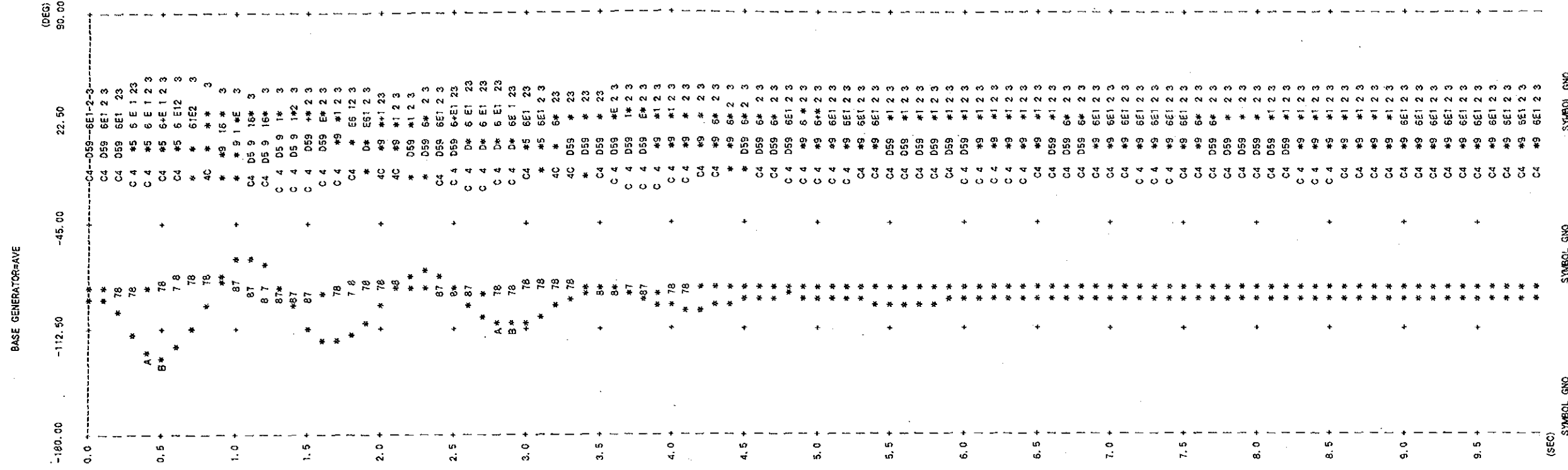


Fig. 11-10 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 38200MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at off-peak hours in 1997.

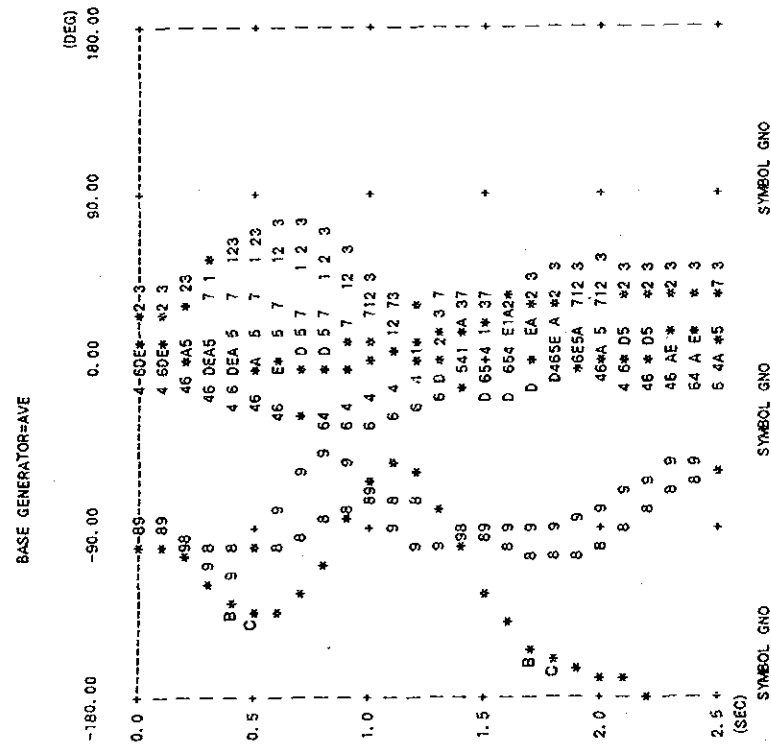


Fig. 11-11 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 34200MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at off-peak hours in 1997.

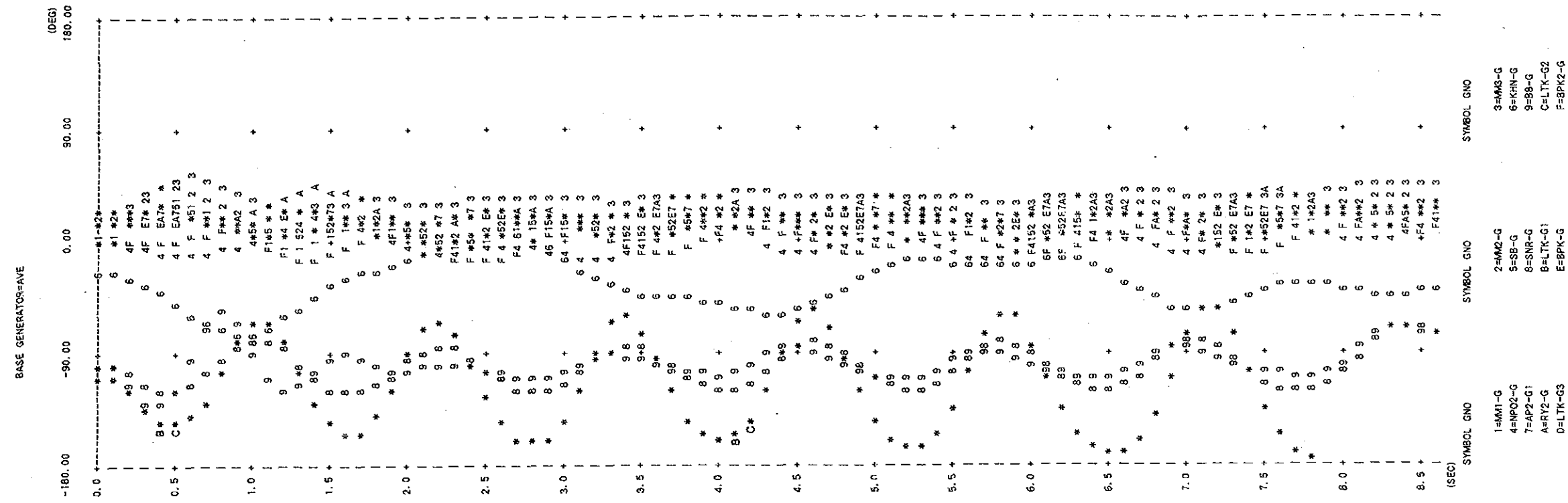
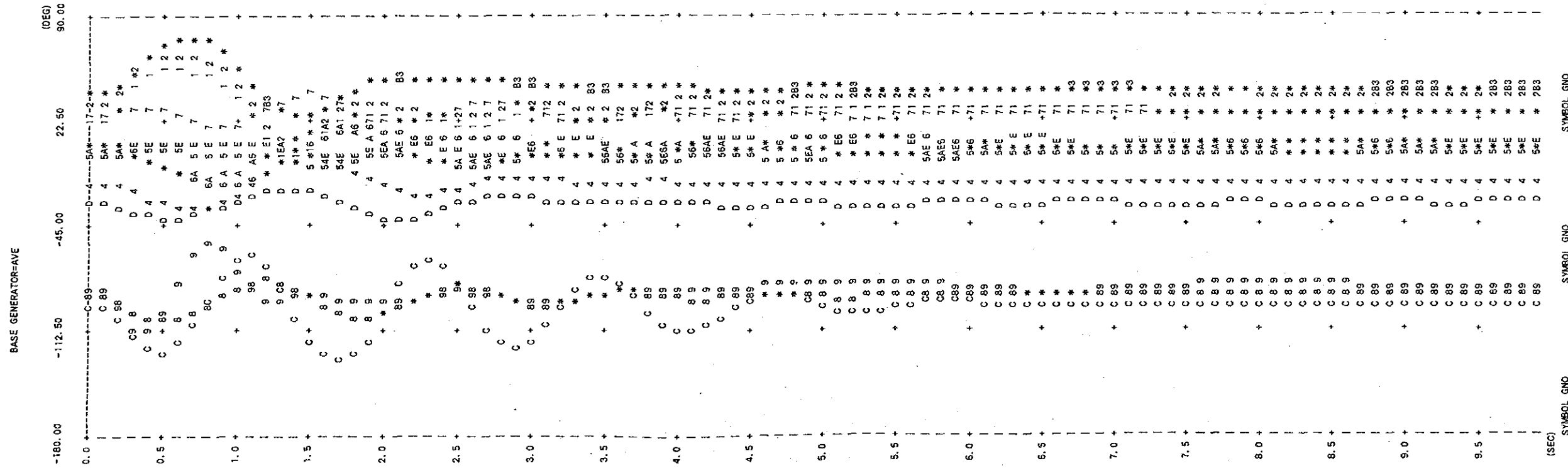
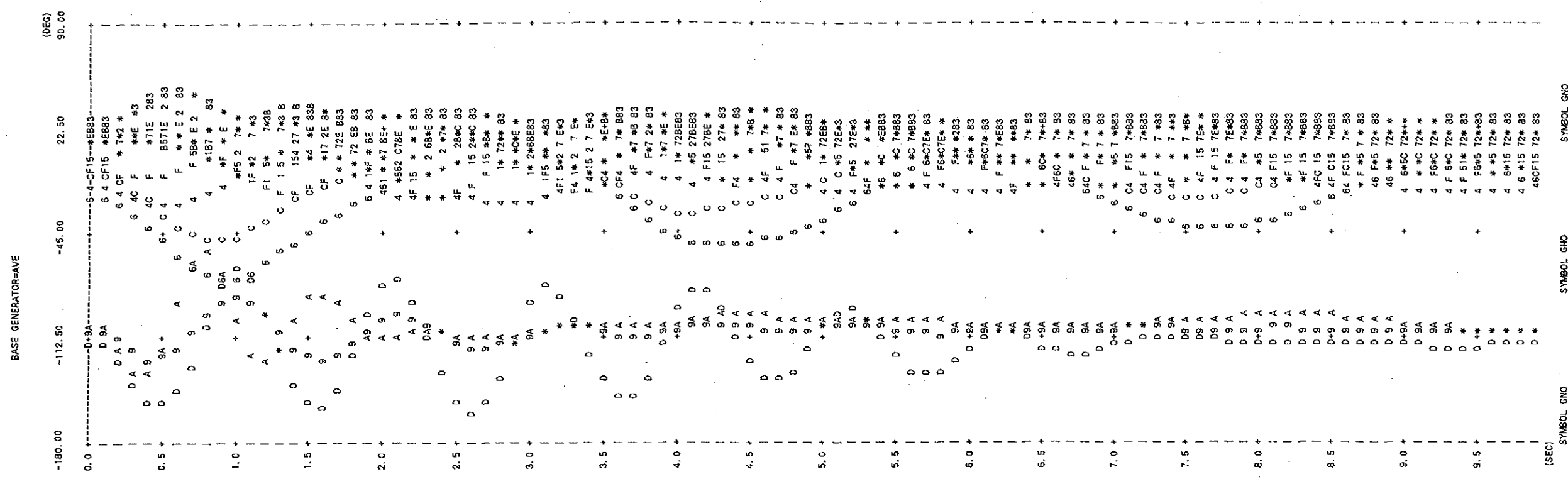


Fig. 11-12 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 2x250MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at off-peak hours in 1999.



SYMBOL GNO SYMBOL GNO SYMBOL GNO
 1=M1-G 2=M2-G 3=M3-G
 4=NPO2-G 5=SB-G 6=KHN-G
 7=AP2-G3 8=SNR-G 9=BB-G
 A=RY2-G B=LPP-G C=LTK-G
 D=BPK-G E=BPK2-G

Fig. 11-13 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 2x250MW when a three-phase fault occurs on the Mae Moh-Tha Tako line at off-peak hours in 2000.



SYMBOL GNO SYMBOL GNO SYMBOL GNO
 1=M1-G 2=M2-G 3=M3-G
 4=NPO2-G 5=SB-G 6=KHN-G
 7=AP2-G3 8=LPP-G 9=SNR-G
 A=BB-G B=RY2-G C=SY-G
 D=LTK-G E=BPK-G F=BPK2-G

Fig. 11-14

Three-phase short circuit currents and capacities on the buses around the Lam Ta Khong project in 1997 (x_d' is used)

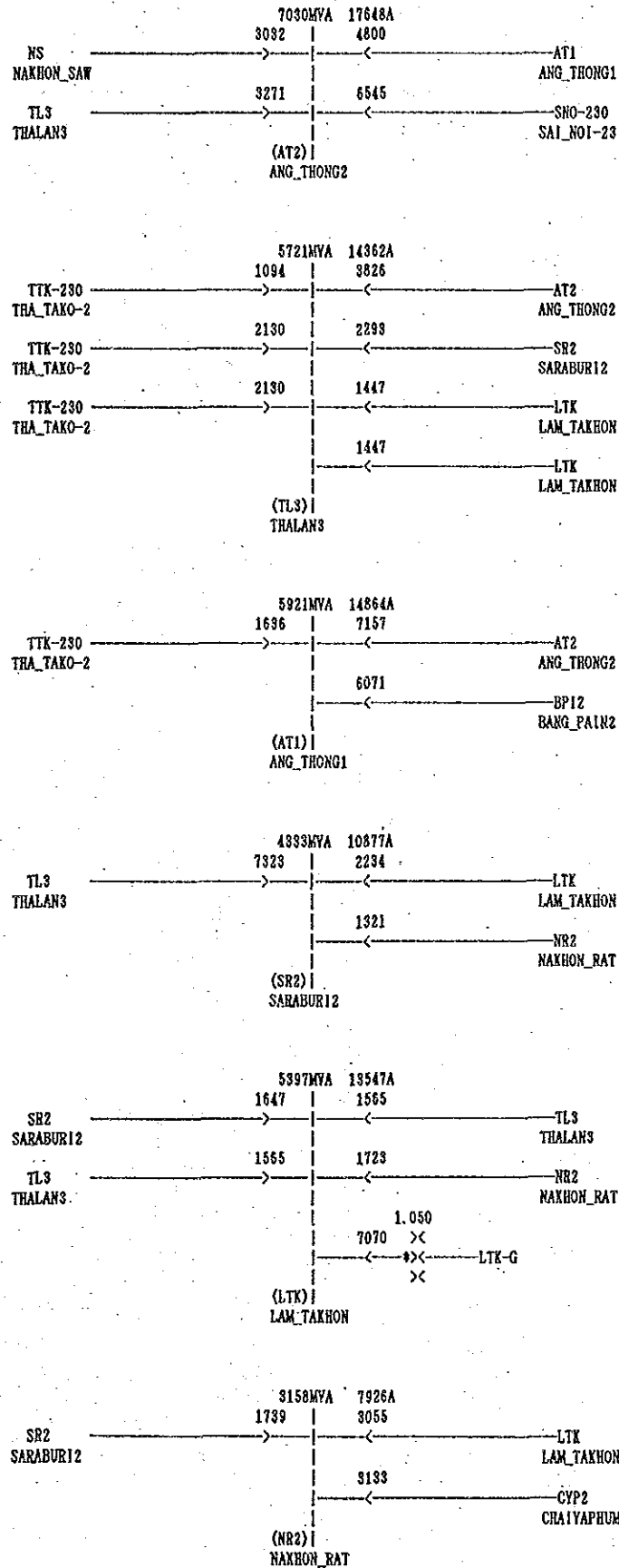
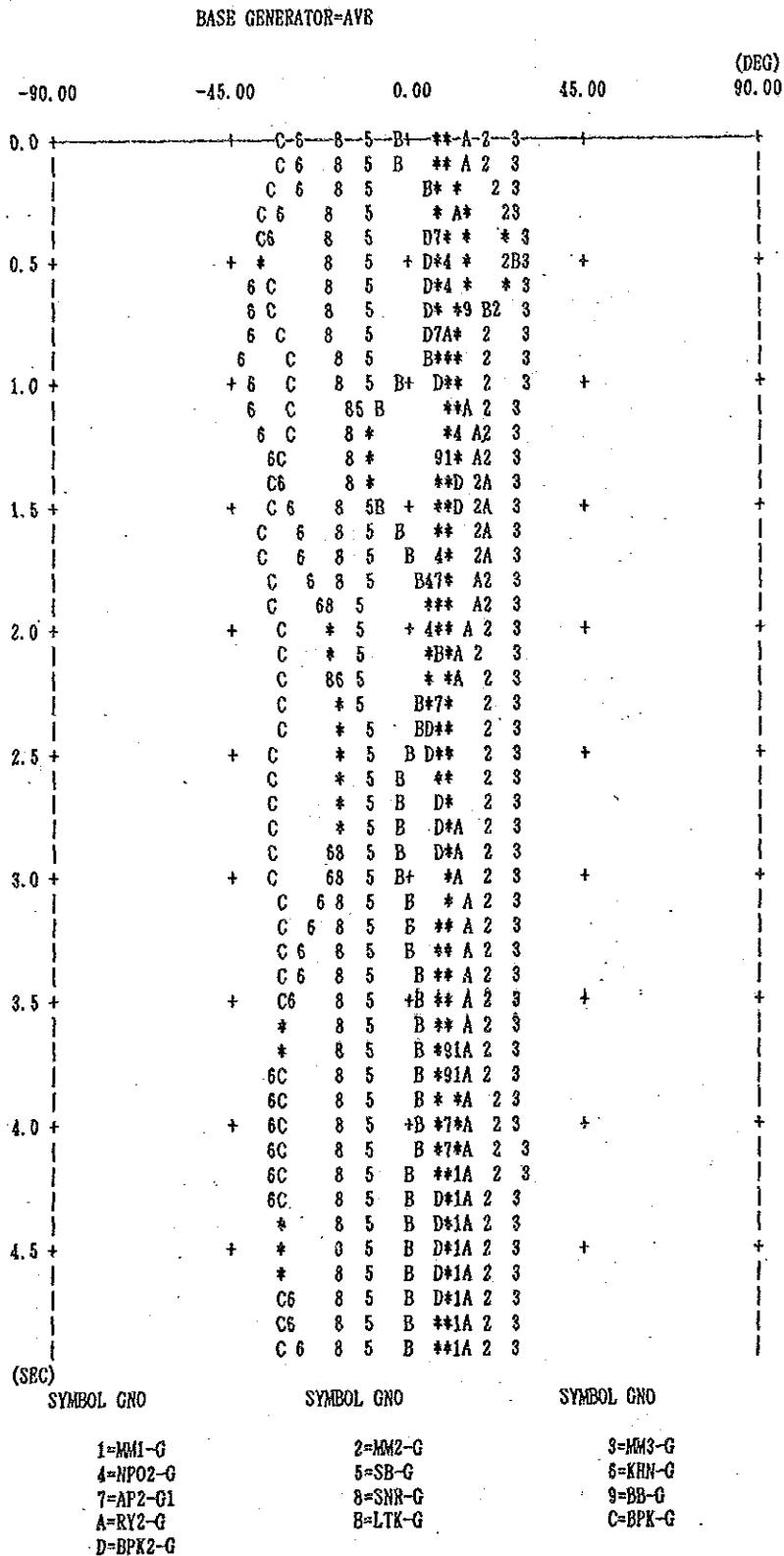


Fig. 11-15 Generation angle swing curves with Lam Ta Khong 4*250MW when a three-phase fault occurs on the Saraburi 2-Lam Ta Khong line at peak hours in 1997.



11.4 送電計画

Lam Ta Khong揚水地点は環境保護規制の面から制約があり、500kV送電線の引込みがむずかしく、また230kV送電線の場合でも4回線の引込みが限度であると思われる。

Lam Ta Khong揚水の発生する電力の送電方法は当揚水の開発規模によって異なってくる。1997年に開発される場合、その揚水電力は系統安定度から500MWが限度であるがピーク時の1,000MW発電には問題がないため、当初より1,000MW設備を設置することが考えられる。送電計画はこの電源開発計画に見合ったものとする。

当揚水の開発地点の近傍にはSaraburi 2変電所とNakhon Ratchasima 2変電所を結ぶ230kV送電線2回線がある（現在115kVで運用中）。

この送電線の電流容量から決まる送電容量は1回線あたり429MVA（導体ACSR 1,272MCM×1）である。Lam Ta Khong揚水をこの送電線に1πで接続すると同時に、当揚水をThalan3変電所に230kV 2回線（導体ACSR 1,272MCM×1）の送電線で接続する。

この送電パターンにより250MW、2ユニットの揚水が可能であり、また250MW、4ユニットの発電が可能である。

第12章 予備設計

第12章 予 備 設 計

目 次

	頁
1 2. 1 上 池	12- 1
1 2. 1. 1 一 般	12- 1
1 2. 1. 2 上池の位置	12- 1
1 2. 1. 3 上池の地質	12- 1
1 2. 1. 4 上池の構造	12- 2
1 2. 1. 5 アスファルトしゃ水壁	12- 3
1 2. 1. 6 排水設備	12- 4
1 2. 1. 7 土捨場	12- 4
1 2. 2 水 路	12- 5
1 2. 2. 1 一 般	12- 5
1 2. 2. 2 地 質	12- 6
1 2. 2. 3 取 水 口	12- 6
1 2. 2. 4 水 圧 管 路	12- 6
1 2. 2. 5 放 水 路	12- 7
1 2. 3 発 電 所	12- 8
1 2. 3. 1 一 般	12- 8
1 2. 3. 2 地 質	12- 8
1 2. 3. 3 地下発電所および変圧器室	12- 8
1 2. 3. 4 土 捨 場	12- 9
1 2. 4 電 気 設 備	12-23
1 2. 4. 1 発 電 所	12-23
1 2. 4. 2 屋 外 設 備	12-27
1 2. 4. 3 運 転 制 御	12-29
1 2. 4. 4 詳 細 検 討	12-31

1 2. 5 送電線	12-53
1 2. 5. 1 送電計画	12-53
1 2. 5. 2 基本事項	12-54
1 2. 5. 3 送電線ルート	12-54
1 2. 6 通信設備	12-58

List of Figures

- Fig. 12-1 Single Line Diagram
- Fig. 12-2 Comparison of Switchyard Location (I)
- Fig. 12-3 Comparison of Switchyard Location (II)
- Fig. 12-4 Comparison of Switchyard Location (III)
- Fig. 12-5 Typical 230 kV Transmission Tower
- Fig. 12-6 Plan of Transmission Lines for the Lam Ta Khong Power Plant
- Fig. 12-7 Telecommunication System

List of Drawing

DWG. 12-1	GENERAL PLAN	
DWG. 12-2	WATERWAY	PROFILE AND SECTION
DWG. 12-3	POWERHOUSE	SECTION
DWG. 12-4	SWITCHYARD	PLAN AND SECTION
DWG. 12-5	WATERSHED CLASSIFICATION IN PROJECT AREA	
DWG. 12-6	POWERHOUSE	BIRD'S - EYE VIEW
DWG. 12-7	POWERHOUSE	ARRANGEMENT OF ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT (1/2)
DWG. 12-8	POWERHOUSE	ARRANGEMENT OF ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT (2/2)
DWG. 12-9	TRANSFORMER ROOM	ARRANGEMENT OF ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT (1/2)
DWG. 12-10	TRANSFORMER ROOM	ARRANGEMENT OF ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT (2/2)
DWG. 12-11	SWITCHYARD	PLAN AND SECTION (CONVENTIONAL TYPE)
DWG. 12-12	CONTROL BUILDING	ARRANGEMENT OF ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT

第12章 予備設計

12.1 上池

12.1.1 一般

上池は、Lam Ta Khongダム上流約6.5kmの右岸、標高640m付近のなだらかな台地を掘込み、一部盛立てた湛水面積 $340 \times 10^3 \text{ m}^2$ 、総貯水容量 $10,300 \times 10^3 \text{ m}^3$ のプール型の調整池であり、最大出力1,000MW、8時間の発電ができる。

プールの内面は、アスファルトコンクリートで覆ってしゃ水し、盛土部は、掘削ずりの一部を流用して盛立てる、表面しゃ水壁型アスファルトフェイシングフィルタイプダムとした。

掘削量は約 $7,000 \times 10^3 \text{ m}^3$ 盛立量 $6,200 \times 10^3 \text{ m}^3$ である。盛立材料はダム掘削ずりを流用する。

アスファルトコンクリートの厚さは25~30cm、その面積は約 $360 \times 10^3 \text{ m}^2$ である。

12.1.2 上池の位置

上池の位置は、地形、地質および水路延長、ダム工事費等を検討して最も有利な位置を選定した。また、DWG.12-5に示す通り国家環境庁が設定している環境開発規制区分(Watershed Classification)1Aをさけた位置とし、環境上充分配慮した。

上池を北側へ配置した場合、ダムの高さが高くなりダム盛立量が増える方向にあり、南側へ配置すると逆にダム掘削量が増えそれぞれ不経済となる。また、東側へ配置すると、水路が長く不経済となる。西側は崖および保水区分1Aとなっている。これらの条件を総合的に勘案して、最も有利な位置を選定した。

12.1.3 上池の地質

上池地点の地質は、表層に厚さ3~4mの風化残留土があり、その下には5~15mの厚さの粘土岩と10~35mの厚さの粗粒砂岩が交互に分布する。ダムの基礎は粘土岩および粗粒砂岩となる。

12.1.4 上池の構造

上池の平面形状は、略々一辺620mの四辺形で、その四角には大きな曲率をつけた。これはアスファルトしゃ水壁に応力の集中を避ける為と、しゃ水壁の施工を容易にする為である。

上池内面の斜面勾配と盛立部の外面勾配は、盛立部、アスファルトしゃ水壁の安定性および景観上から何れも1:2.5とした。

上池の諸元は次表の通りである。

上池諸元

項目	諸元
ダム形式	アスファルトフェイシングフィルタイプダム
ダム高さ	60m
ダム天端巾	10m
ダム頂長	2,210m
ダム標高	E.L 662.50 m
ダム法面勾配	(背面、内面共) 1:2.5
総掘削量	$6,960 \times 10^3 \text{ m}^3$
総盛立量	$6,190 \times 10^3 \text{ m}^3$
アスファルトしゃ水壁	(斜面部) $220 \times 10^3 \text{ m}^3$
	(底面部) $140 \times 10^3 \text{ m}^3$

上池は、10~15%の勾配で北側になだらかに傾斜した台地を掘り込んで作り、その掘削の深さは最大約45m、池の最深部は、天端からの深さが50.5mである。

盛立部は取水口の近辺が最も高く、最大約60mである。

盛立材料は、掘削した粘土岩材料を流用する。また、粘土岩の比較的硬固なものと同粒砂岩を、アスファルトしゃ水壁の基盤となるトランジション層の盛立に流用する。

上池の天端幅は、斜面のアスファルトしゃ水壁用舗設機械の幅を考慮して、10mとした。また、天端標高は、風、地震、堤体の構造等を考慮して満水面からの余裕高を2.50mとし、E.L 662.50mとした。

利用水深は、有効貯水量、湛水面積、ダム工事費等を勘案し、40mとした。

上池の底部は、硬固な粗粒砂岩上に乗るような設計とした。

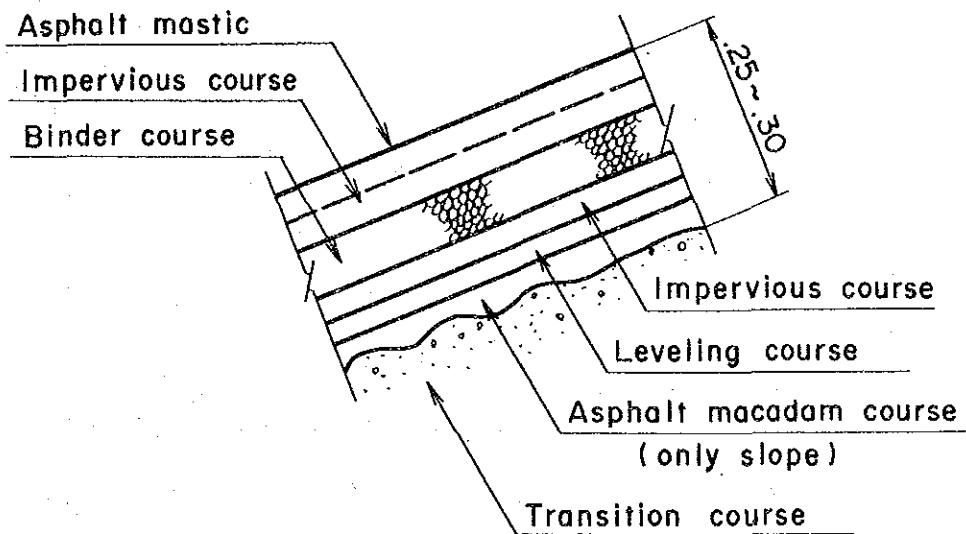
12.1.5 アスファルトしゃ水壁

アスファルトしゃ水壁は、上池の掘削基盤および盛土面からの漏水を防ぐため、上池の内面全域をアスファルトしゃ水壁で覆うものである。

アスファルトしゃ水壁は、斜面部底面部ともに粗粒度アスファルトコンクリートを中間排水層とし、その上下層に不透水性の密粒度アスファルトコンクリートを配した構造とした。万一、上層よりの漏水が生じて、すみやかに中間排水層を通して監査廊内に導くものである。

アスファルトしゃ水壁の厚さは、斜面部30cm、底面部25cmとし、その面積は斜面部約 $220 \times 10^3 \text{ m}^2$ 、底面部 $140 \times 10^3 \text{ m}^2$ である。

アスファルトしゃ水壁の下には厚さが斜面部60cm、底面部50cmのトランジション層を設ける。トランジション層は、しゃ水壁の水圧に対して変形に対する抵抗性を補強し、また周辺地山からの湧水を排出し、背圧を防止する重要な役目を持つ。アスファルトしゃ水壁の構成を次図に示す。



Composition of Asphalt Facing

12.1.6 排水設備

アスファルトしゃ水壁から漏水および地山からの湧水は、アスファルトしゃ水壁の中間排水層およびトランジション層を通して、上池底面部に設けた監査廊内に導く。監査廊は、上池底面部全周と取水口廻りおよび底面部を横断する数本を設ける。監査廊に出てきた漏水および湧水は、一ヶ所に集め排水立坑および排水トンネルに導き、上池北側の沢に自然排水する。

排水立坑および排水トンネルは、工事中の排水を兼ねる為、なくてはならない重要なものである。

12.1.7 土捨場

土捨場は、上池の南側に隣接して設けた。この事によって上池掘削ずりの運搬距離が短くなり上池掘削単価の低下がはかられる。

この土捨場には、上池および水圧管路上部水平坑等の掘削ずりを捨てる。

土捨場の形状は、環境面を考慮し、ゆるやかな法面とし、法面の保護、周辺の緑化を行いダム周辺地形に調和するよう配慮した。

12.2 水路

12.2.1 一般

水路のルートはなだらかな尾根状となっている部分に、水路長が最も短くなるように計画した。水圧鉄管は、環境開発規制区分1Aを横切るため、環境面を考慮し地下埋設式とした。放水路は、延長約1,470mと長い為、発電の負荷変動に対し充分安全となるよう、サージチャンバを設けると共に、電力系統の周波数安定化機能である

AFC (Automatic Frequency Control) 運転が可能な構造となっている。また、放水路は将来の点検、保守を考慮し、ドラフトゲート、放水口ゲートを設置した。

水路の諸元を次表に示す。

水路の諸元

項 目		諸 元
取水口	形式 内径×高さ×条数	鉄筋コンクリート朝顔型 D (18.00~5.80)m×51m × 2条
水圧管路	型式 内径×長さ×条数	埋設式水圧鉄管 D (5.80 ~2.60)m×690m× (2~4)条
放水路 トンネル	型式 内径×長さ×条数	円型圧力トンネル D (4.90 ~6.60)m×1,470m× (4~2)条
サージ チャンバ	型式 (本体) 内径×高さ×条数 (上部水室) 巾×高さ×長さ×条数	単動上部水室型 D8.90×107.0 m × 2条 10.00m×10.00m×35.00m× 2条
放水口	型式 巾×高さ ×長さ×条数	鉄筋コンクリート4連ボックスカルバート型 (6.60 ~30.00)m × (6.60 ~10)m ×55.00m× 2条

12.2.2 地質

取水口の基盤は、硬固な粗粒砂岩上に配置した。

水圧鉄管および放水路の地質は、主にシルト岩および細流砂岩から成り、一部に粗粒砂岩も分布する。この地層は、ほぼ水平状になっている為、水平坑、特に放水路トンネル掘削時の天端付近の肌落ちが若干問題となろう。又、シルト岩は水にひたすとスレーキングを起こす事が分かっている。

しかし、掘削時における水抜き、および掘削後直ちに覆工するNATM工法を採用することにより問題はないと思われる。

12.2.3 取水口

上池は、プール式の調整池で、取水口を池の底部に設ける必要から朝顔型とした。この取水口は、揚水時には放水口となるので、これらの水理特性すなわち渦および偏流現象が現れないようピアーを鉛直にし、頂床版、整流桁等を設けた構造とした。なお、取水口は立坑部を経て水圧管路に湾曲部を以て接続する。又、取水口の立坑部は、内張管でライニングする。

12.2.4 水圧管路

水圧管路は、上段、中段、下段の水平部と51°の上段、下段の斜坑でつなぐ、延長約690m×(2~4)条の埋設式鉄管で、その内径は、5.80~2.60mまで変化する。又、上段水平部から下段斜坑までは2条とし、下段水平坑以降は4条とした。

水圧鉄管にかかる静水頭は、上部で90m、最下部で461m、水撃圧を含む最大設計水頭は、約600mになる。水圧鉄管の管胴材は、SM58およびHT80を使用し、全水圧を負担するものとした。管胴材の総重量は約7,580tとなる。なお、上段水平坑には、掘削ずりの搬出、鉄管の搬入を行う上段鉄管搬入路トンネルを設けた。

中段水平坑には、発電所工事と平行して上・下段斜坑の工事が行える様に下段鉄管搬入路トンネルを設けた。この下段鉄管搬入路トンネルは坑口の方へ下り勾配とし、鉄管周辺の工事中、工事終了後の排水を行うと共に、放水路サージチャンバの作業坑および点検、保守の役目を持つ。また、放水路サージチャンバにおけるサージング時に空気の供給および排出する役目を持つ。

上段および下段斜坑の勾配は、掘削ずりの落下を容易にする等、施工性を考慮して51°とした。

中段水平坑以下の各トンネルの関連を、鳥瞰図（DWG.12-6）に示す。

12.2.5 放水路

放水路は延長1,470m×(4~2)条の円形圧力トンネルである。

放水路トンネルは、延長がかなり長い為に負荷急増、負荷しゃ断に対しトンネルが充分安全であるようサージチャンバを設けた。サージチャンバは内径8.90m、高さ107.0mの単動上部水室型とした。上部水室（巾10m×高さ10m×長さ35m）は、下段鉄管搬入路と連絡し、施工中の作業坑の役目を果たすと共にサージング時の空気の供給、排出を行う。

放水口付近の地形は1：20~50のなだらかな勾配で下池の方へ下っている。ボーリング調査（DHT-3）によれば、表層堆積物は比較的薄く、シルト岩がすぐに現れるが、トンネルは、堅固な岩盤内に収まるようにその下の細粒砂岩部にトンネル終端を持ってきた。

放水口は、発電時におけるスムーズな流速の減少と水流の拡散、および揚水時における空気連行を伴うことなく安定した流れとなるよう、円形圧力トンネルから広がりながら4連ボックスカルバートに変化する構造とした。

放水口前面の湖底部は安定的な放水、取水となるよう広がりを持った台形断面の明り掘削とし、仕上高さは、放水口敷E.L.248.50mからE.L.256.00mにすりつける構造とした。放水口トンネルには、水車およびトンネルの保守、点検の目的でドラフトゲートを4門（ボンネット型 φ4.90m）、放水口ゲート2門（ローラゲート巾5.20m×高さ6.60m）を設けた。また放水口には、スクリーンを設けた。

下池のLam Ta Khong貯水池は、L.W.L.がE.L.261.00mである。また、Nakhon Ratchasima Water Supply Expansion Projectでは、L.L.W.L.259.00mまで取水する設計となっている。従って、放水口はL.L.W.L.259.00mまで発電および揚水可能な設計とした。

12.3. 発電所

12.3.1 一般

発電所は、水路と同様環境面を考慮し、地下式とした。また発電所搬入路トンネルの坑口および開閉所の明り部分を出来るだけ小さくし、又、DWG.12-5 に示す通り、国家環境庁が設定している環境開発規制区分1A、2Aを避けた。

発電所は、地表面から約300 mの地下に、250MW×4台のポンプ水車、発電電動機およびその他付属機器を収納する巾22m、高さ45.7m、長さ117mの大空洞地下発電所である。また、変圧器室は、水車中心から70mの位置に巾20m、高さ25.5m、長さ108mの大空洞を設け、4台の変圧器、GMC Sを収納すると共に、その直下にはドラフトゲート室を配置した。発電所の鳥瞰図をDWG.12-6 に示す。

これらの地下発電所および変圧器室の掘削量は、約168,000m³になる。

12.3.2 地質

地下発電所および変圧器室付近の地質は、アーチ部の上方がシルト岩および細粒砂岩からなっており、アーチ部以下は砂質シルト岩および細粒砂岩である。いずれも、水路と同様のほぼ水平な構造となっている。

施工時において、アーチ掘削にやや難点が考えられるが、水処理、掘削後の早期覆工、ロックボルト、PCアンカーの打ち込みにより充分対処できると思われる。

12.3.3 地下発電所および変圧器室

地下発電所および変圧器室の断面形状は、これまでの地下発電所の実績から広い地質条件に対応可能で、断面形状を最小限にし経済的である「きのこ型」とした。

地下発電所と変圧器室は共に大空洞である為、掘削時に相互に干渉し、周辺岩盤の変位、ゆるみ等に悪影響を及ぼす事も考えられるので、水車中心と変圧器中心を70m離れた。

地下発電所と外部は、発電所搬入路トンネル（延長約1,210m）とケーブルトンネル（延長約710m）で連絡されている。

発電所搬入路トンネルは、国道沿い（標高295.00m盤）から約14%の勾配で変圧器室（標高214.00m盤）を通り、発電所の組立室（標高214.00m盤）に取り付ける。

ケーブルトンネルは、斜面中腹（標高350.00m盤）から地下発電所および変圧器

室のアーチ基部（標高 225.0～230.5m盤）付近に約20%の勾配で取り付ける。

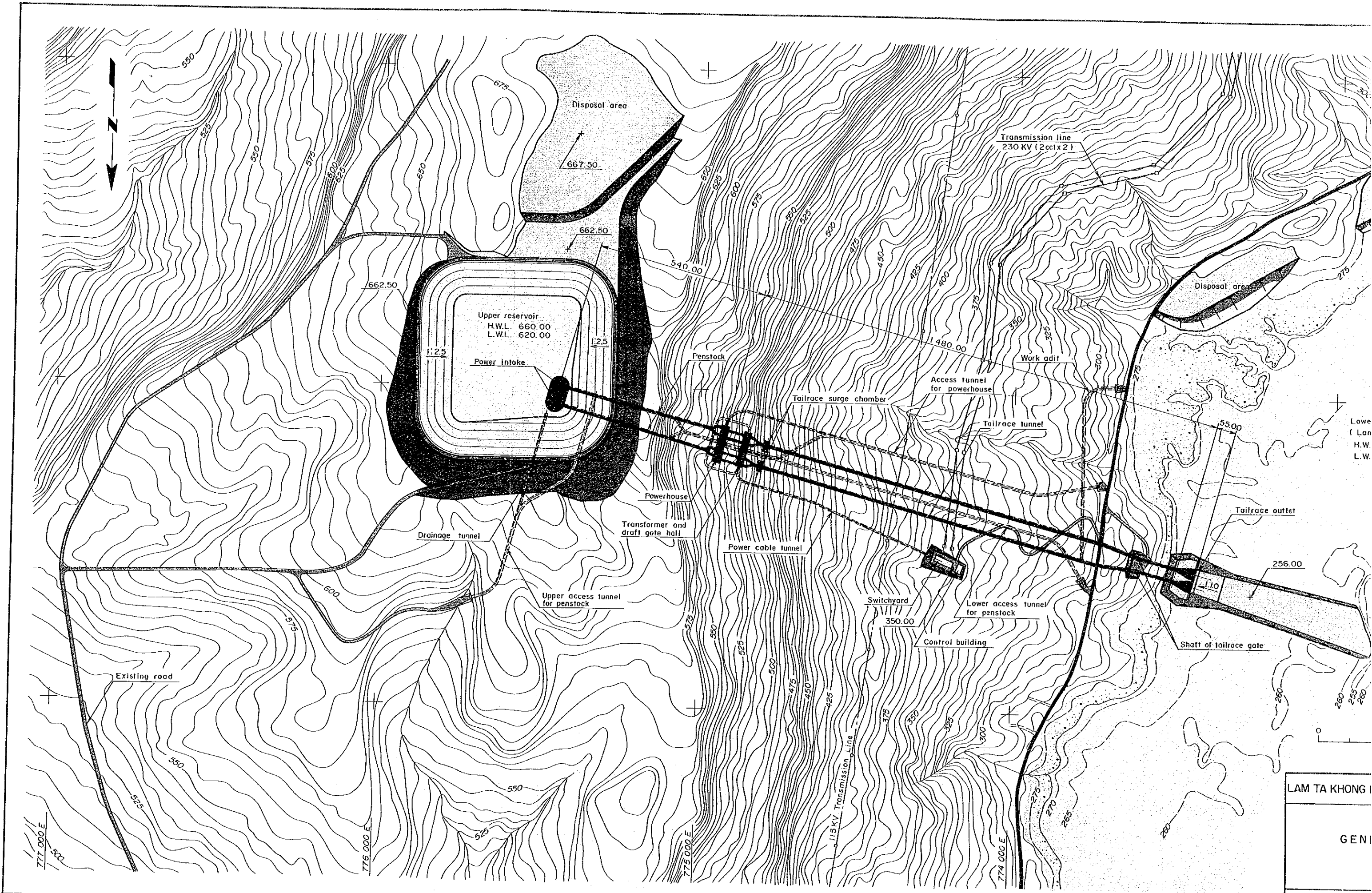
また、地下発電所の周辺には、周辺通廊（標高214.00m盤）を設けて、工事中の発電所本体に出てくる湧水を減少させ、またこれにより発電所を取り巻くカーテングラウト、水抜きボーリングを施工し、完成後、アーチおよび側壁コンクリートにかかる水圧減少を計ることとした。

地下発電所周辺の湧水は、各トンネルが地下発電所に到達した後最大となり、すべて発電所に集まる。これは各トンネルに配置したポンプにより坑外に出すが、停電があった場合、工事が停止する恐れがある。この為、発電所搬入路より分岐して発電所ピットに連絡する排水トンネルを設ける。このトンネルは工事中、水圧管路下段斜坑および発電所本体のずり出しトンネルとして使用し、また将来の排水トンネルとする。

12.3.4 土捨場

発電所、水圧管路の上段水平部を除く水路の掘削ずりの土捨場として、放水口南側、下池(Lam Ta Khong Reservoir)の水際に設けた。これは国道2号線より山側は、環境面への影響を考慮した為である。また土捨場の表面は国道と同じ高さの広い広場とし、将来、公園・リゾート等への有効利用を計るものとする。この土捨場の計画については、Lam Ta Khong Damの管理者である国家灌漑庁(R I D : Royal Irrigation Department)との協議が必要となるが、土捨場によるLam Ta Khong Reservoirの容量の減少は約 $650 \times 10^3 \text{ m}^3$ であり、有効貯水容量($290,000 \times 10^3 \text{ m}^3$)のわずか約0.2%であり、特に問題ないと思われる。

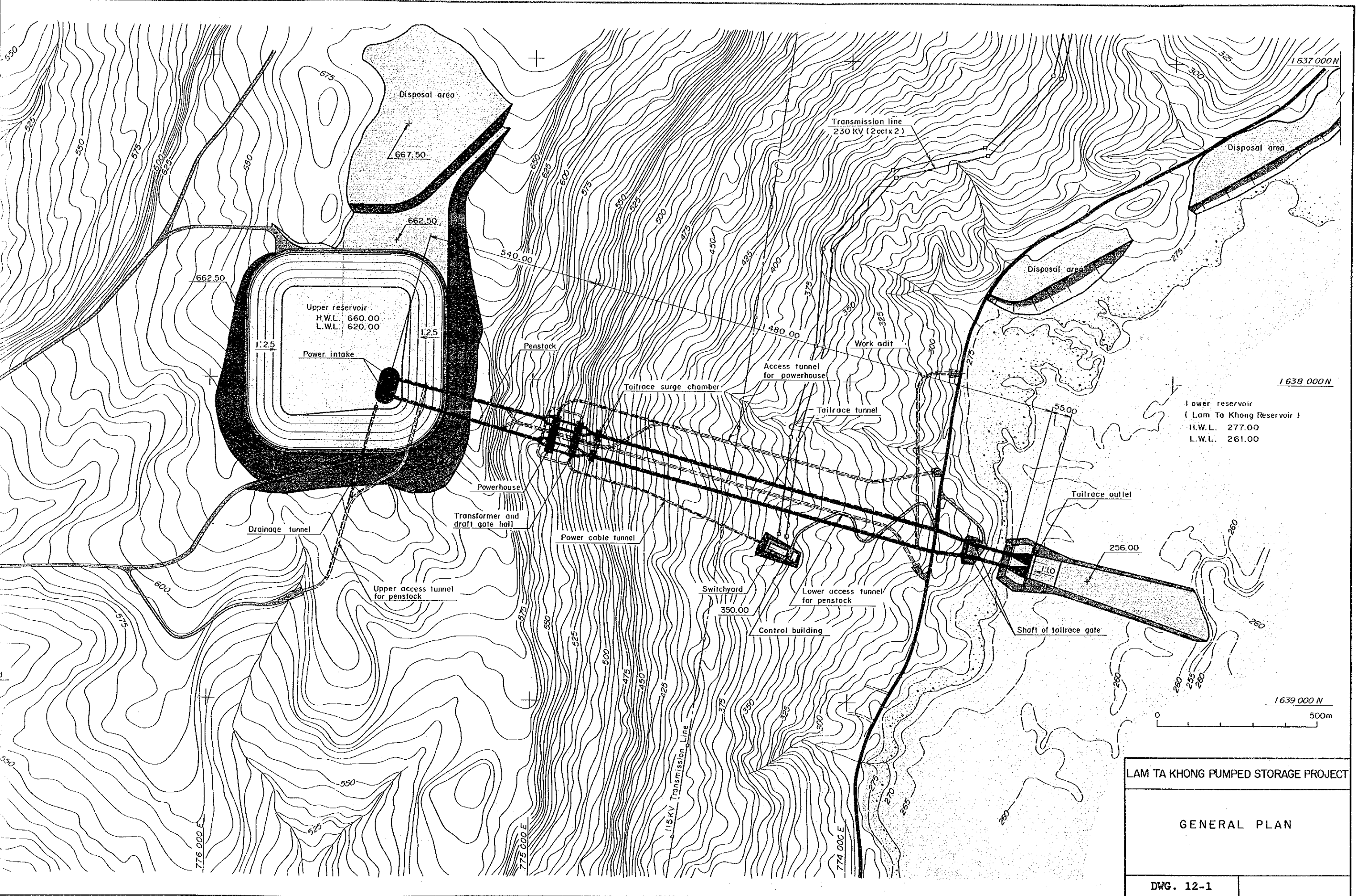
土捨場の法面は、周辺との調和、法面の保護を考慮して捨石張り、また周辺の緑化を行う。



LAM TA KHONG I

GEN I

DWG. 12-1



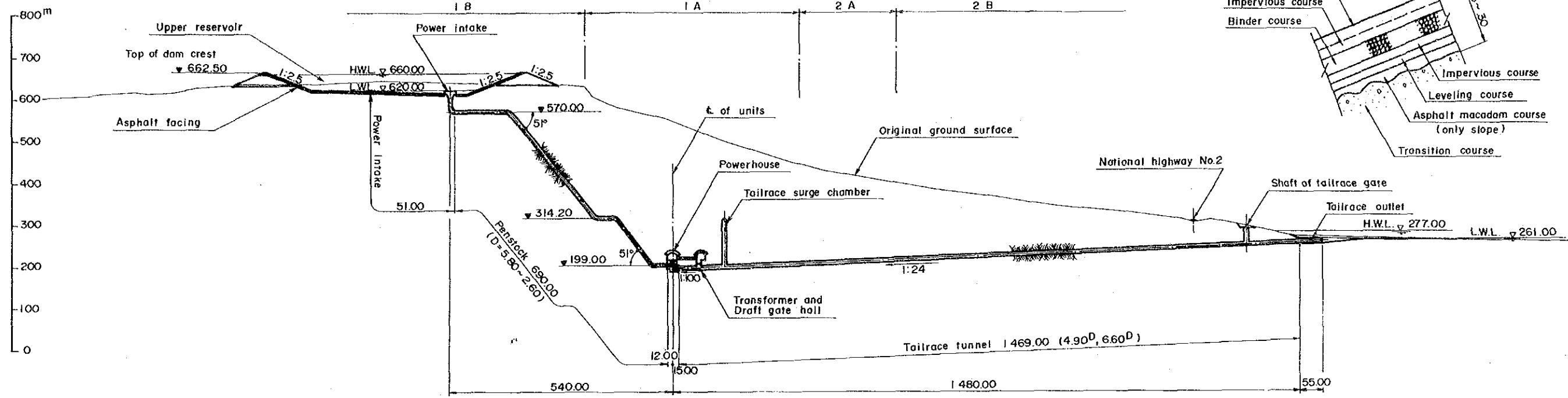
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

GENERAL PLAN

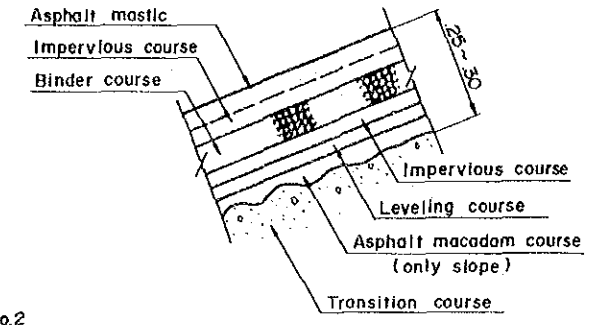
DWG. 12-1

PROFILE OF WATER WAY

(Watershed classification)

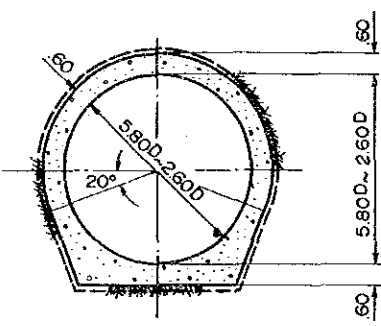


Composition of asphalt facing

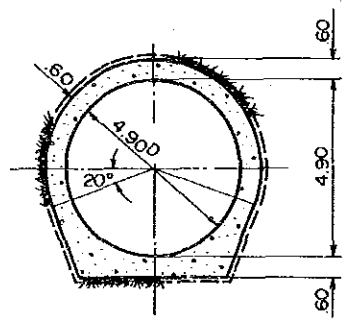


TYPICAL CROSS SECTION

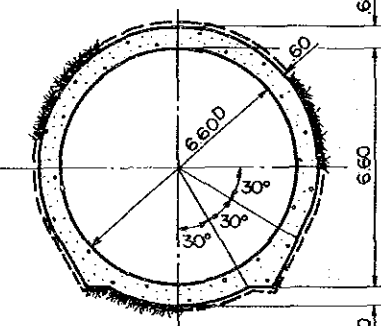
PENSTOCK TUNNEL



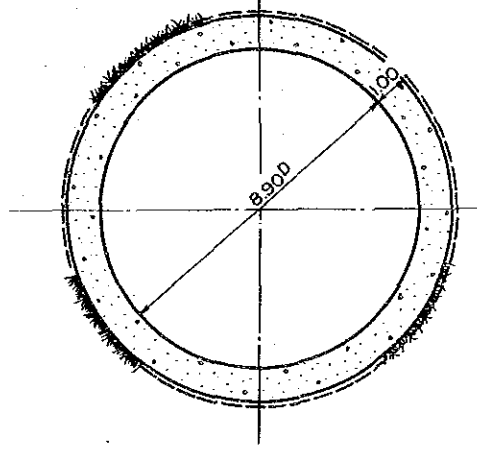
TAILRACE TUNNEL (4.90D)



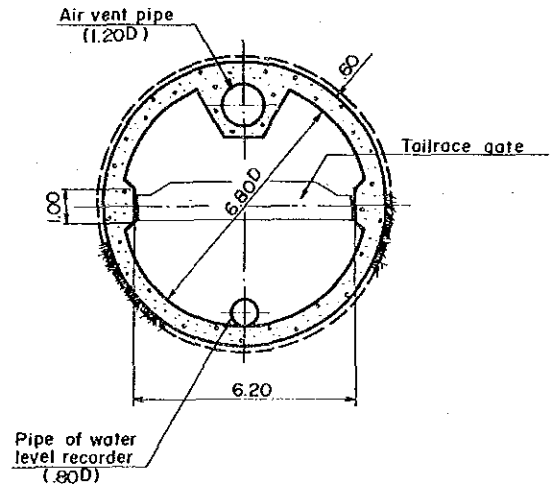
TAILRACE TUNNEL (6.60D)



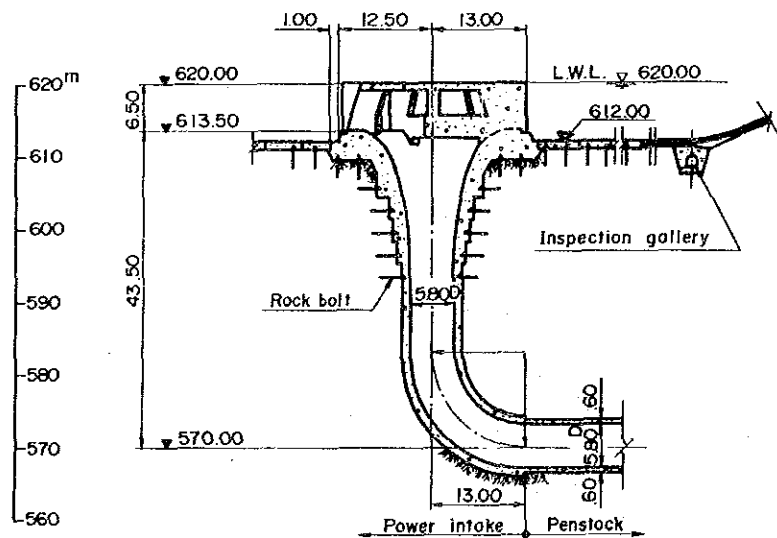
SHAFT OF TAILRACE SURGE CHAMBER



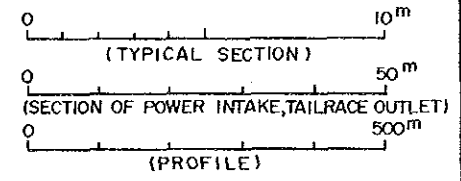
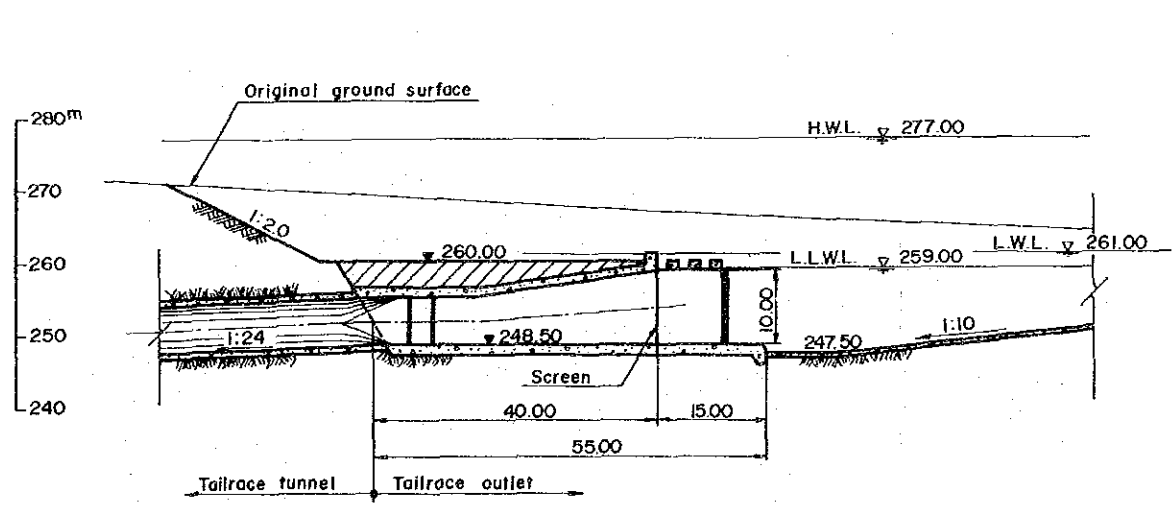
SHAFT OF TAILRACE GATE



SECTION OF POWER INTAKE



SECTION OF TAILRACE OUTLET

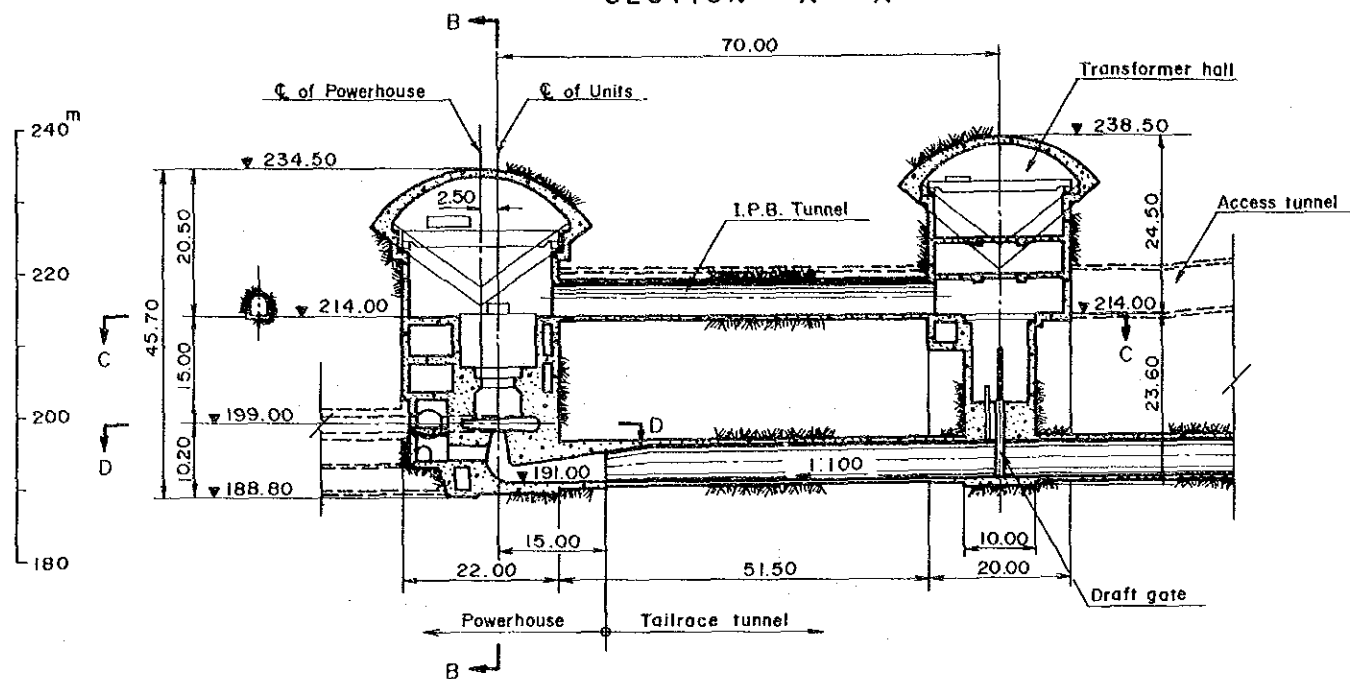


LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

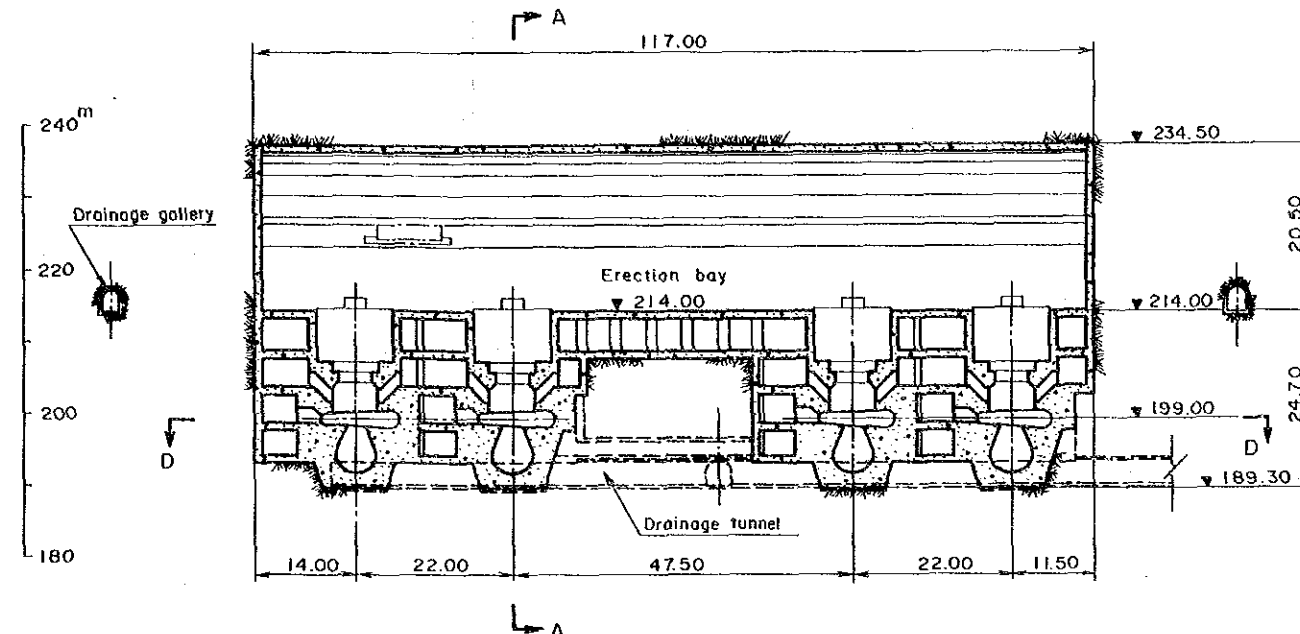
WATER WAY
PROFILE AND SECTION

DWG. 12-2

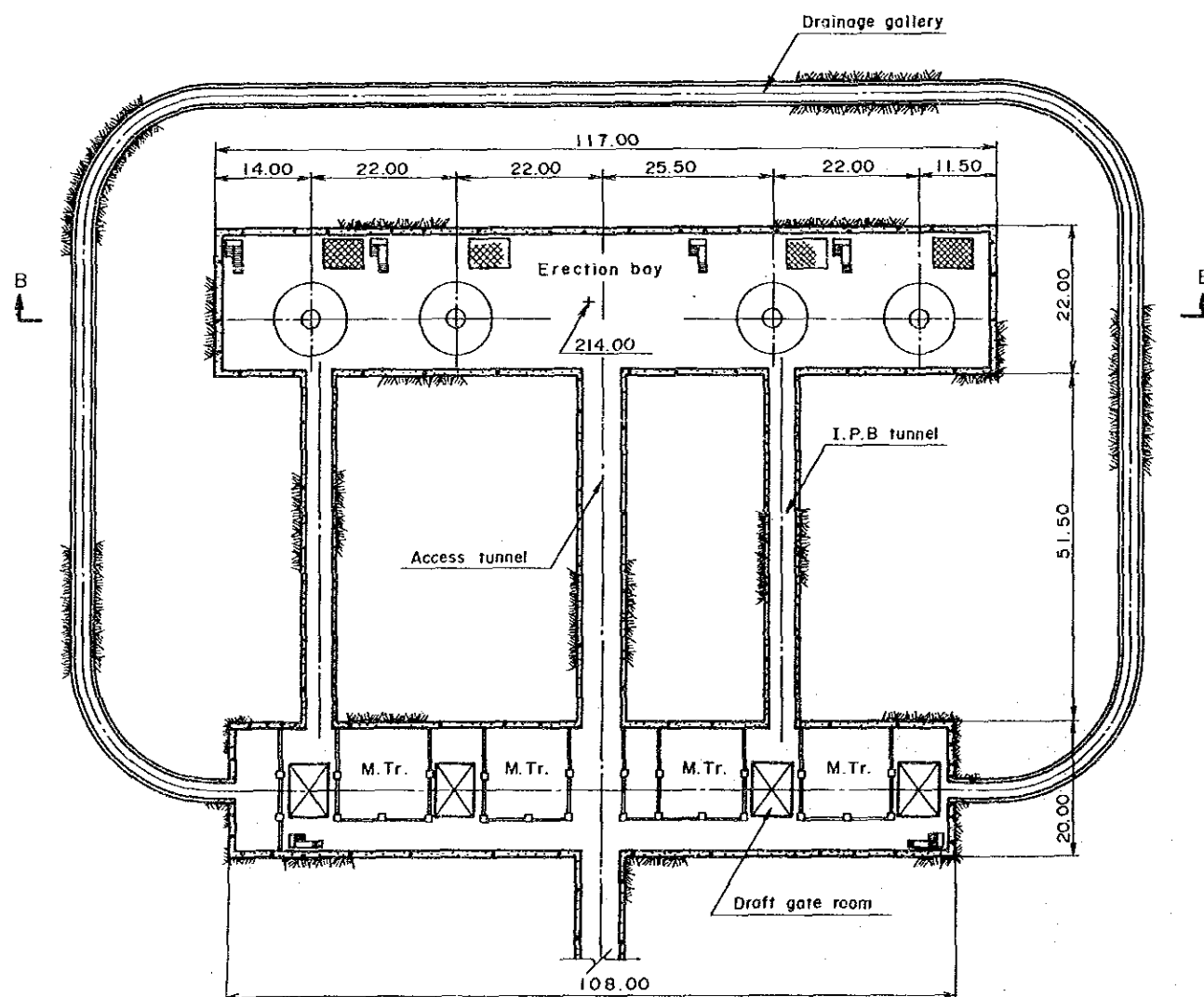
SECTION A - A



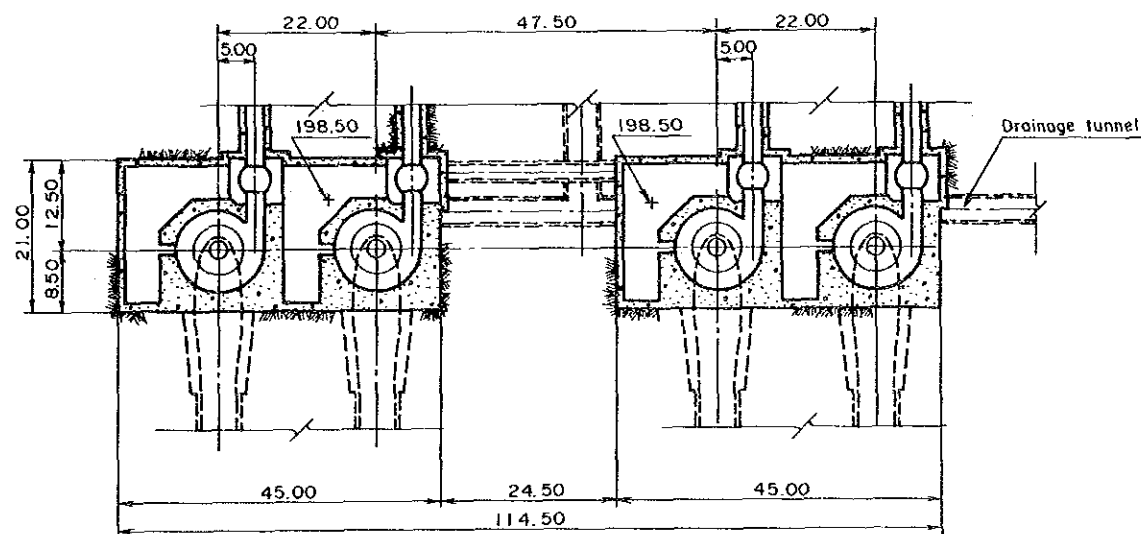
SECTION B - B



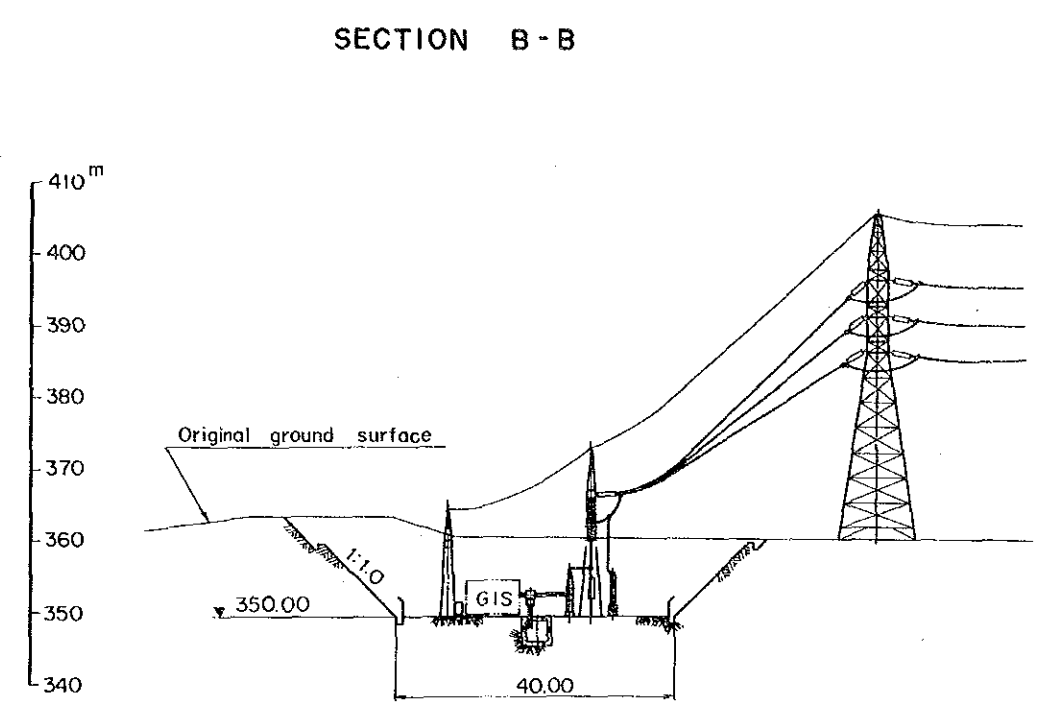
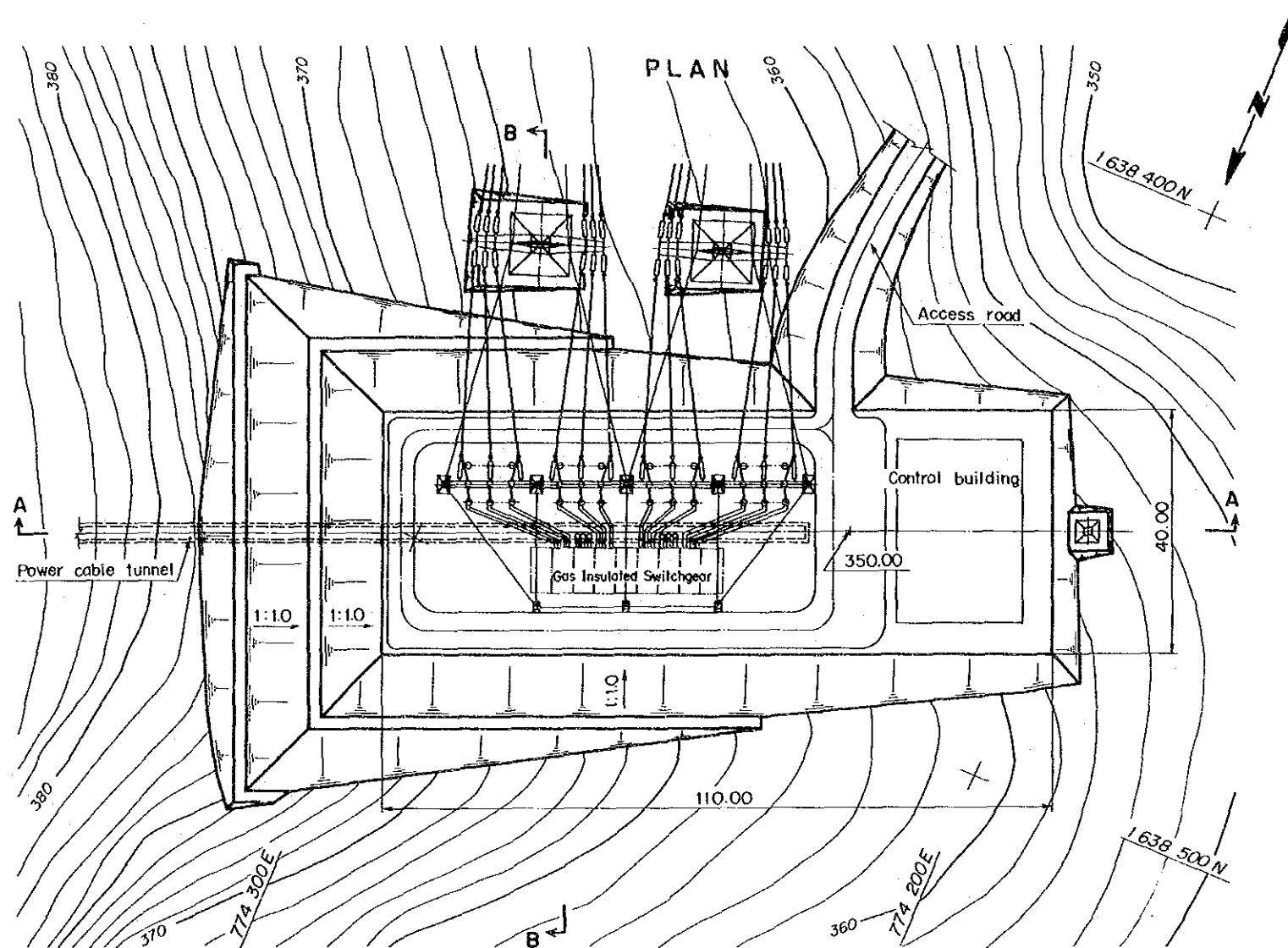
SECTION C - C



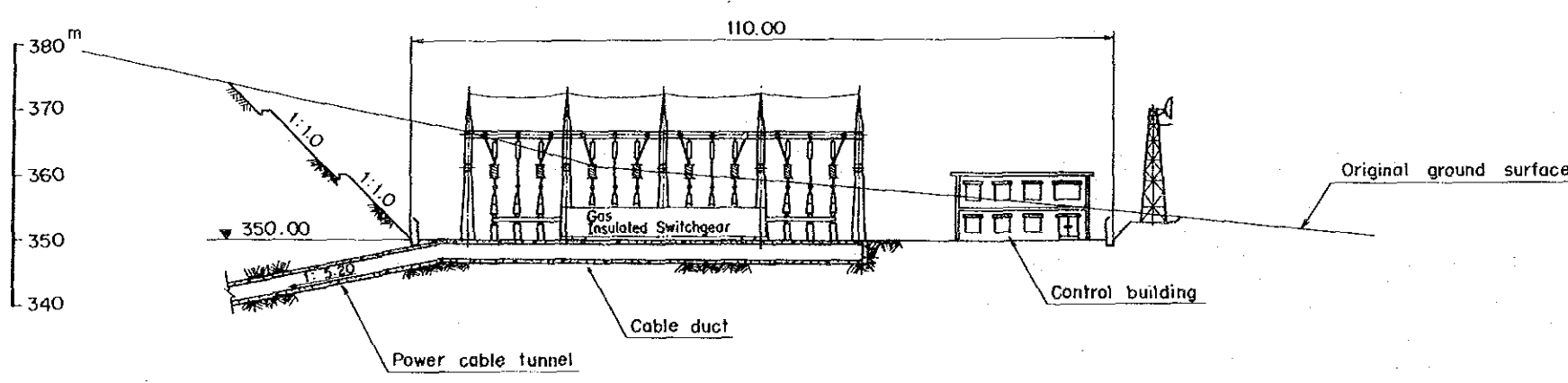
SECTION D - D



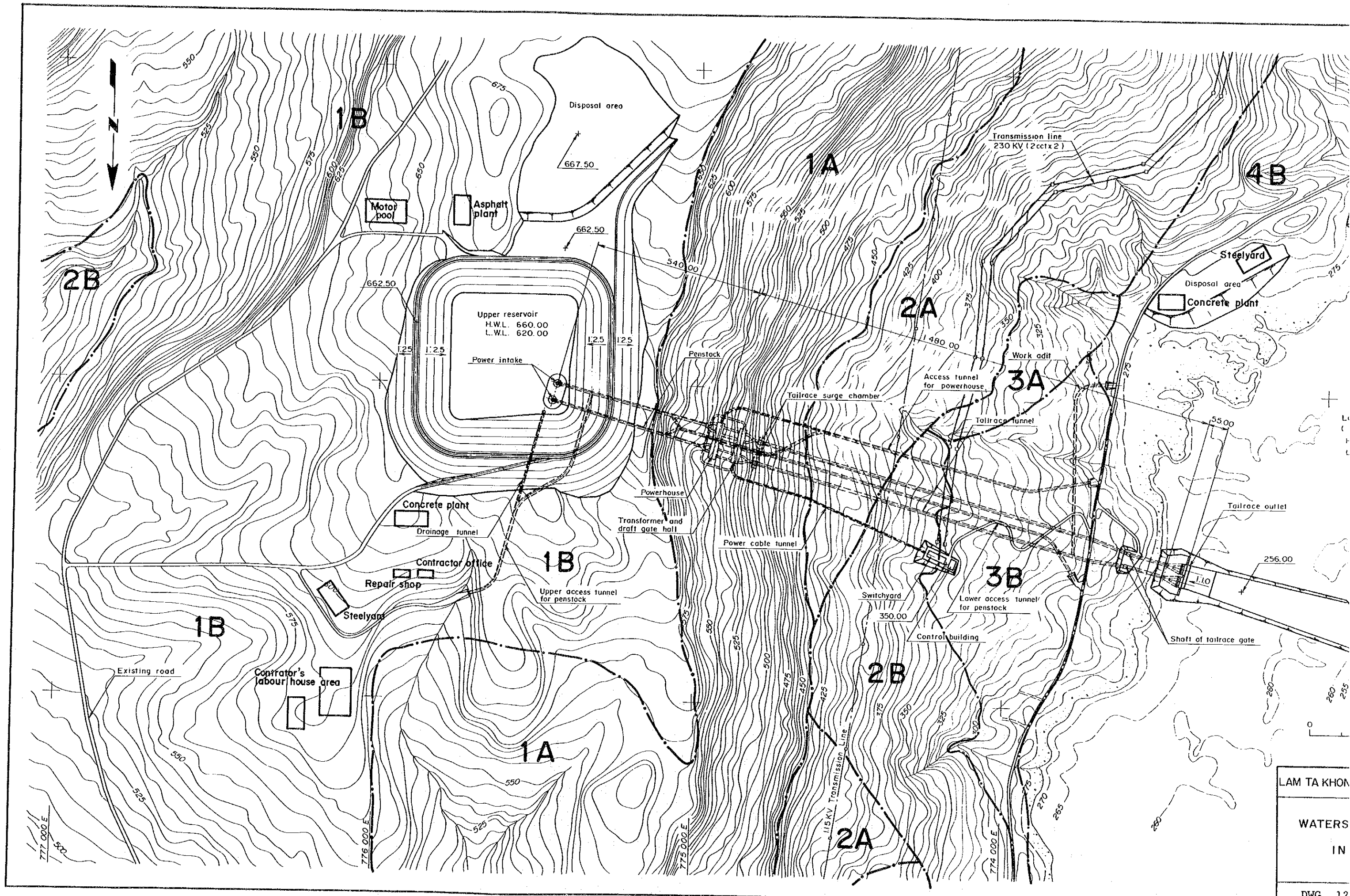
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
POWERHOUSE SECTION	
DWG. 12-3	



SECTION A-A



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
SWITCHYARD PLAN AND SECTION	
DWG. 12-4	



LAM TA KHON
 WATERS
 IN
 DWG. 12

Disposal area

Transmission line
 230 KV (2 cct x 2)

Upper reservoir
 H.W.L. 660.00
 L.W.L. 620.00

Power intake

Penstock

Tailrace surge chamber

Work adit

Access tunnel
 for powerhouse

Tailrace tunnel

Powerhouse

Transformer and
 draft gate hall

Power cable tunnel

Tailrace outlet

Concrete plant

Drainage tunnel

Contractor office

Repair shop

Steelyard

1B

Upper access tunnel
 for penstock

Switchyard
 350.00

3B

Lower access tunnel
 for penstock

Control building

Shaft of tailrace gate

Existing road

Contractor's
 labour house area

1A

2B

2A

4B

Steelyard

Disposal area

Concrete plant

777 000 E
 50

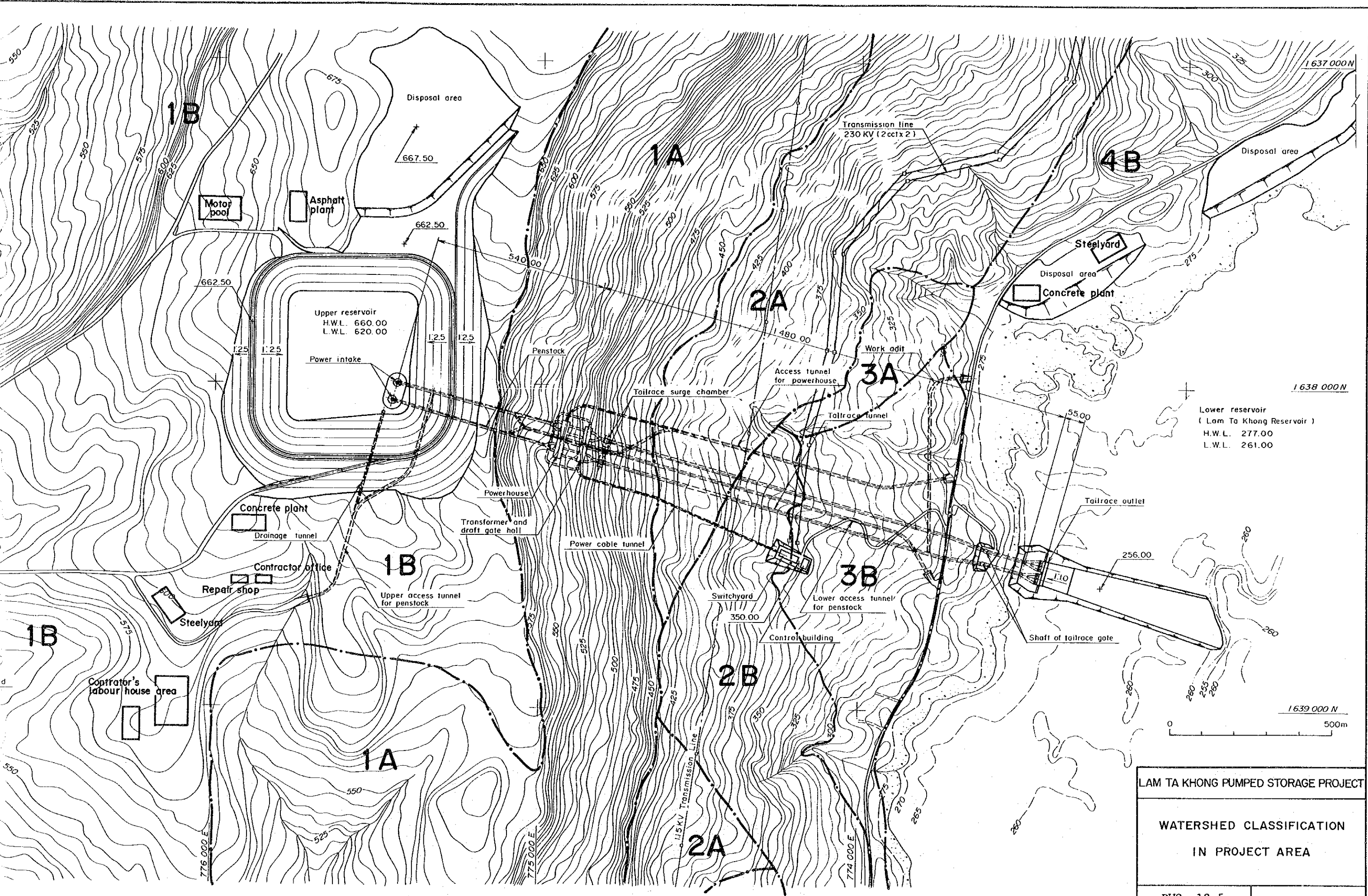
776 000 E

775 000 E

774 000 E

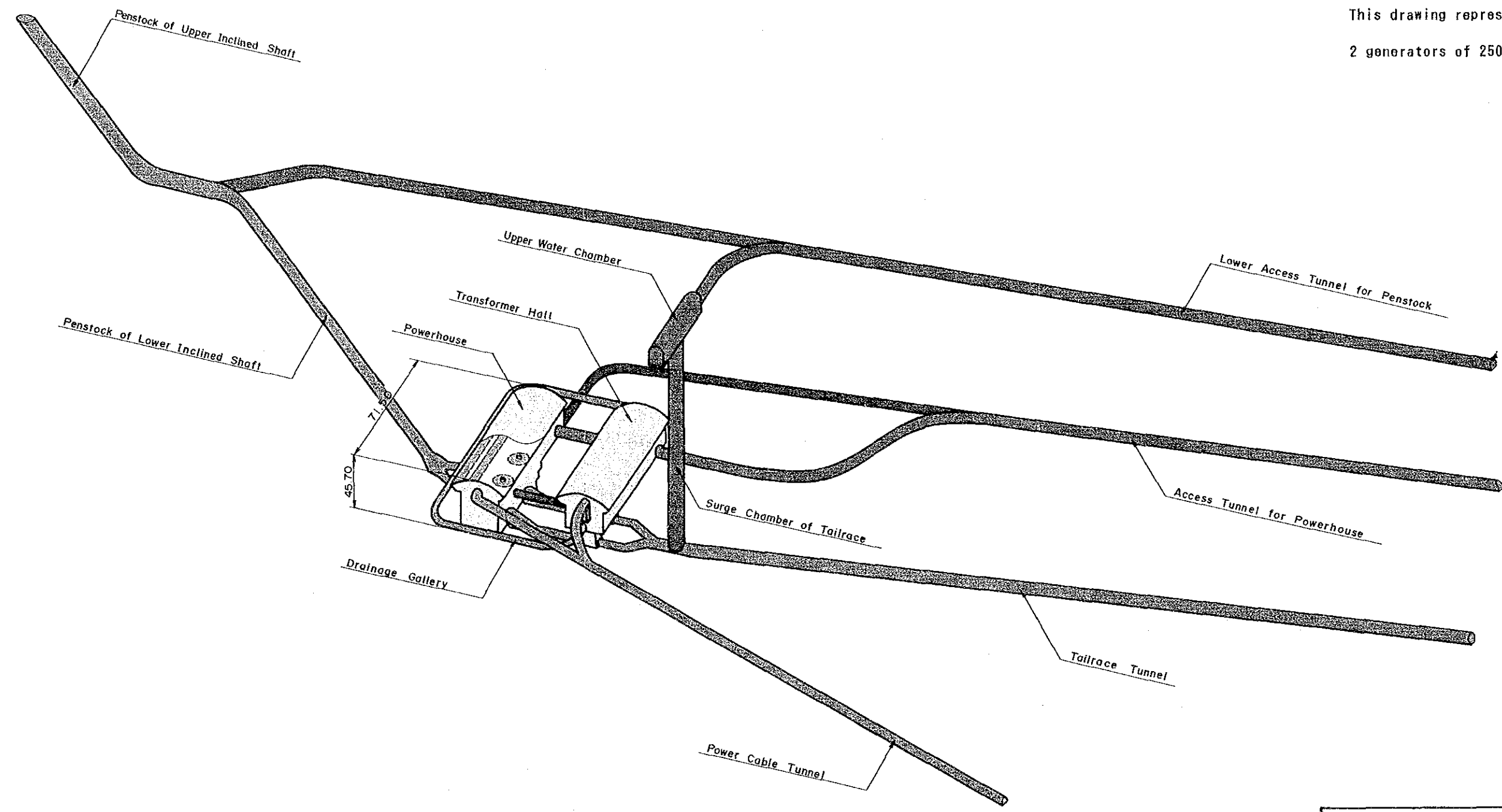
115KV Transmission Line





LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
WATERSHED CLASSIFICATION IN PROJECT AREA	
DWG. 12-5	

Note.
This drawing represents
2 generators of 250 MW.



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
POWERHOUSE BIRD'S-EYE VIEW	
DWG. 12-6	

12.4 電気設備

12.4.1 発電所

発電所はLam Ta Khong貯水池の右岸側地下の、貯水池満水位より約50m低い位置に設けられる。

地下発電所へのアクセスは、貯水池右岸に沿って走る国道2号線から分岐した道路および長さ約1,200mのトンネルによる。

地下発電所は主機室と変圧器室の2室で構成される。主機室と変圧器室の寸法は以下の通りである。

主機室 : 長さ ; 70m 高さ ; 45m 幅 ; 20m
(DWG. 12-7, 12-8参照)

変圧器室 : 長さ ; 58m 高さ ; 23m 幅 ; 18m
(DWG. 12-9, 12-10参照)

(1) 主機仕様

主機の概略仕様は以下の通りである。

— ポンプ水車

形式 ; 立軸フランシス形可逆ポンプ水車

台数 ; 2台

• 水車運転

	(最高)	(基準)	(最低)
有効落差 (m)	397	357	325
流量 (m ³ /s)	73.1	82.5	78.7
出力 (MW)	255	255	220
回転速度 (r. p. m)	375	375	375
比速度 (m-kW)		122	

• ポンプ運転

	(最高)	(最低)
全揚程 (m)	409.2	346.7
揚水量 (m ³ /s)	52.7	71.4
ポンプ入力 (MW)		277
回転速度 (r. p. m)	375	375
比速度 (m-kW)		39.4

— 発電電動機

形 式	三相交流同期発電電動機
台 数	4 台
発電機出力 (MVA)	278
電動機出力 (MW)	277
電 圧 (kV)	16.5
周 波 数 (Hz)	50
回転速度 (r. p. m)	375
極 数	16
力 率	発電機 0.90 (遅れ)、電動機 0.98 (進み)

— 変 圧 器

形 式	屋内用特別3相送油水冷式
台 数	4 台
容 量 (MVA)	290
電 圧 (kV)	230/16.5
負荷時タップ電圧切替器付	

— 主回路構成

スケルトン (Fig. 12-1) に示されるように本計画の主回路は、以下の機器により構成される。

- (a) 水車発電機：仕様は上記参照
- (b) I P B (isolated phase bus) 16.5kV, 11,000A

発電電動機と変圧器を接続する相分離母線で主機室と変圧器室を結ぶ母線トンネル内に据付けられる。

(c) G M C S (generator-motor main circuit system) 16,5kV, 11,000A

低圧同期遮断器(3相ガスCB)と密閉型相反転断路器で構成される。

(d) 変圧器：仕様は上記参照

(e) 電力ケーブル 230kV, XLPEケーブル

変圧器高圧側と屋外GIS開閉所間の接続のため4回路の単芯3本のXLPEケーブルが全長約700mのケーブルトンネルを通して敷設される。

(f) 屋外開閉設備 230kV, GIS (SF₆ Gas Insulated Switchgear)

9ベイ(bay)構成のGIS(ガス絶縁開閉装置)が設置される。母線構成はBus-tie付二重母線で、送電線4回線、(e)記載の変圧器向電力ケーブル4回線が接続される。

(2) 地下発電所機器配置

(a) 主機室 (Powerhouse)

主機室には、ポンプ水車、発電電動機、補機類およびこれらの制御装置類が設置される。

ポンプ水車は、ポンプ運転時のキャビテーションによる障害を防ぐため、下池(Lam Ta Khong貯水池)の低水位に対し約60m低い位置に据えつけられる。

主機室は5床で構成され、天井部には組立用走行クレーン2台が設置される。

— 第1床 (組立フロア)

主機室の最上階であり、中央部に組立室(Erection Bay)が設けられ、4台の主機は組立室の両側に2台ずつ配置される。搬入路トンネル(Access tunnel)が接続される。

主機および補機類は天井クレーンを用いて組立室で組立てられ、所定の位置に据付けられる。また、この床には、各ユニット毎にユニット制御盤、保護リレー盤が配置される。

— 第2床 (発電電動機フロア)

この階には、発電電動機、主回路用PT・CTキュービクル、NGT (Neutral Grounding Transformer)、励磁装置、電気ブレーキ用短絡断路器などが設置される。

発電電動機風道外周はコンクリート壁で構成され、内部への出入口はこの階に設けられる。

この階の組立室の下には所内電源キュービクルおよび圧縮空気装置が設置される。

— 第3床 (ポンプ水車フロア)

この階には、ポンプ水車制御盤、圧油タンク、圧縮空気タンク、スラスト軸受押上装置、軸受油冷却器、補機用のモータコントロールセンターが配置される。また、ポンプ水車ピットへの出入口が設けられる。

この階の中央部には、空気圧縮機が設置される。

— 第4床 (補機フロア)

圧油装置、冷却水用ストレーナ等の補機類が設置される。冷却水、圧油などの配管の多くがこの階に設けられる。

また、ケーシングマンホールへのアクセスは、この階から行う。

(e) 第5床 (ポンプフロア)

地下発電所内の最も低いフロアで、冷却水給水ポンプ、所内排水ポンプ、水圧鉄管充水ポンプ等が設置される。また、吸い出し管マンホールへの通路がこのフロアに設けられる。

(b) 変圧器室の構成

変圧器室は主機室の放水路側に主機室と平行に設けられ、3床で構成される。変圧器室は中央部で主機室への搬入路トンネルと交差し、一方の端には屋外開閉所へのケーブルトンネルが接続される、主機室と変圧器室の間に発電電動機回路母線を敷設するためのIPBトンネルが設けられる。

— 変圧器フロア

4台の負荷時タップ切替器付の特別3相変圧器が設置される。

このフロアにはサイリスタ起動装置用のACおよびDCリアクタ、電源変圧器および2台の所内用変圧器が設置される。また上記の油入機器のための冷却水および消火用水供給装置が設けられる。

このフロアの下部には変圧器事故時の油処理ピットが設置される。またドラフトゲート据付ピットとゲート操作盤も設置される。

— サイリスタ起動装置フロア

このフロアにはサイリスタ起動装置の整流器、インバータおよび制御装置が設置される。またこのフロアはケーブルの布設および処理にも使用される。

— GMCS・起動装置フロア

発電機主回路遮断器、相反転断路器、その他のキュービクル（励磁用乾式変圧器、サイリスタ起動装置用開閉器類、所内分岐断路器など）が設置される。

12.4.2 屋外設備

(1) 開閉所

開閉所の位置選定は上池側案と放水口側案の2案が有り、最終的には放水口側案の採用となった。その理由としては主変圧器から開閉所までのケーブル工事について技術的及び経済的に放水口側案が極めて有利であり、特に土木工事費から考えた場合、放水口側案はパイロットトンネルを電力ケーブルトンネルに転用出来るコストメリットが大きい。

開閉所のタイプとしては従来形の露出機器開閉所（コンベンショナル）と最新技術によるガス絶縁開閉所（GIS）の2タイプが考えられるが、信頼性、保守性および経済性を配慮し、また特に本計画地点が厳しい環境保全地域に近接している事から環境対応を考慮し、必要な開閉所面積が小さいGISを採用することとした。

開閉所敷地 (estimated) の比較

従来形 (230kV, 7 bay 複母線) ; 165m × 70m
(DWG. 12-11参照)

G I S 形 (同 上) ; 110m × 40m
(DWG. 12-4参照)

(2) 制御所建物

最新の情報伝送技術 (例えば光ファイバー信号伝送) は制御所と地下発電所の距離的な制約を無くしたので、制御設備の設置位置は作業・勤務員の労働環境を重視して決定出来る。

本計画の場合、屋外開閉所に近接して建物を設け、この中に制御設備を設置することが、運転員の環境および経済性の面から好ましい。

制御所建物には、制御装置を設置するほか、日常巡視や突発事故への初期対応に必要な最小限の保守員を収容するものとする。

制御所建物の概要は次の通り；

建物寸法 W17m × L27m × H10m (2階建)

(3) 制御所の勤務者

本計画地点は厳しい環境保全の規制地域に近接しているので、屋外建造物の設計は可能な限り目立たない配慮をする事が望ましい。本計画では制御室、補機室、電源室等制御所機能を具備した最小床面積を概略900m² (450m² × 2床) と想定し、(DWG. 12-12に想定スペースを示す)、修理工場、倉庫等は別の場所に設置する設計で考える。建物内の事務所スペースは80m²と算出した (6m²/人)、算出の基礎定員は7職種13名を想定し内訳を以下に示す。

職 種 / 人 員 表

	職 種	人 員	勤 務 形 態
1	所長（電気技師）	1	日 勤
2	電 気 技 師	3	日 勤
3	機 械 技 師	2	日 勤
4	通 信 技 師	2	日 勤
5	土 木 技 師	2	日 勤
6	事 務 職	1	日 勤
7	雑 役	1	日 勤
8	守 衛	1 + (1)	日勤 + (夜勤)
	計	13 + (1)	

12.4.3 運 転 制 御

(1) 運 転 方 式

Lam Ta Khong揚水発電所は常時は運転制御所からの遠方制御により運転する。

E G A Tからの最近の情報によると運転制御所は、本社給電センターである。しかし、発電所は遠方制御装置を（故障，試験，保守作業などにより）使用できない場合でも、制御所建物内の制御室から一人制御方式により運転できるものとする。

(2) 制 御 装 置 の 概 要

本発電所の制御装置としては、主として中央のコンピュータシステムと分散配置されたプラントコントローラによって構成される階層形SCADAシステムが適用される。

マンマシンインターフェース装置（CRT，タイプライター，制御卓，監視盤等）および遠方監視制御装置をサポートする二重系の主要コンピュータシステムが上位階層を構成し、各ユニット，所内機器，GIS開閉所等に分散配置されたマイクロコンピュータ内蔵のプラントコントローラが下位階層を成す。コンピュータシステムとプラントコントローラは光ファイバーケーブルを用いたループ状のデータウェイで接続され、これによりコンピュータとプラントコントローラ、

あるいはプラントコントローラ相互の間で信頼度の高いデータを高速で伝送することができる。

12.4.4 詳細検討

(1) 開閉所位置

別添の図面 (Fig. 12-2, Fig. 12-3, Fig. 12-4) に示す 3 案について検討したが、土木工事及び電気工事を施工する上での支障は無い。

(1) 地上GISタイプ本案 (Fig. 12-2参照)

土木、電気技術的な検討では、この設計が最も自然であり、理由として以下考えられる；

- ・ 建設工事に使用する用地を開閉所敷地として転用出来る。
- ・ 送電線 (2 回線 2 ルート) の引出しが容易である。
- ・ 機器の据付・保守が容易である。

環境規制区域の近接プロジェクトのため、国道側からの露出景観に注意する必要があるが、国道との標高差が50m以上あり、植樹等を行い景観保護に充分配慮するので露出景観の心配はない、また、大気汚染、漏油、騒音等への環境対策は、ガス絶縁開閉装置 (GIS) を採用する事によって全く問題とならない。

(2) 地下GISタイプ代案 (Fig. 12-3参照)

地上GISタイプ本案のGIS部分を地下収納した設計であるが、送電線との取合設備 (ケーブルヘッド) の用地が電気絶縁間隔の制約で余り縮小出来ない。したがって土木工事の難しさとGIS据付・保守の複雑な事から考えると地上案に劣る。環境対策 (特に景観保護) は若干の有利性を認める。

(3) 国道沿い地上GISタイプ代案 (Fig. 12-4参照)

地上GISタイプ本案のロケーションを国道沿いに移した設計で、メリットとしてはアクセスの良さと環境規制地域からの離隔が可能になる事である。しかしながら、送電線引出しが大変に難しく、送電線距離が増加するとともに地下発電所からGISに接続されるXLPEケーブルの巨長も増大する。

以上、3案の技術検討では本案の有利性を述べているが、経済的な評価でも本案が極めて有利である、3案の工事費比較を以下に示す。

3案の工事費比較；

案 工事名	地上GISタイプ 本 案	地下GISタイプ 代 案	国道沿いGISタイプ 代 案
土木工事費 (M $\text{\textcircled{B}}$)	15.2	53.1	25.1
電気工事費 (M $\text{\textcircled{B}}$)	221.0	254.2	262.2
合 計	236.2 (100%)	307.3 (130.1%)	287.3 (121.6%)

(2) 揚水起動装置検討

本計画は純揚水発電所で、かつ大容量機（250MW）を採用している。想定されるGD²はおよそ6,100ton-m²と推定され、起動時には約20,000kWの入力が必要と考えられる。

したがって揚水起動方式は；

- ・ポニーモータ起動方式
- ・サイリスタ起動方式

の2方式から選択される事が妥当と思うが、サイリスタ起動方式のバックアップとして同期起動方式を併用する事も考えられる。

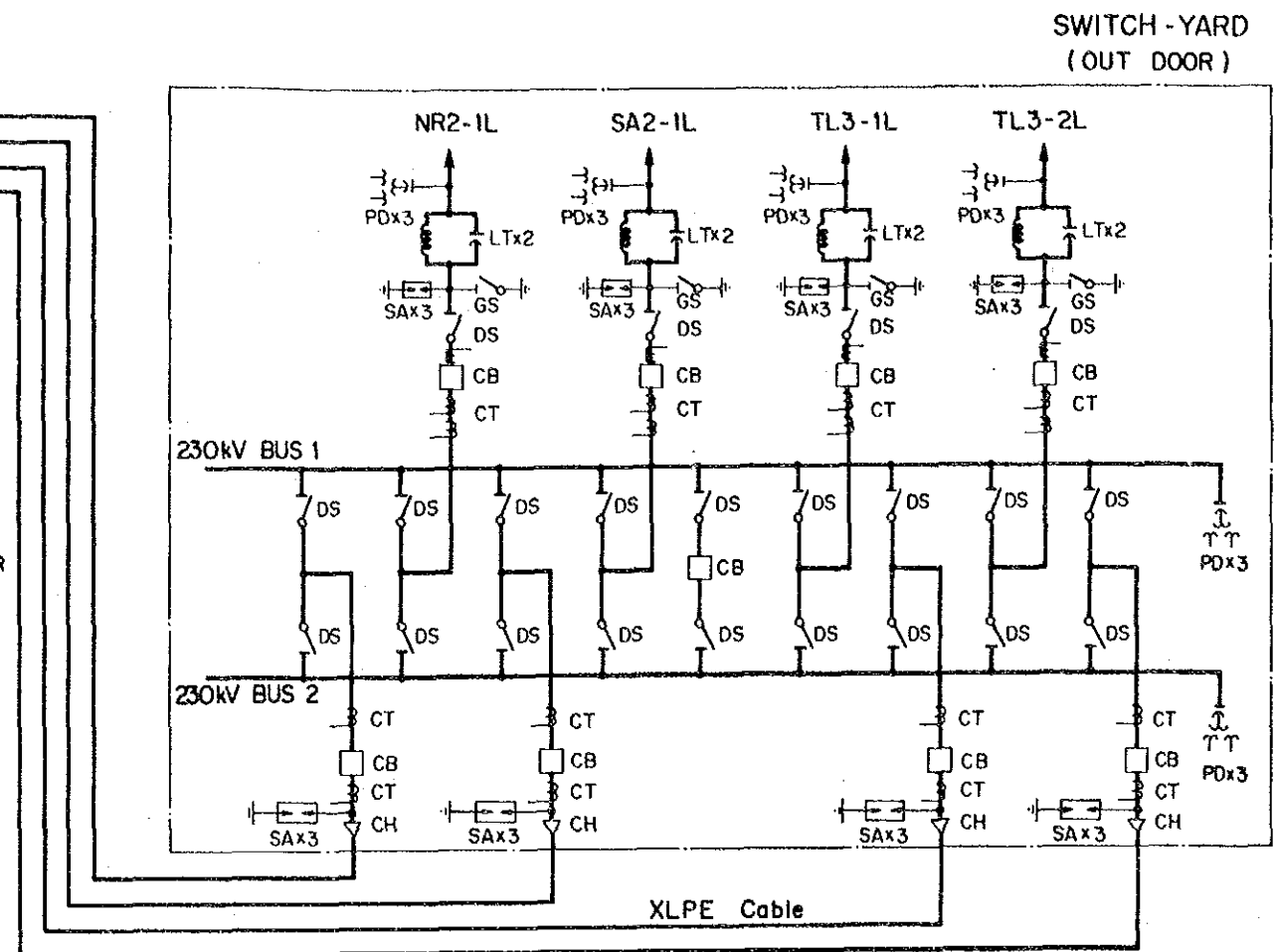
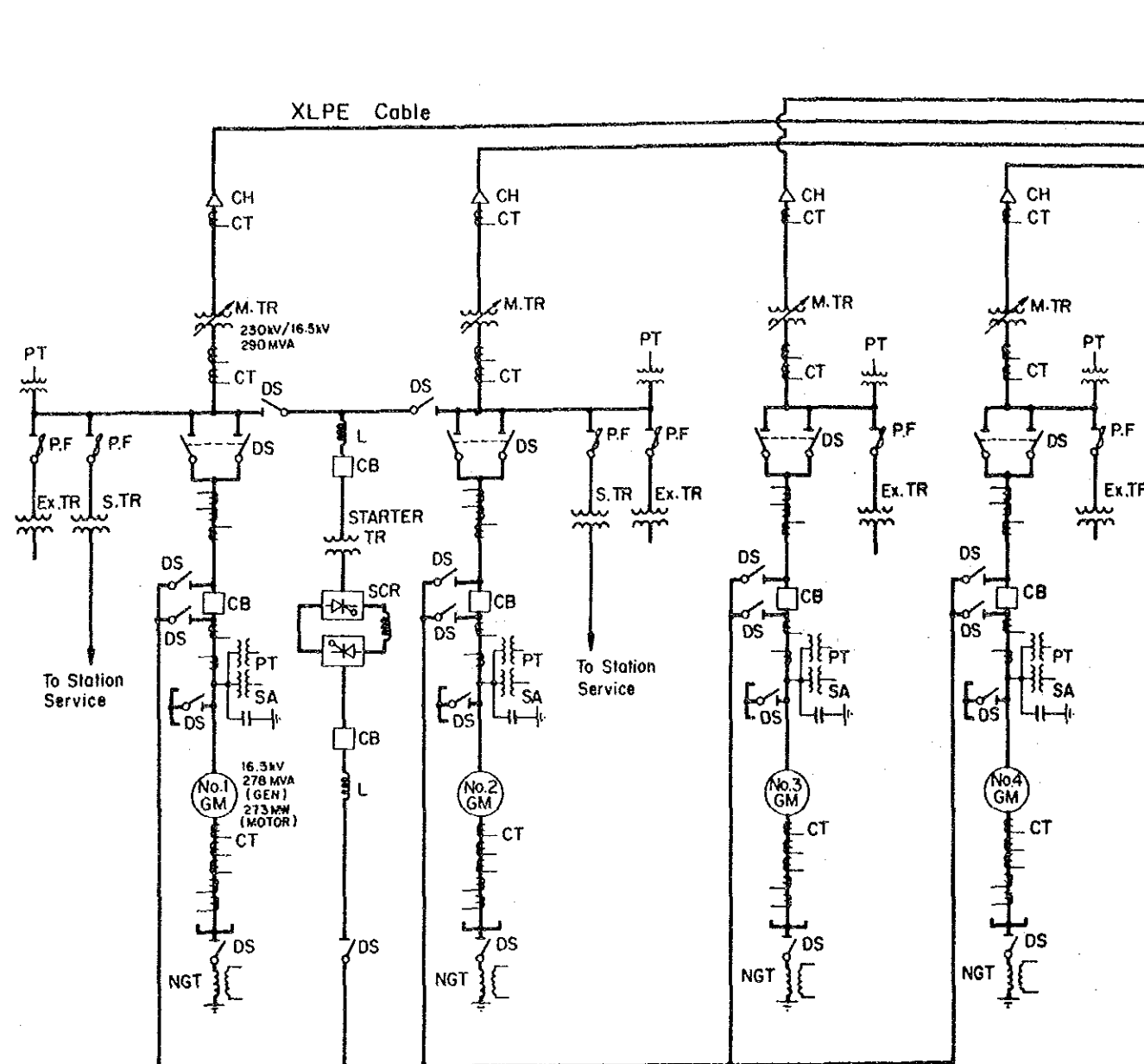
以下にポニーモータ起動方式とサイリスタ起動方式（Static frequency converter）の特徴を示す。

(a) ポニーモータ起動方式

- 発電電動機の頂部に直結してポニーモータが付属するために、回転部全体の軸長が長くなり、軸振動抑制上不利となる。
- 運転時の損失（風損）が増大する。
- 回転機であるポニーモータ以外に、回転速度制御用の液体抵抗器とスリップリング、ブラシ等が付属し保守上好ましくない。また信頼度上劣る。
- サイリスタ始動方式に比較して低価格である。

(b) サイリスタ起動方式

- 設置スペースが大きい、全て静止機器で構成されるので信頼度が高い。
また保守性にも優れる。
- 高価格である。ただしポニーモータ方式のように各ユニットに設ける必要はない。(1組の起動装置を複数のユニットで共用することが可能である)



DE GEND

- CB : Circuit breaker
- DS : Disconnecting switch
- GS : Grounding switch
- PT : Potential transformer
- PD : Coupling capacitor potential device
- CT : Current transformer
- M.TR : Main transformer
- S.TR : Station service transformer
- E.TR : Excitation transformer
- NGT : Neutral grounding transformer
- SA : Surge arrester
- LT : Line trap
- L : Reactor
- SCR : SCR starter
- P.F : Power fuse
- CH : Cable head

LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

SINGLE LINE DIAGRAM

Fig. 12-1

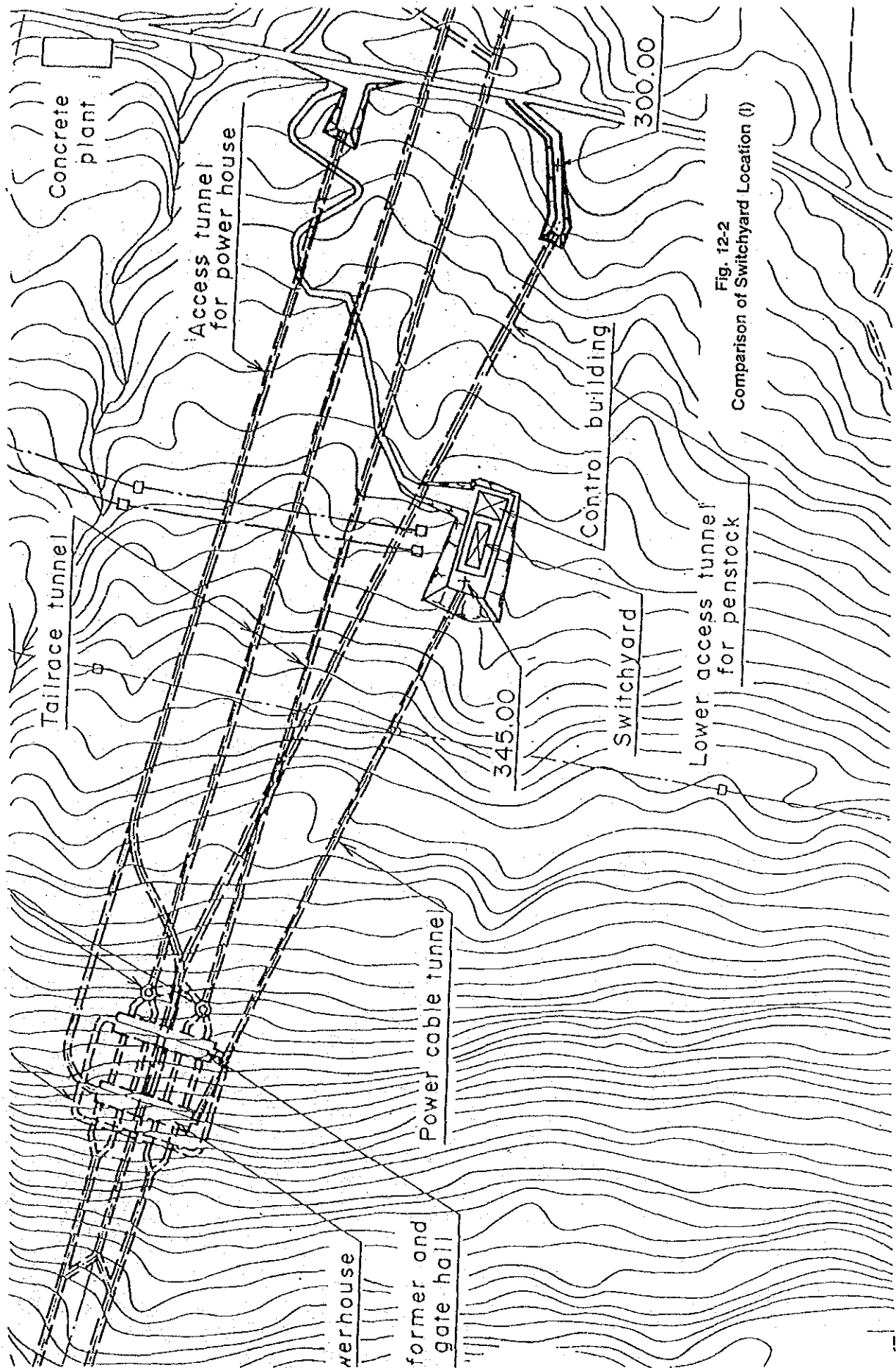


Fig. 12-2
Comparison of Switchyard Location (I)

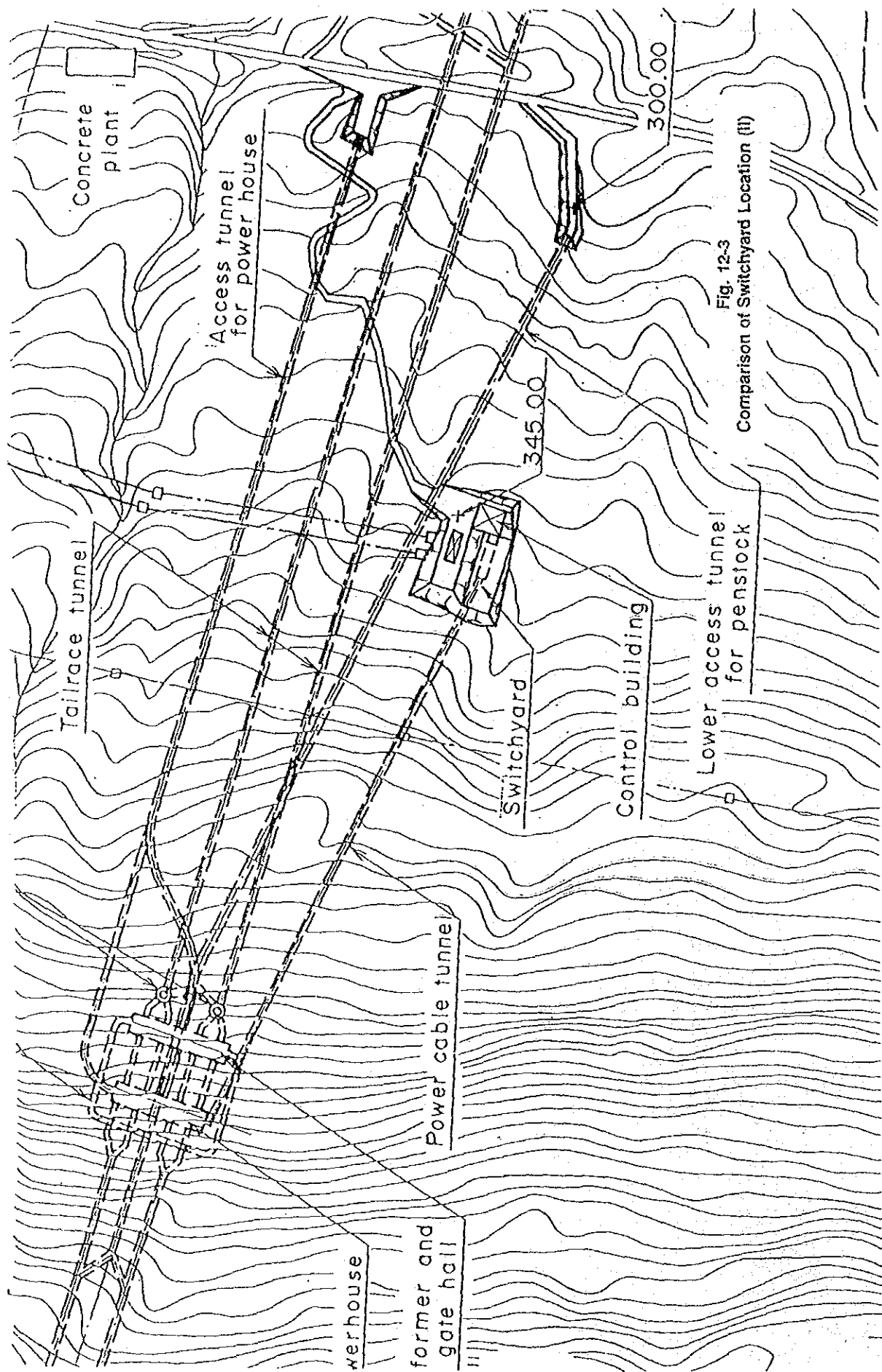


Fig. 12-3
Comparison of Switchyard Location (II)

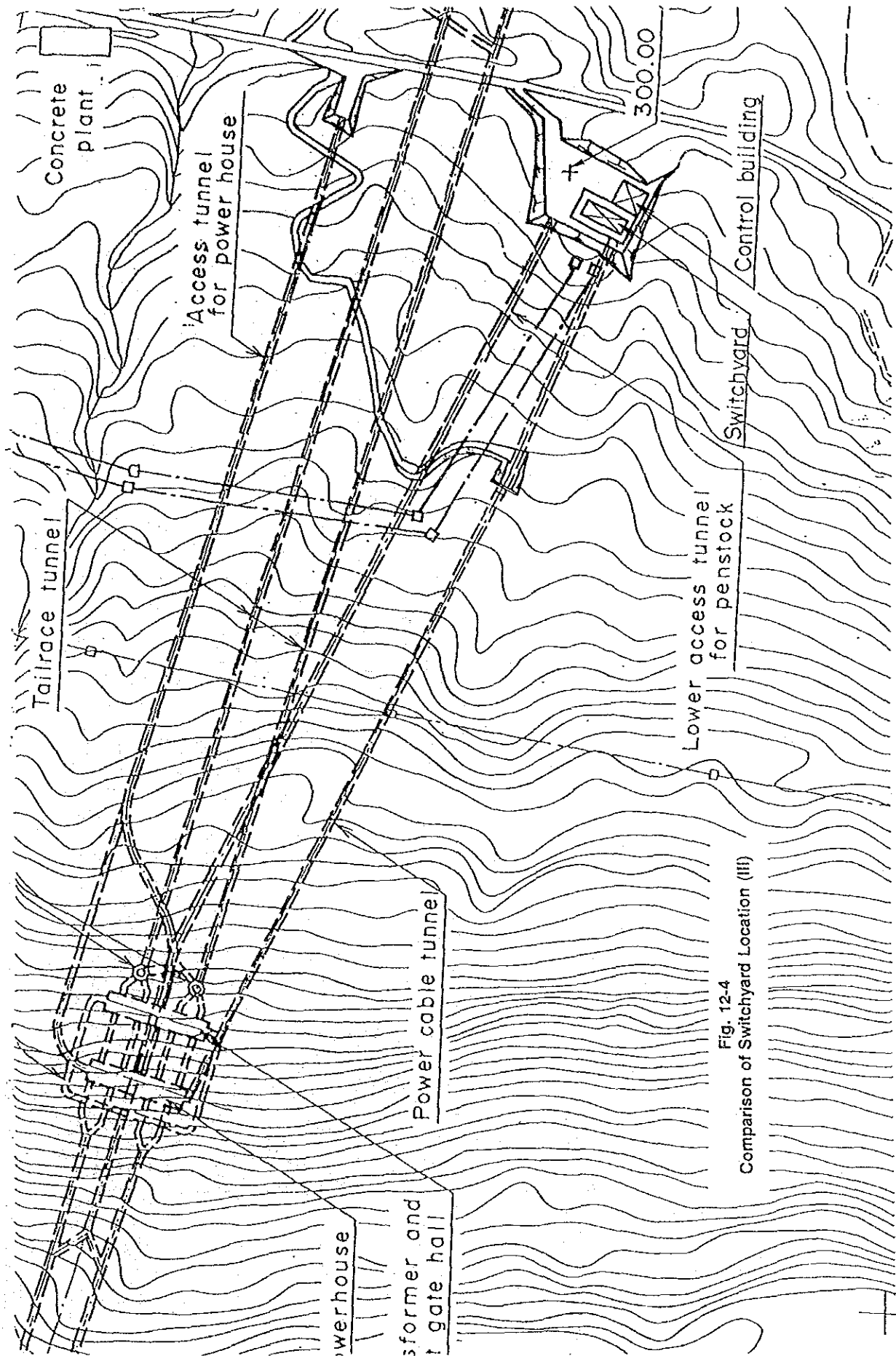
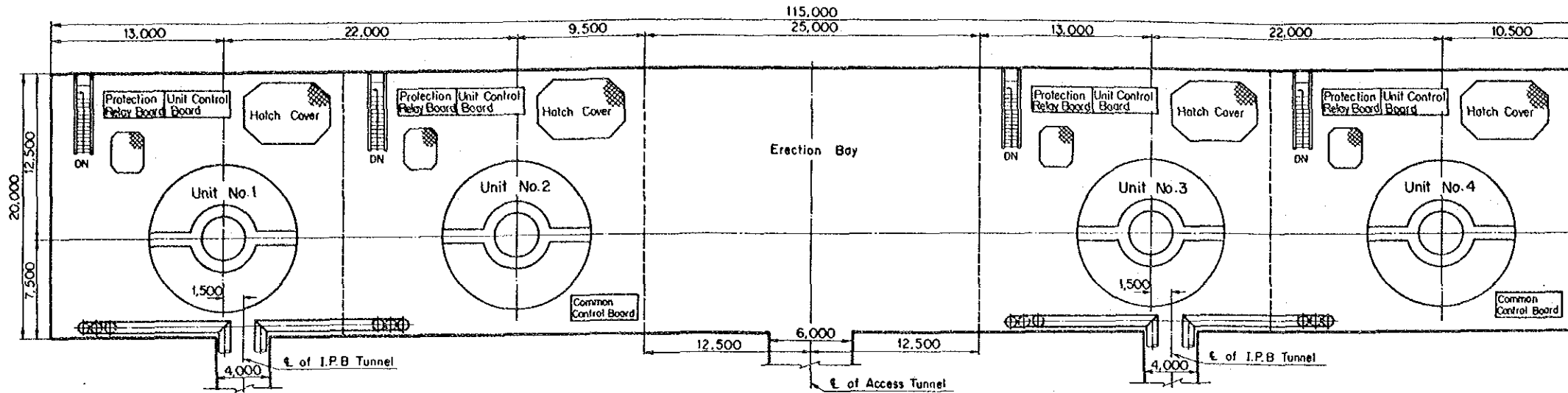
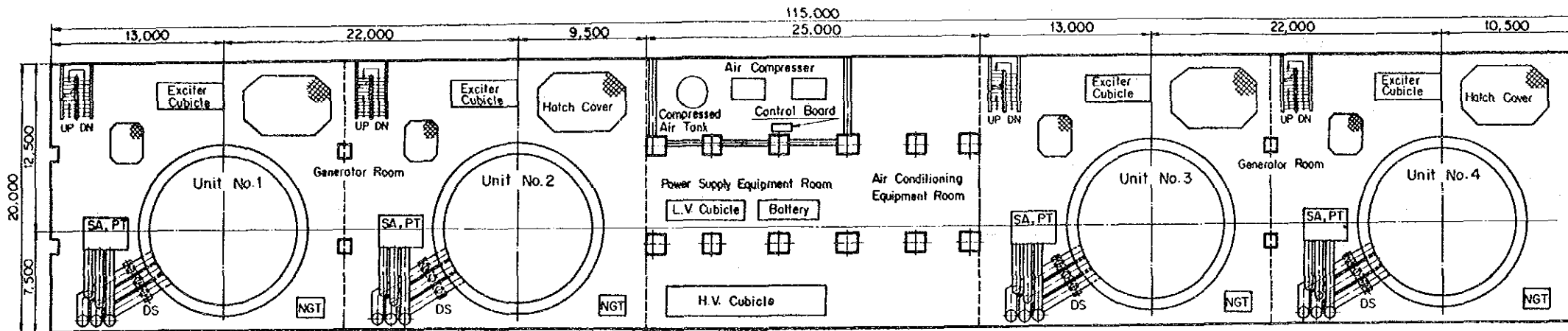


Fig. 12-4
Comparison of Switchyard Location (III)

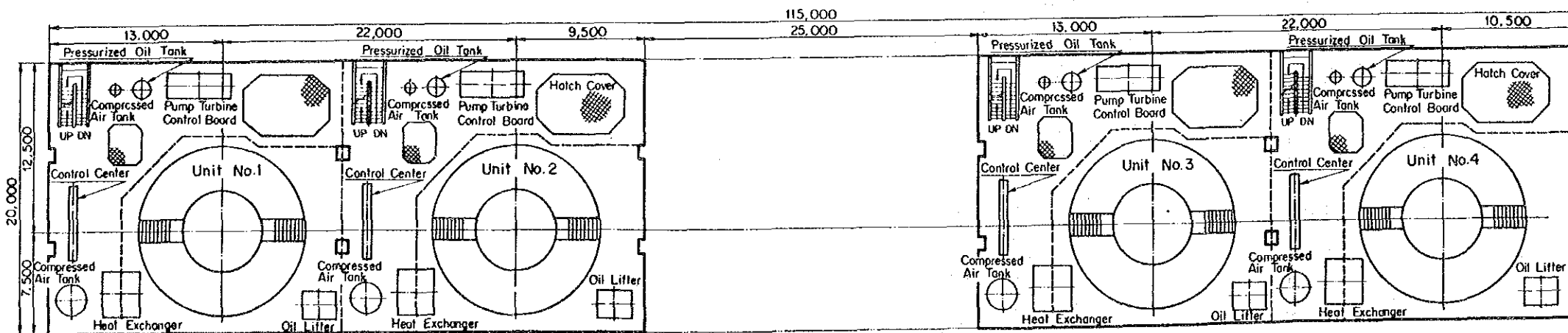
EL. 214.00



EL. 208.50



EL. 203.50



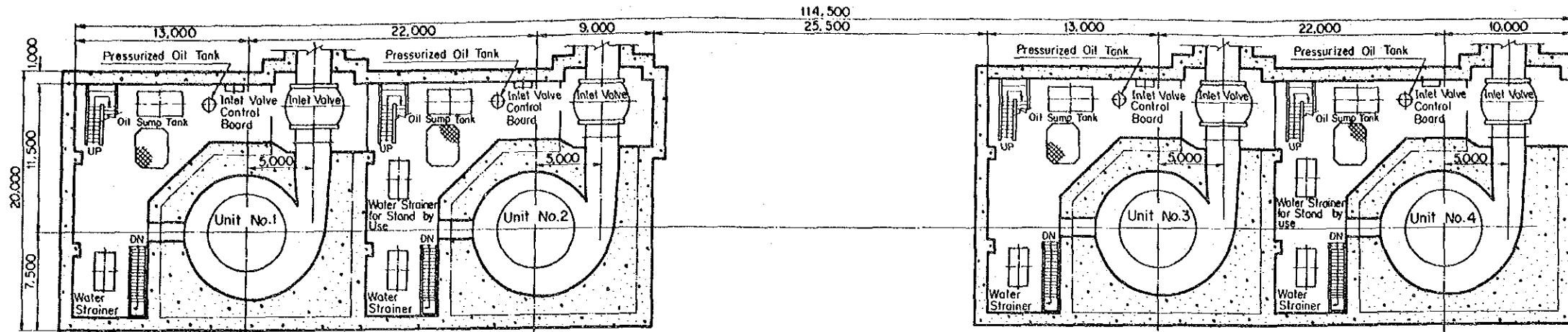
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

POWER HOUSE
ARRANGEMENT OF
ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT

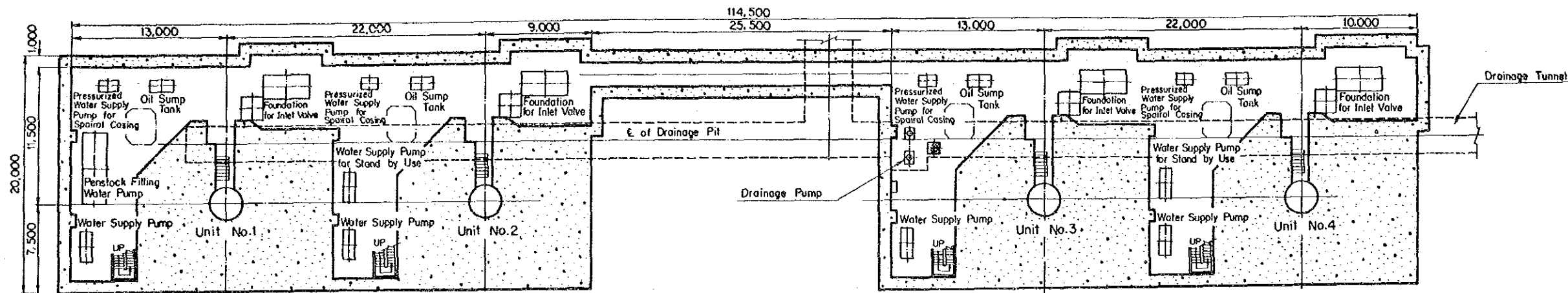
(1 / 2)

DWG. 12-7

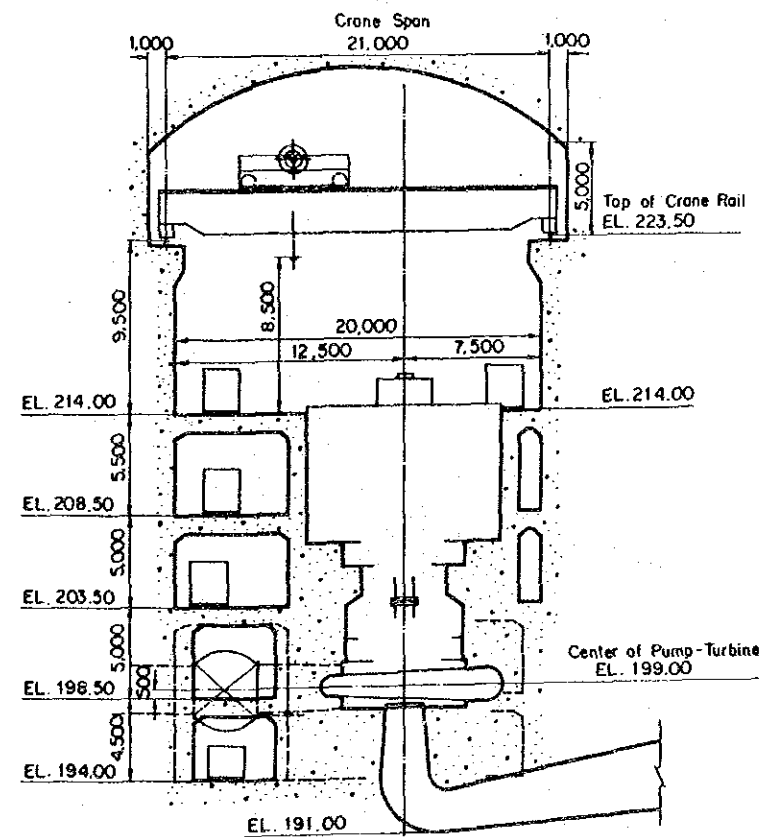
EL. 198.50



EL. 194.00



TRANSVERSE SECTION

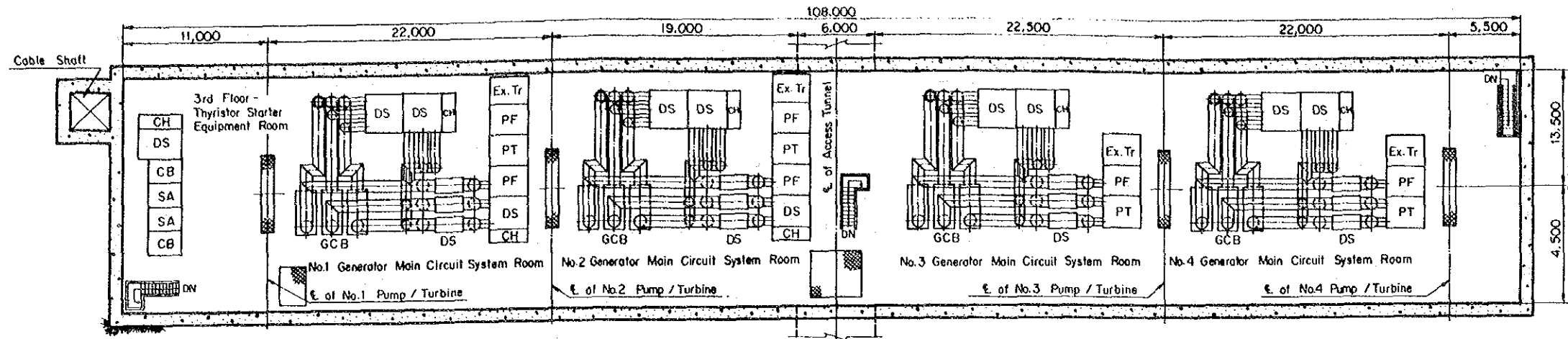


LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

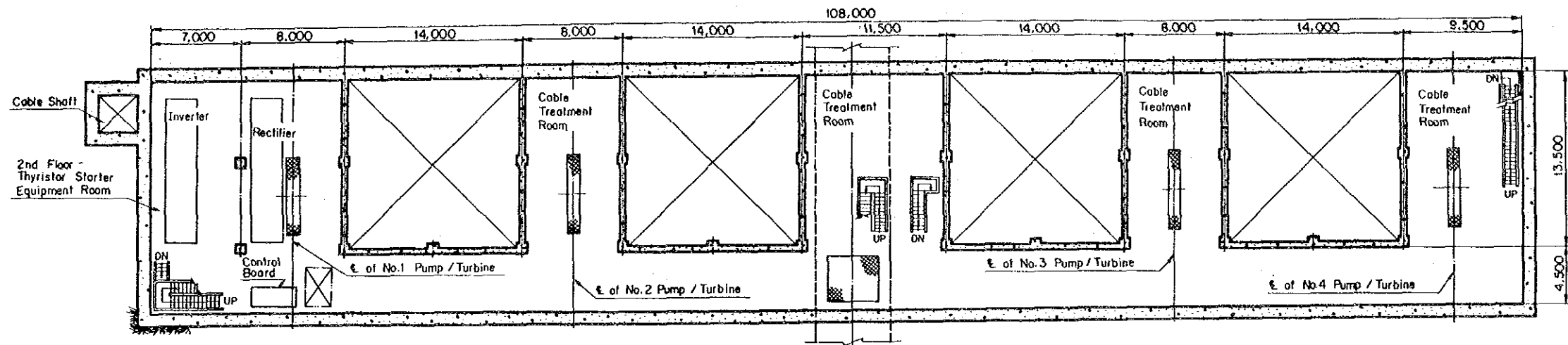
POWER HOUSE
ARRANGEMENT OF
ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT
(2 / 2)

DWG. 12-8

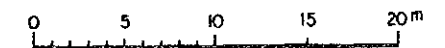
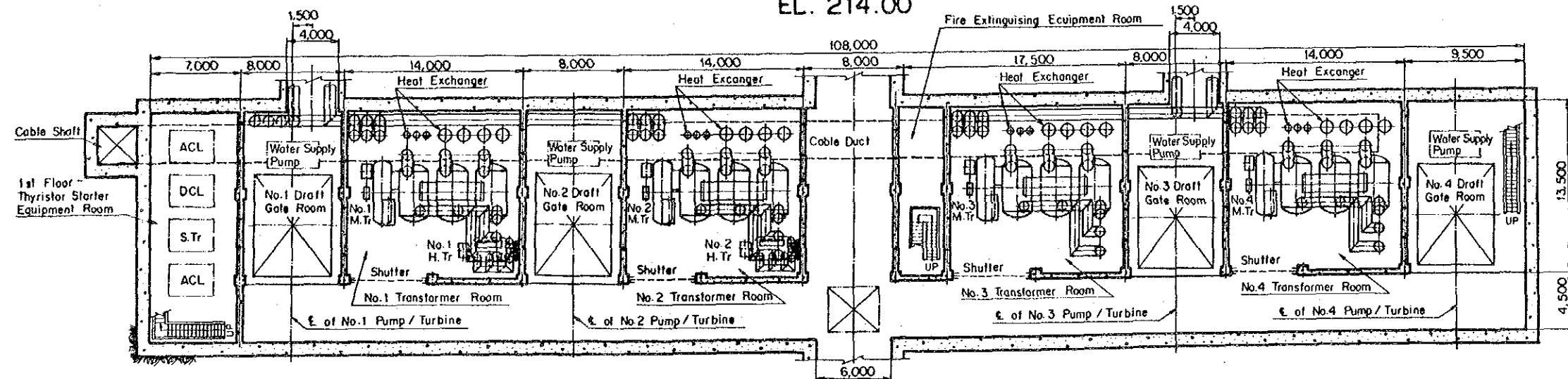
EL. 224.50



EL. 219.50



EL. 214.00

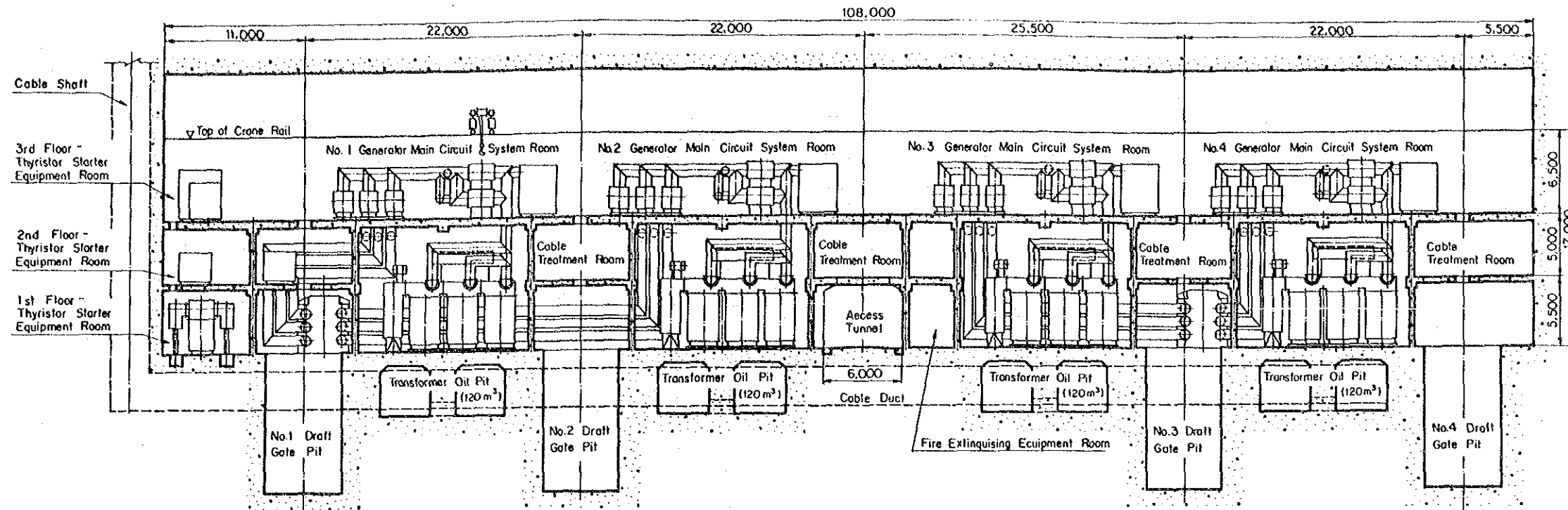


LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

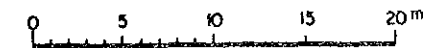
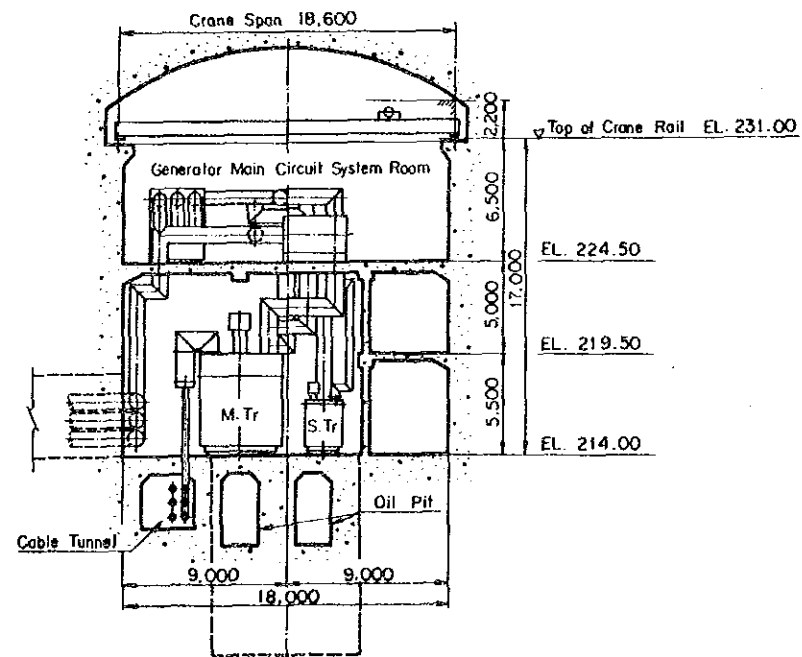
TRANSFORMER ROOM
ARRANGEMENT OF
ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT
(1 / 2)

DWG. 12-9

LONGITUDINAL SECTION



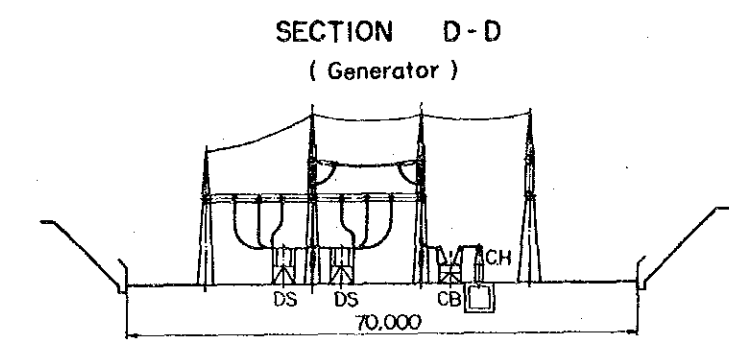
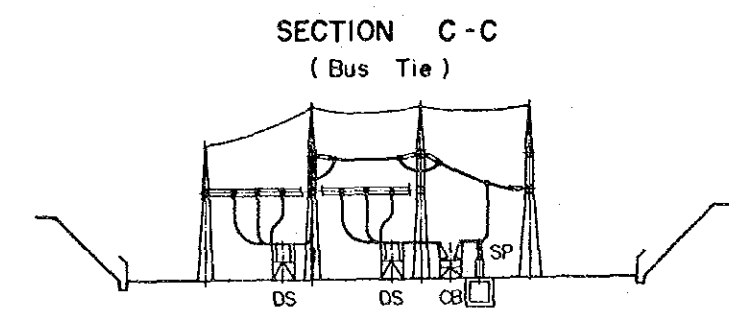
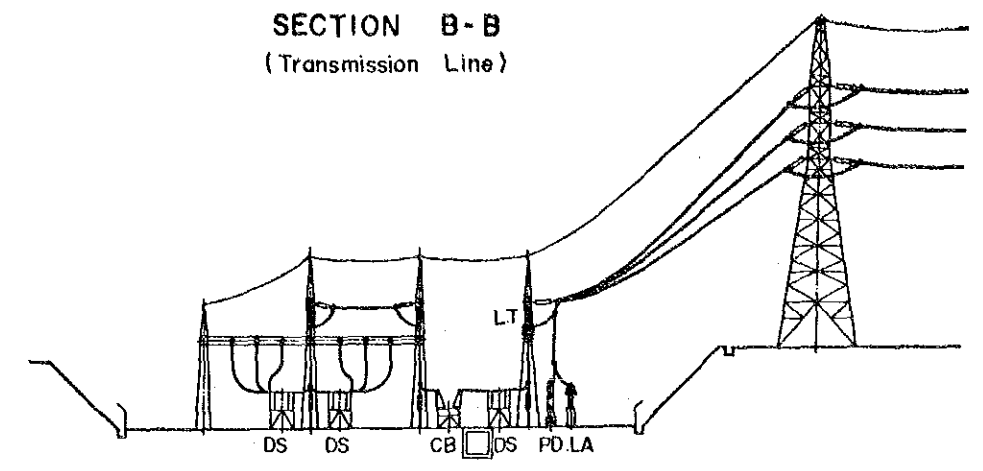
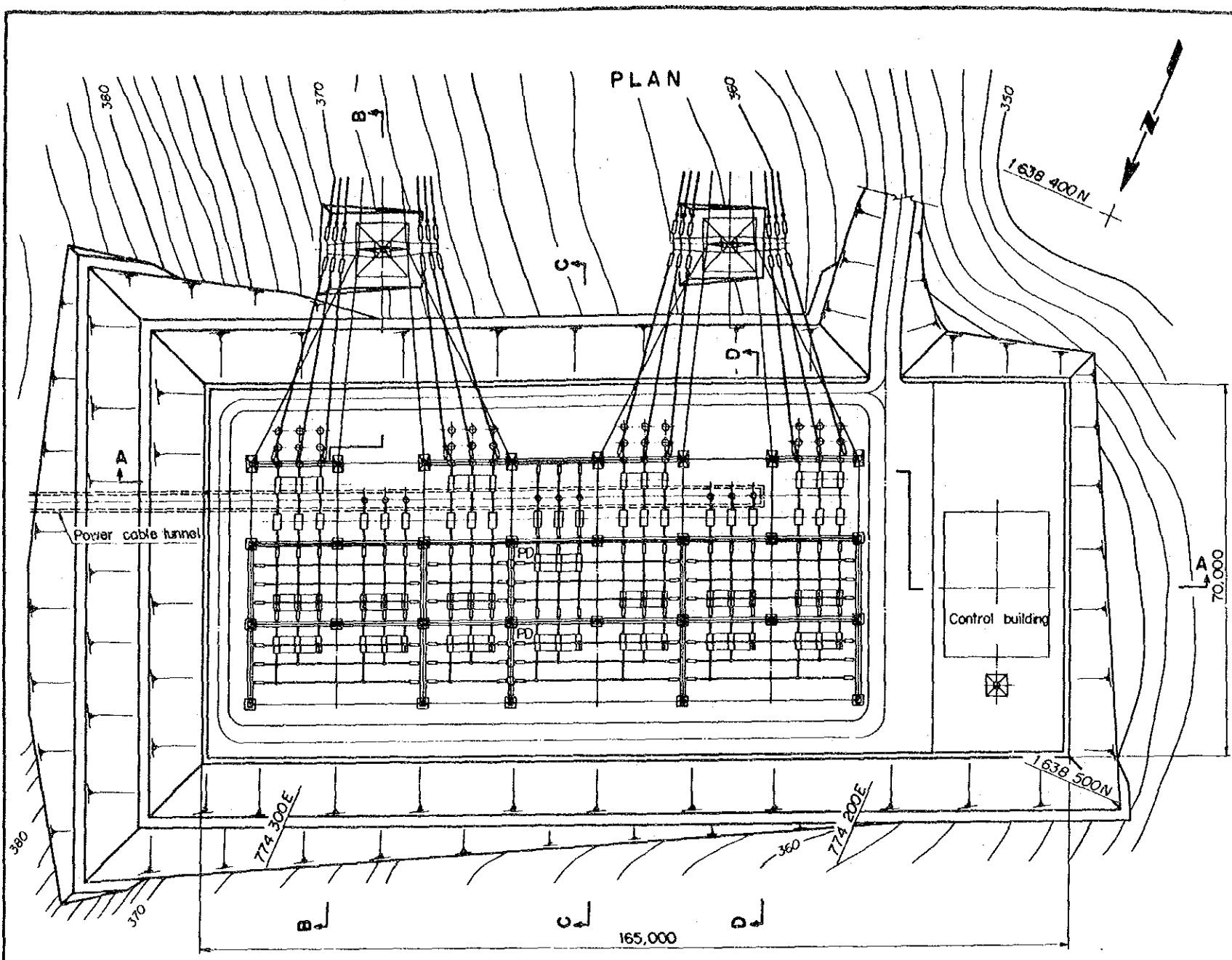
TRANSVERSE SECTION



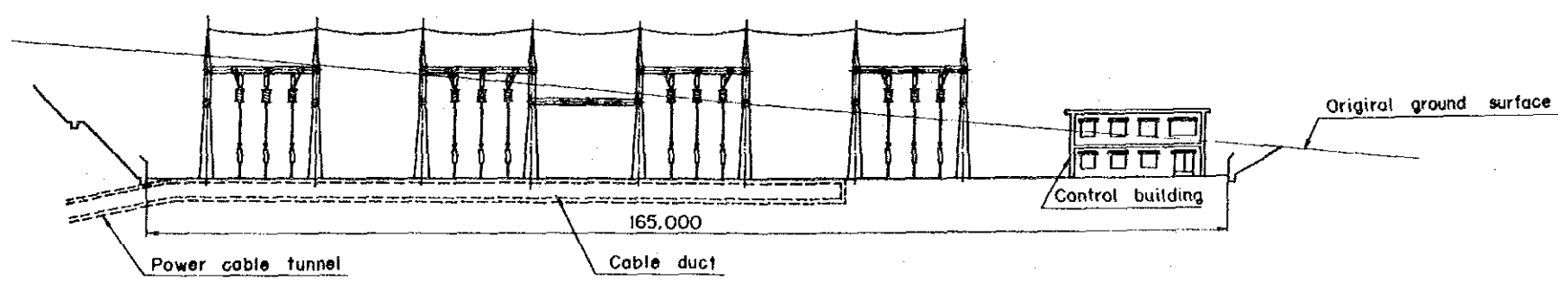
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

TRANSFORMER ROOM
ARRANGEMENT OF
ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT
(2 / 2)

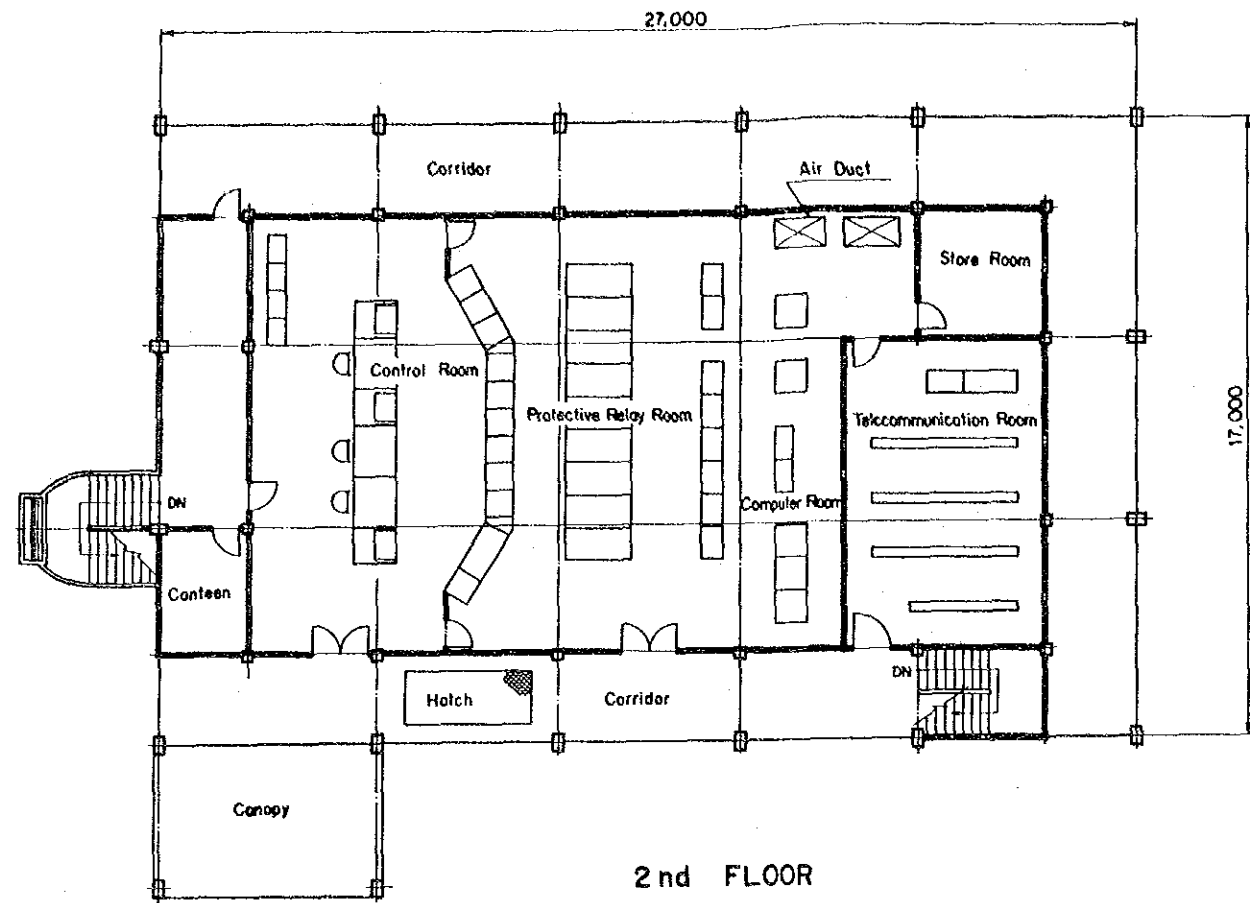
DWG. 12-10



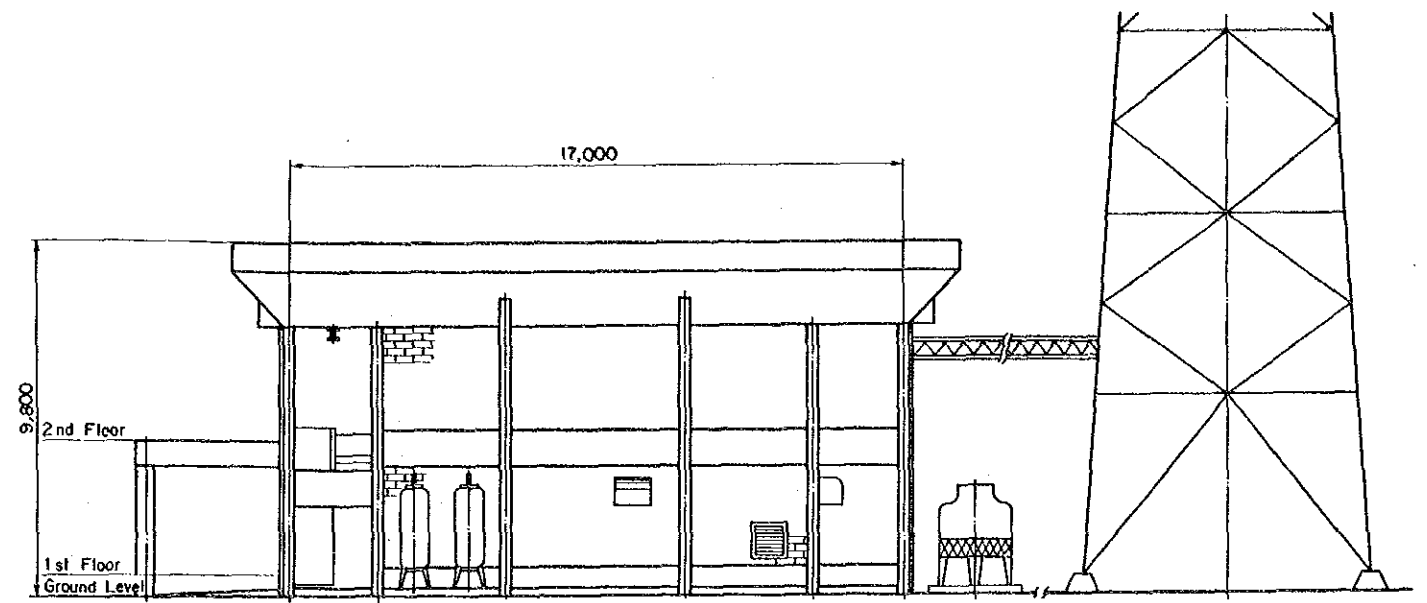
SECTION A-A



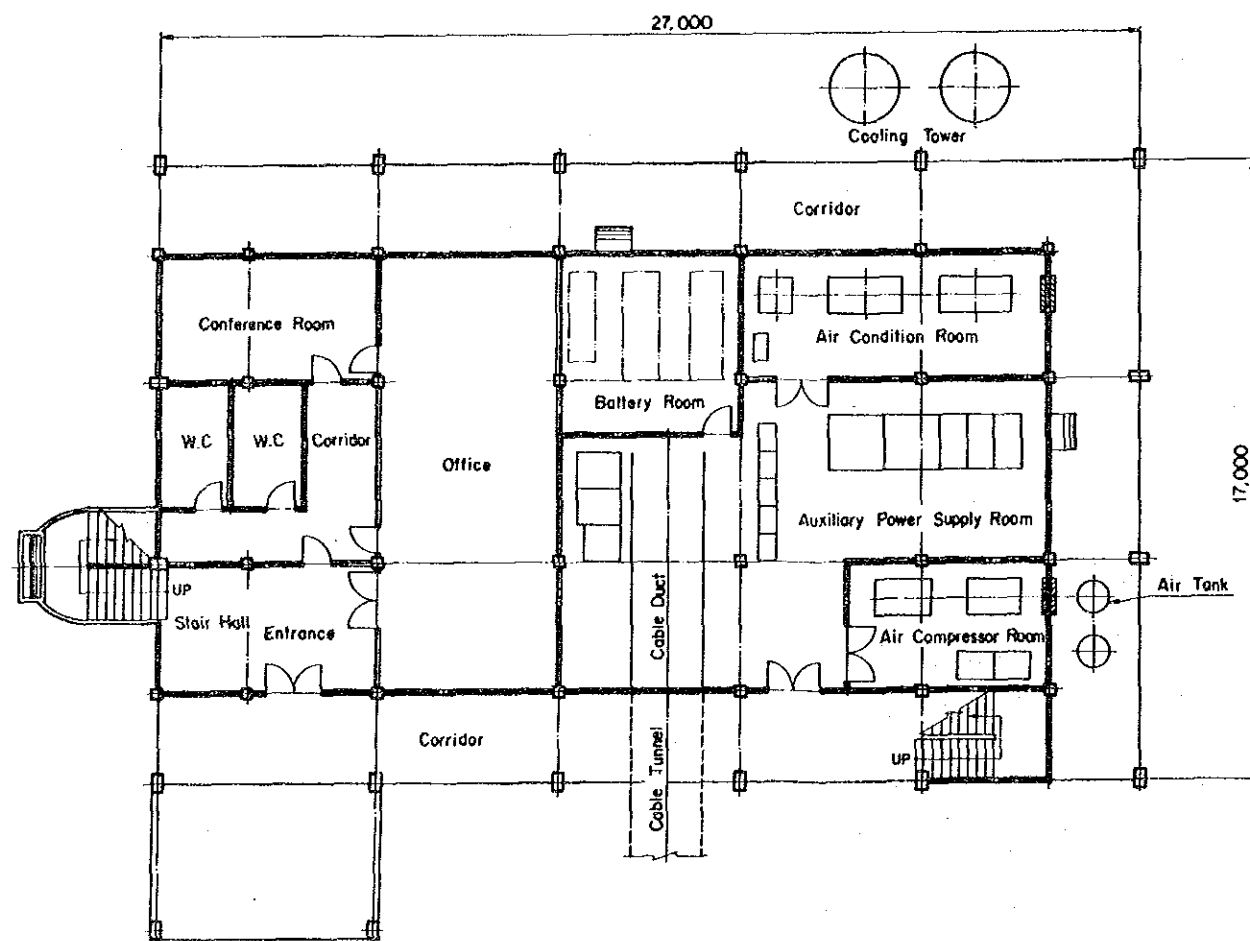
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
SWITCHYARD PLAN AND SECTION (CONVENTIONAL TYPE)	
DWG. 12-11	



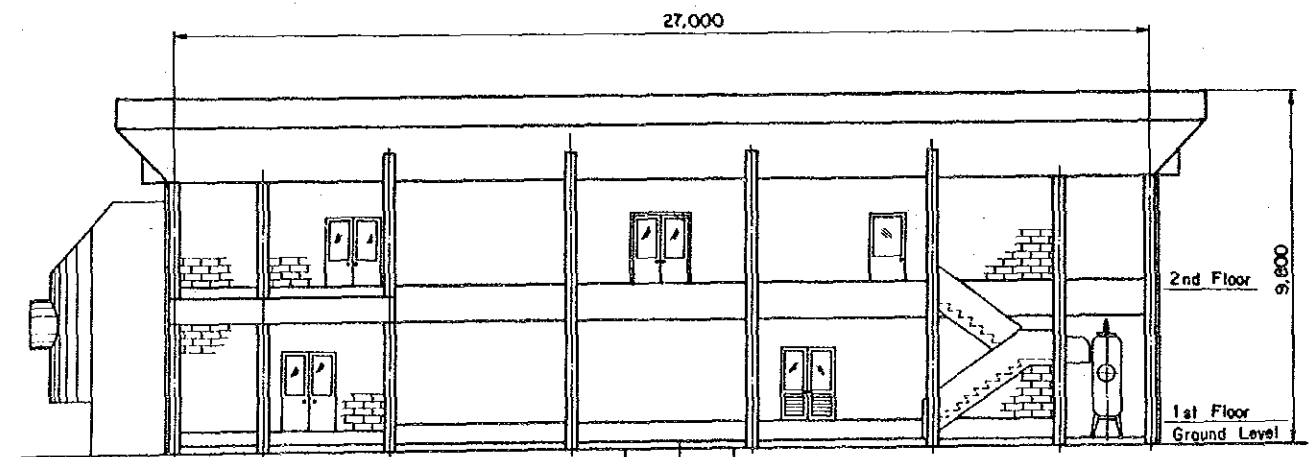
2nd FLOOR



SIDE VIEW



1st FLOOR



FRONT VIEW

LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

CONTROL BUILDING
ARRANGEMENT OF
ELECTRO-MECHANICAL EQUIPMENT

DWG. 12-12

