6－3　変電所の予備設計

6－3－1　変電所の位置

本計画送電線の引出し電気所および新設する変電所の位置は次のように決定された。

(1)　Nkula 側の引出地点

本送電計画のNkula 側の引出し地点としてはNkula A発電所（1次電圧66KV）またはNkula B発電所（1次電圧 132kV）が考えられる。しかし本送電線の送電容量および亘長から、132kV 以上の電圧が必要となるので、Nkula B発電所から引出す事とし同発電所の既設鉄構増設部分を利用し、引出しを行うこととした。

(2)　Lilongwe側の引込地点

本送電計画のLilongwe側の引込地点としては、既設Lilongwe A変電所（1次電圧66KV）とLilongwe B変電所（1次電圧132kV)の2地点が考えられるが、Lilongwe B変電所に既に増設用用地が確保されていることおよび1次電圧が 132kVであることから、Lilongwe B変電所を引込地点とした。

(3)　Sharpevale変電所新設

本送電線計画は長距離送電であること、また将来の北部系統強化、既設 Nkula B- Salima 132kV 送電線との連系、Dedza 地区への66KV連系および Malawi 湖周辺のリゾート地区への送電等を考慮して、本送電線の中間地点であるSharpevale地区に新設変電所を設置することとした。

新設を予定されているSharpevale変電所はNkula B変電所、Lilongwe B変電所を結ぶ送電線ルートのほぼ中間に位置しNkula B変電所からは約 110km、Lilongwe B変電所からは約 140kmの距離にある。

変電所地点は、近くに位置するSharpevale村から国道（M-6)沿いにBlantyre方向に約8kmの距離にあり、国道から200m程山側に入った耕作地に予定されている変電所地点には岩の露出、湿地、小川等もなく平坦な耕作地である。

変電所地点位置についてはFig.6-7 参照されたい。

(4)　変電所の周囲環境

Nkula B発電所、Lilongwe B変電所およびSharpevale変電所新設地点のいずれも周囲環境上問題がなくまた、汚損等の問題もない地域である。

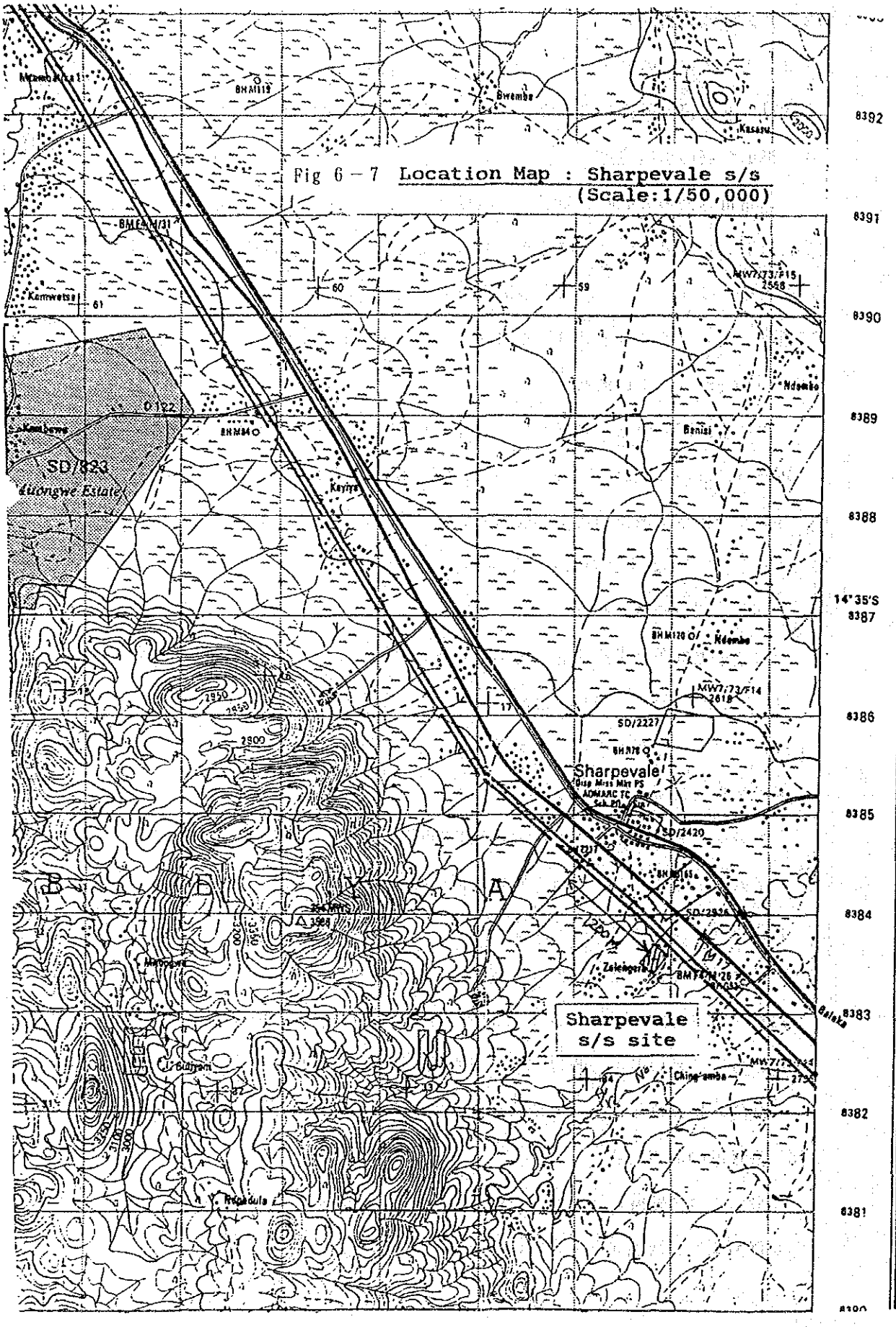


Fig 6 – 7 Location Map : Sharpevale s/s
(Scale:1/50,000)

6－3－2 変電所の規模および回路構成

本送電線計画の需要想定および系統解析結果を考慮に入れ各変電所の規模および回路構成を次の通りとする。

(1) Nkula B発電所増設

a） 132kV送電線引出設備……1回線

i）遮断器　145kV 800A 20kA　1台

ii）断路器　145kV 800A 20kA　3台

(2) Sharpevale変電所新設

a）132kV 送電線引出設備……2回線

b）主要変圧器……1台

c）132kV 母線……1式

d）66kV 母線……1式

e）制御、保護装置……1式

f）制御室……1式

g）主要機器諸元

i）主要変圧器 ： 132kV/66kV/33kV、25MVA 、単巻、OLT 付き　1台

ii）遮断器　145kV 800A 20kA　4台

iii）断路器　145kV 800A 20kA　10台

(3) Lilongwe B変電所増設

a） 132kV送電線引出設備……1回線

i）遮断器　145kV 800A 20kA　1台

ii）断路器　145kV 800A 20kA　3台

上記各発変電所の回路構成についてはFig 6-8, 6-10, 6-14に示す。

(4) Sharpevale変電所の構成

a）Sharpevale変電所用地

Sharpevale変電所の最終規模を次の様に想定すると変電所用地は約13,300m²（93.5m× 142m）となる。

i）132kV 送電線引込……6回線

ii）132kV 母線連絡……1回路

iii）主要変圧器……1 群

iv) 66kV　送電線引込……　2回線

v) 33kV　配電線引込……　3回線

vi) コントロールルーム……　1　棟

なお、新設変電所地点は平坦地でかつ農耕地であるので、整地レベルは既設国道（M－6）の路面より約30cm程高くし、洪水時の冠水を防ぐものとする。また、国道より変電所入口まで約70mのアクセス道路を取りつけるものとする。

b) 主要変圧器

主要変圧器の容量は需要想定の結果およびユニット容量の標準化を考慮して25 MVA とし、負荷時電圧調整器付とした。

主要巻線は 132kV側、66kV側とも直接接地系統に接続されるため、経済的な単巻線構造とし、三次巻線は将来MangochiおよびMonkey Bayへの33kV配電線を考慮して33kVのデルタ結線とした。

主要変圧器は単相器3台と3相器1台のいずれかの採用となるが同一容量のバンクを3相器1台、あるいは、単相器3台で構成する場合で比較すると3相器が単相器の約80%の価格となる。また、総重量も3相器の方が軽くなり、基礎工事費も少なくて済む事となる。

系統の信頼度面を考慮しても、最近の変圧器は事故率が極めて低く、また雷害を考慮しても予備変圧器の設置の必要性は少ないので、3相器を採用することとした。

c) 送電線引出設備

本送変電計画では、 132kV送電線は当面π引込みの1回線のみのため、送電線引出設備として2回線分を設備するものとした。66kV送電線は2回線が引出されるものとして2回線分の引出設備を設置することとした。

変電所規模および取得用地面積の検討のため、将来の送電線引込設備として既設132kV Nkula B－Salima送電線のπ引込みおよび本計画送電線の2回線目の増架を考慮に入れた引出回線数計4回線分を想定した。

d) 母線結線方式

Sharpevale変電所はNkula B－Lilongwe B間の重要な変電所となるので機器の点検、系統運用の便宜、母線事故等の全停防止に有利な二重母線方式とする。

66kV側母線は単母線方式とした。

e）汚損設計

Sharpevale変電所は標高約670mで付近は農耕地であり、公害の発生する工場等はなく、空気も良いので、特に汚損設計については考慮しない。

f）制御室

機器の監視制御盤、保護継電器盤、通信機器の収納、事務室の確保のため制御室を建設するものとした。その配置を添付Fig 6-16に示す。

g）ＶＨＦ用アンテナ

送電線の保守用としてＶＨＦ通信装置を使用するため、変電所構内（または変電所近傍）にアンテナを設置するものとした。

h）機器配置

変電所の機器配置及び断面図（案）を Fig. 6-11, 6-12, 6-13, に示す。

6－3－3　監視制御方式

(1) Nkula Ｂ発電所

Nkula Ｂ発電所および Lilongwe Ｂ変電所ともに既設変電所に本計画の送電線１回線の引き込み設備を増設する事になるため、増設送電線引出設備の監視制御は既設方式に合わせることとした。監視制御方式は、直接監視制御方式となる。

Nkula Ｂ発電所には配電盤室に増設送電線引込設備用の操作、計器盤が設置してある。使用可能な操作回路、計器は流用する事になる。

(2) Lilongwe Ｂ変電所

Lilongwe Ｂ変電所では、増設送電線引込設備用のスペースが制御室に確保してあるので、ここに新盤を設置することになる。新盤の形状はENCLOSED TYPEとなる。

(3) Sharpevale 変電所

Sharpevale変電所でも既設設備と同様直接監視制御方式を採用し盤形状はDUPLEX TYPEを採用する。

(4) SCADA システム

ESCOM では SCADAシステムを採用し、BlantyreのChichiri発電所構内にある給電所に電気情報を電送しているため、Sharpevale変電所の電気情報についても RTU (REMO TERMINAL UNIT)を設置して情報電送を行うものとする。

6－3－4　送電線保護方式および母線保護方式

本送変電計画の送電線は、Malawi共和国の基幹送電線であるため送電信頼度の向上を念頭に置き次の保護方式を採用するものとした。

(1)　送電線保護方式

a）132kV 送電線

i）方向比較距離継電方式（Permissible over reach, with 3 mho element）

ii）単相／三相再閉路　実施

iii）全静止型

b）66kV　送電線

i）距離継電器、静止型

ii）低速度再閉路　実施

iii）過負荷継電器

c）33kV　送電線

i）方向接地継電器

ii）過電流継電器

(2)　母線保護方式

次の保護方式を採用する。

a）132kV 母線

i）電圧差動（ハイ　インピーダンス型）継電器、全静止型

b）66kV　母線

i）電流差動継電器、静止型

(3)　変圧器保護継電器

次の保護方式を採用する。

a）電圧差動（ハイ　インピーダンス型）継電器、全静止型

b）過負荷継電器

c）機械式継電器（ブッフホルツ　リレー、温度リレー）

6－3－5　絶縁協調、耐雷設計

変電所の主母線の絶縁設計は送電線に準ずるものとした。

変電機器の絶縁強度は 132kV直接接地系について次の値を満足するものとし、これ

を上廻る系統の異常電圧は避雷器により、対処するものとした。

(1) 絶縁協調

a) 本計画の系統電圧は次の値を採用する。

・送電線電圧…… 基幹系統 ; 132kV
2次系統 ; 66kV
配電系統 ; 33kV

b) 各系統電圧に対する既設機器のBIL (基準絶縁レベル) は次の値が採用されている。

・ BIL…… 132kV ; 650kV
66kV ; 350kV
33kV ; 200kV

c) 上記より本計画の変電所に採用する BILは既設設備との絶縁協調、IEC 標準値を考慮し次の数値を採用する。

適用 BIL 132kV ; 650kV
66kV ; 350kV
33kV ; 200kV

d) 各系統電圧に対応するBIL を選定したため、この数値を基に変電所機器配置のため必要なクリアランスを次のように決める。この数値は既設の電気所に適用されている数値と同じである。

電 圧	132kV	66kV	33kV	11kV
標準クリアランス				
対地間	1,270mm	690mm	480mm	200mm
相 間	1,470mm	790mm	480mm	250mm
充電部……保守員	3,500mm	3,050mm	3,050mm	2,590mm
充電支持碍子最下部……地表面	2,450mm	2,450mm	2,450mm	2,450mm

e) 変電所に進入する異常電圧に対する機器絶縁保護および基準クリアランス確保の目的で変電所構内に避雷器を設置する。避雷器の仕様、定格については(2)項耐雷設計の項にて記述する。

(2) 耐雷設計

a) 避雷器の設置および避雷器定格の選定

電力系統に発生する異常電圧 (雷サージ、開閉サージ、商用周波異常電圧等) の進入に対して変電所機器を保護するため避雷器を設置する。

本計画のNkula B－ Lilongwe B間の送電線ルートは雷発生日数（IKL）123と襲雷頻度が高く、雷サージの進入回数が多い事が想定されるため機器保護の観点から、送電線路引き込み口に避雷器を設置することとし、かつ変圧器両端にも避雷器を設置することとする。

避雷器の定格は次のものを採用する。

（避雷器定格電圧＝接地係数＊裕度＊最高電圧/$\sqrt{3}$ で求める。）

132kV 回路機器　避雷器定格電圧＝1.25＊1.15＊ 145/$\sqrt{3}$ ＝ 120

120kV 避雷器を採用する

66kV 回路機器　避雷器定格電圧＝1.25＊1.15＊72.5/$\sqrt{3}$ ＝ 60

60kV 避雷器を採用する

33kV 回路機器　避雷器定格電圧＝1.25＊1.15＊ 36/$\sqrt{3}$ ＝ 29.8

30kV 避雷器を採用する

放電電流　：132kV，66kV 用；10 kA、

33kV 用；5 kA、

避雷器はギャップレス（酸化亜鉛）、防爆、自立タイプとする。

b）変電所構内への雷直撃に対する対策として、構内架空地線による雷遮蔽方式を採用する。構内架空地線は、アルミ被鋼撚線（AC 55 mm²）を使用する。

6－3－6　接地設計

変電所構内機器の接地、雷進入時の構内電位上昇の低下を目的にメッシュ接地方式を採用する。

外周フェンスの接地は雷進入時の対人保護の目的で構内メッシュと分離した接地を行う。

使用する接地線は 80 mm² 銅撚線を使用することとする。

6－3－7　変電所鉄構、架台および基礎設計

(1)　変電所構内鉄構

構内の鉄構はトラス組み亜鉛メッキ仕上げのアングル鉄構とする。鉄構はアンカーボルト止め基礎とする。鉄構の設計例は Fig.6-17 の通り。

変電所鉄構及び架台の設計荷重は次の通りとする。

a) 鉄構風圧　　270kg／m²

b) 架渉線風圧

i) 架空地線　　90kg／m²

ii) 電力線　　81kg／m²

c) 碍子風圧　　114kg／m²

d) 地震力　　Co＝0.2G

(2) 架　台

機器架台は、鉄構同様Fig 6-18に示すトラス組み架台を採用する。ただしパイプ母線用支持架台、SP碍子支持架台については鉄パイプを採用する。

機器架台は鉄構同様アンカーボルト止め基礎とする。

(3) 基礎設計

変電所の基礎設計は送電線鉄塔基礎設計に準ずるものとし、その詳細は次の通りとする。

a) 地盤諸元

設計用地盤諸元は次の通りとする。

Table 6-8　変電所地盤の諸元

項　　目	諸　元
地質の種類	土　砂
土の引揚抵抗角（度）	20
土の単位体積重量（kg／m³）	1,600
地盤の短期耐力度（kg／m²）	30,000
地下水位	床盤下

b) 基礎の形式

基礎の形式は地盤に直接支持させる構造としてマットスラブ基礎とする。

c) コンクリート

変電所の基礎はすべて鉄筋コンクリート基礎としコンクリートの設計基準強度は180 kg／cm²（材令28日）とする。

コンクリートの許容応力および鉄筋の強度は送電線基礎に準ずる。

(4) 基礎の安定

鉄構、架台および変圧器基礎等は風圧等の短期荷重に対して地耐力度30t/m²以下となるように、その大きさを定めると共に、水平荷重に対しても浮上りを生じないように設定する。

また、各基礎コンクリート底面のレベルは支持地盤強度を乱さないよう可能な限り同一レベルとする。ケーブルトレンチ等のクラックの入る恐れのある基礎コンクリートは、必要に応じて鉄筋により補強をする。

6－3－8 建物および屋外付帯設備設計

新設されるSharpevale変電所には、以下の建物および付帯設備を設置する。

(1) 制御室

建物内にはFig 6-16に示す様に制御室、33kV switchgear 室、通信機械室、バッテリー室、倉庫等を設ける。

建物はその重要性から耐震性の高い鉄筋コンクリートフレーム構造とし、壁部分はグレードAのレンガ積みとする。屋根は木造トラス組み構造とし、天井高さは3.0mとする。

制御室、33KV switchgear 室および通信機械室は空調設備を設置し、バッテリー室には換気設備、食堂には電気湯沸器を設ける。

(2) 守衛所

変電所入口に3m²のレンガ積みの守衛所を設置する。

(3) 倉　庫

送変電用予備品を収納する50m²のレンガ積み倉庫を独立して設置する。

(4) 車　庫

パトロール用車両5台を収容する開放型車庫を設置する。

(5) 給排水設備

給水用ポンプ室および高架貯水タンク（容量5m³）を設置する。

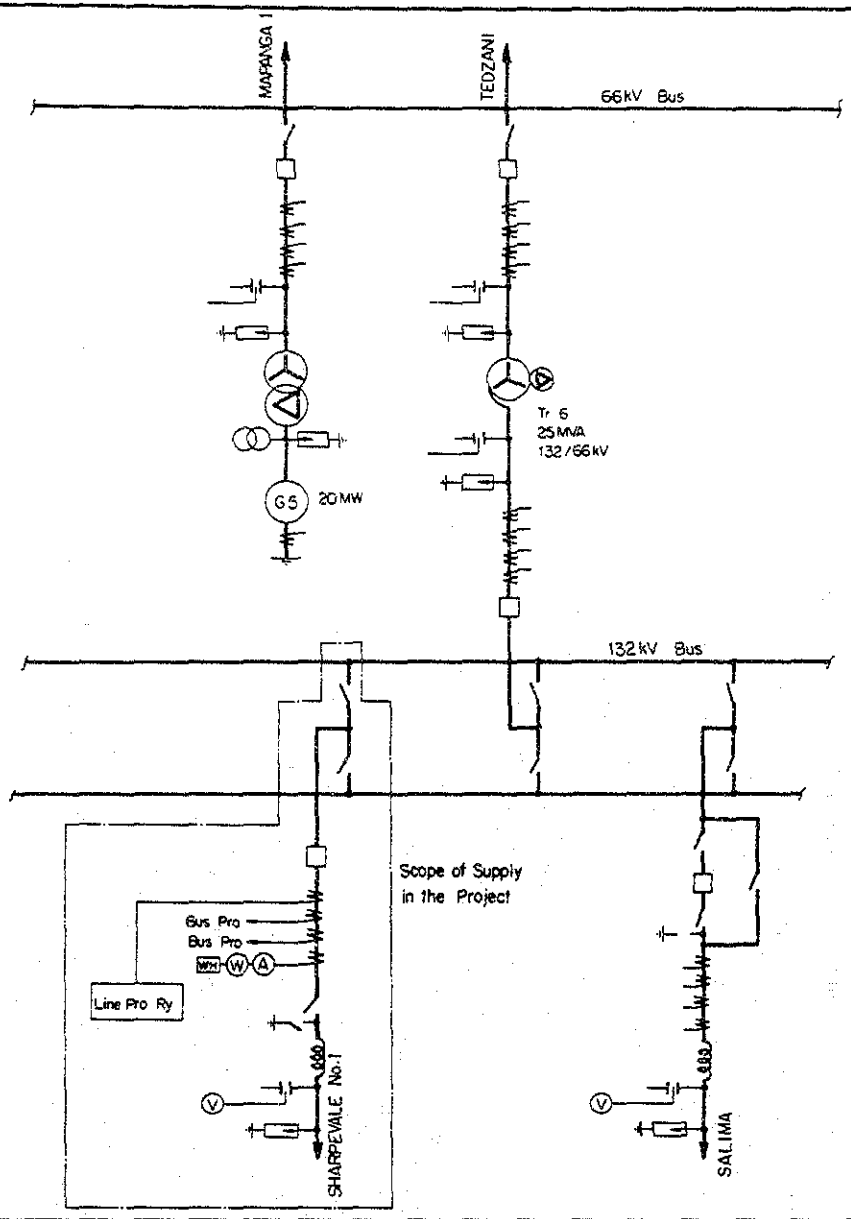
また、汚水排水処理用の浄化槽を設ける。

(6) フェンス、舗装他

敷地境界線に沿って高さ1.8mの忍返し付金網フェンスおよびゲートを設ける。

なお、フェンスには接地を施すものとする。

敷地内の機器廻りは砂利敷きとし、その他の部分はアスファルト舗装とし、雨水排水溝を設ける。



LEGEND

- Circuit breaker
- Disconnector
- Surge arrester
- Capacitor voltage transformer
- Potential transformer

NOTE

This single line diagram indicates one new transmission line (to LILONGWE (B)) which is to be constructed by the project and not indicates whole circuit connection in NKULA B power station.

ESCOM	EPDC
ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI	CONSULTANT TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT	SCALE
NKULA B POWER STATION SINGLE LINE DIAGRAM	DRAWING No.

Fig 6 — 8

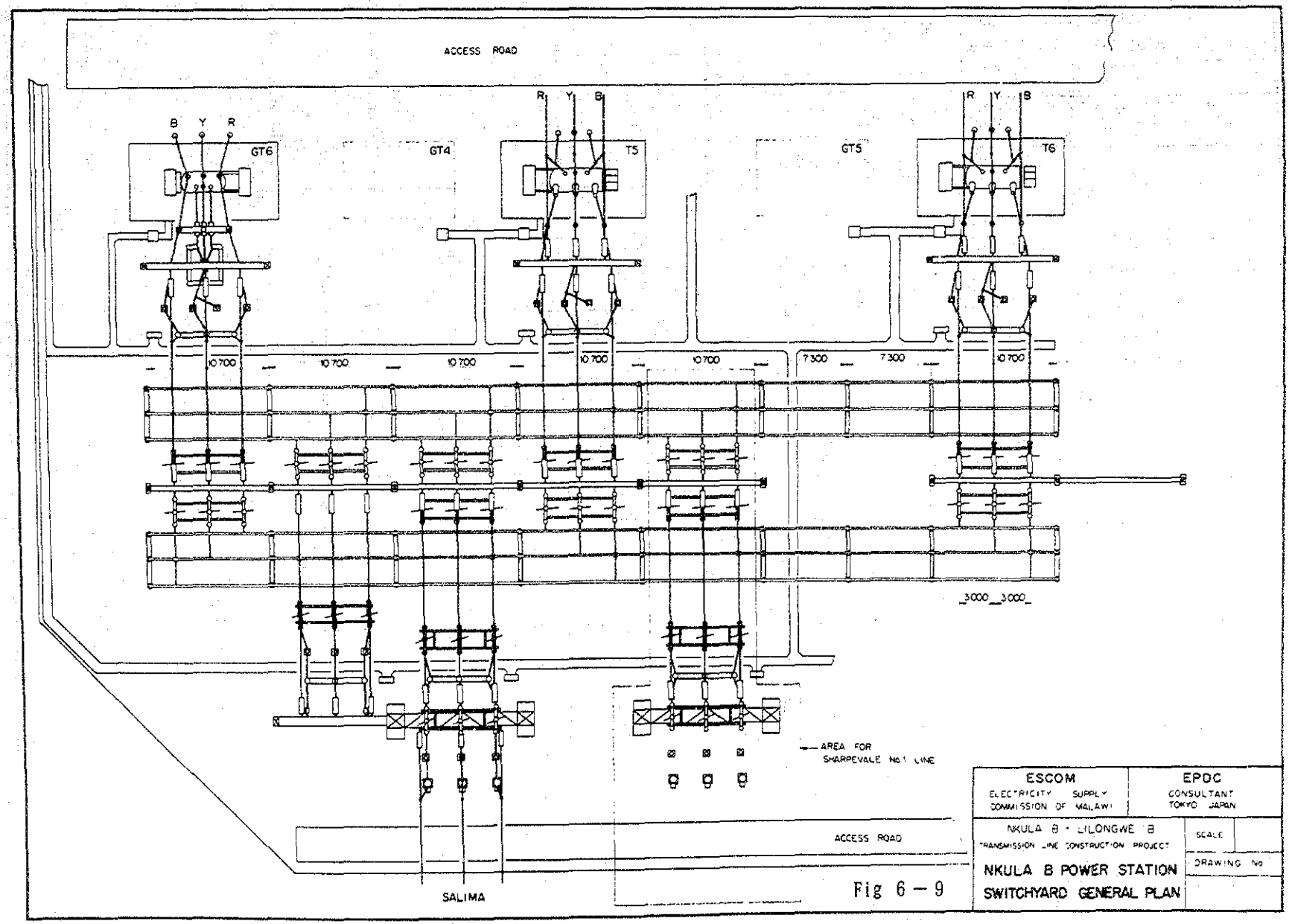

ACCESS ROAD
B Y R
GT6
GT4
R Y B
T5
GT5
R Y B
T6
10 700
10 700
10 700
10 700
10 700
7 300
7 300
10 700
3000 3000
AREA FOR
SHARPEVALE No 1 LINE
ACCESS ROAD
SALIMA
ESCOM
ELECTRICITY SUPPLY
COMMISSION OF MALAWI
EPDC
CONSULTANT
TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B
TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT
SCALE
DRAWING No
NKULA B POWER STATION
SWITCHYARD GENERAL PLAN

Fig 6 — 9

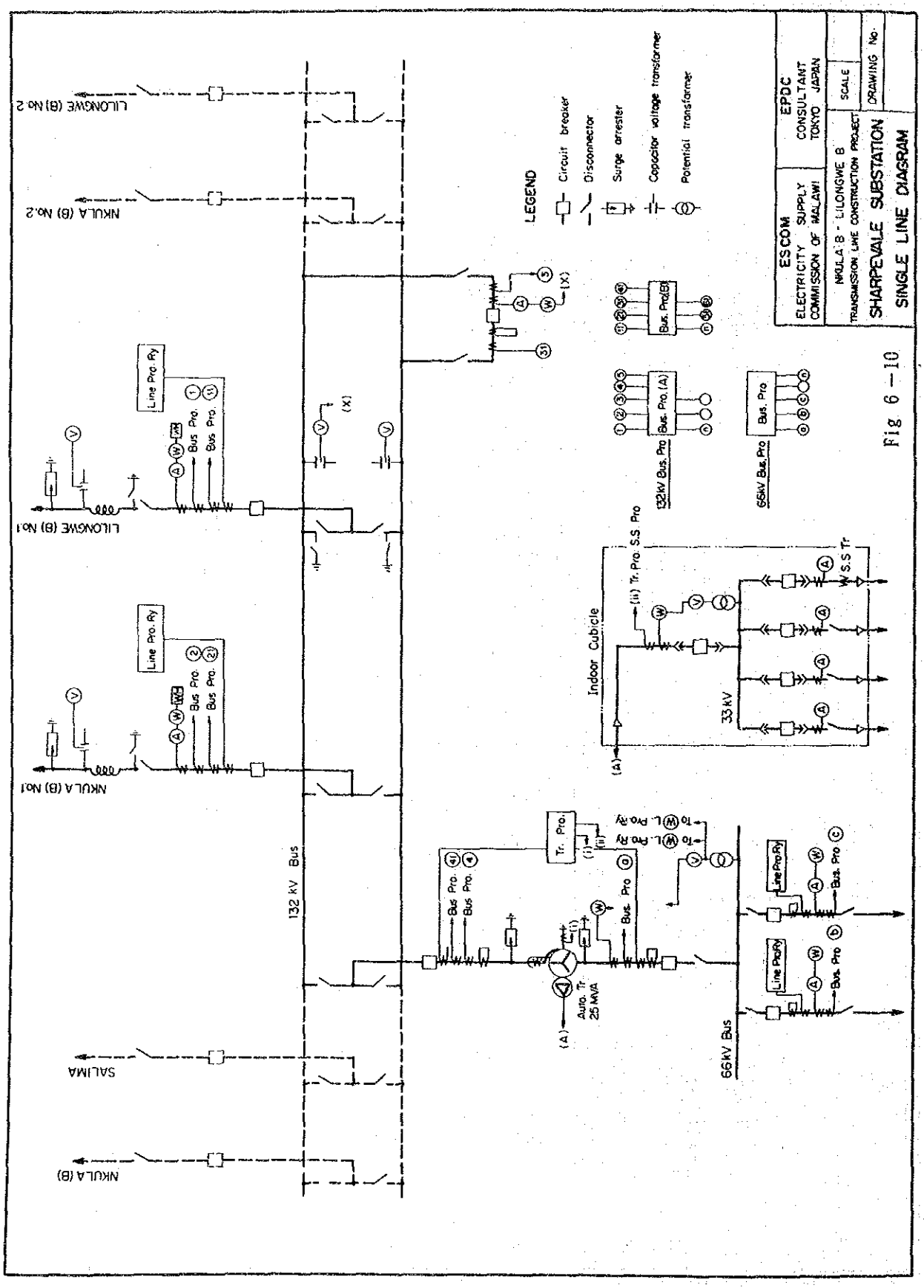
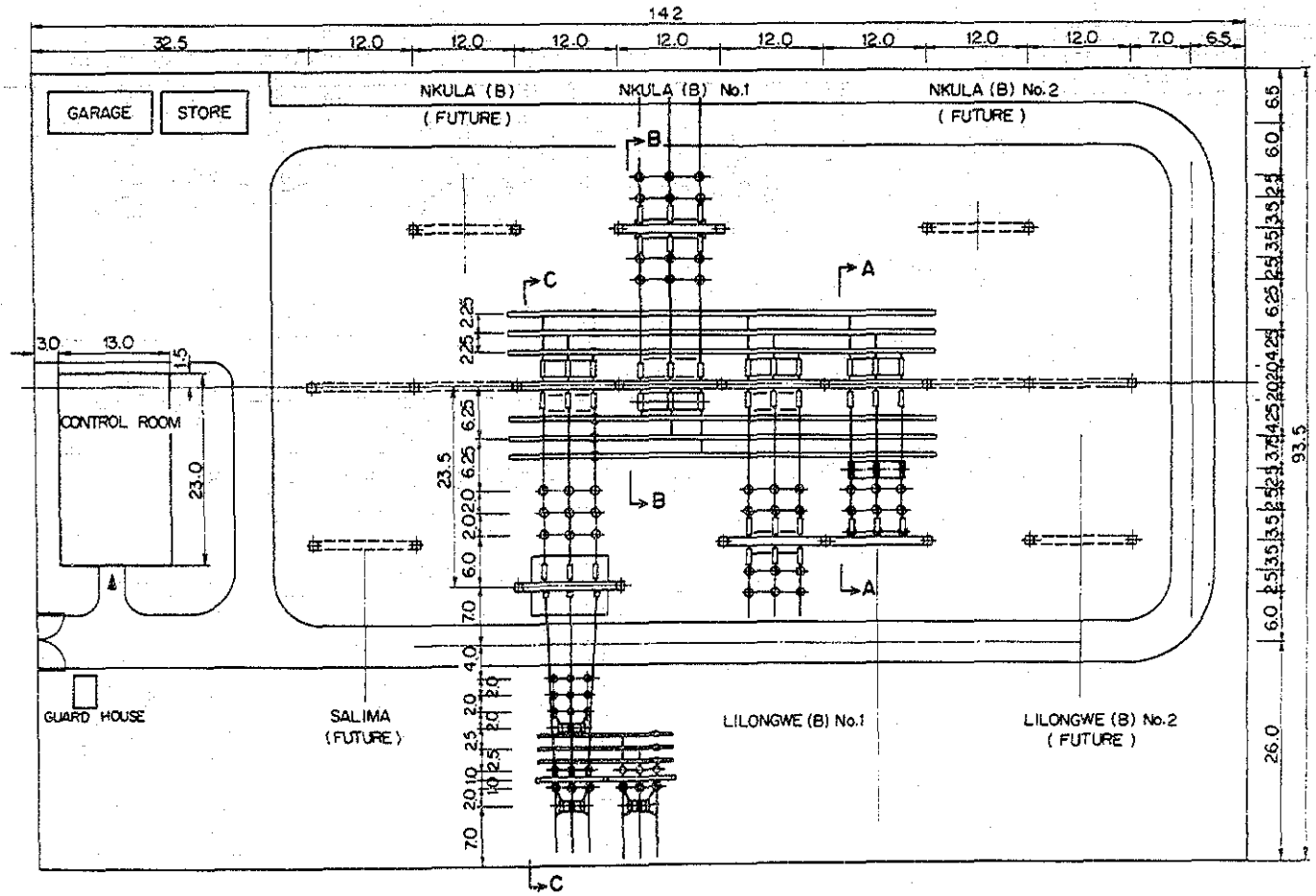

LILONGWE (B) No.2
NKULA (B) No.2
LILONGWE (B) No.1
NKULA (B) No.1
SALIMA
NKULA (B)
132 kV Bus
Line Pro. Ry
Bus Pro.
LEGEND
Circuit breaker
Disconnector
Surge arrester
Capacitor voltage transformer
Potential transformer
132kV Bus. Pro
66kV Bus. Pro
Bus. Pro (A)
Bus. Pro (B)
Indoor Cubicle
33 kV
S.S Tr
S.S Pro
Tr. Pro.
Auto. Tr. 25 MVA
66kV Bus
ESCOM
ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI
EPDC
CONSULTANT TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT
SHARPEVALE SUBSTATION
SINGLE LINE DIAGRAM
SCALE
DRAWING No.

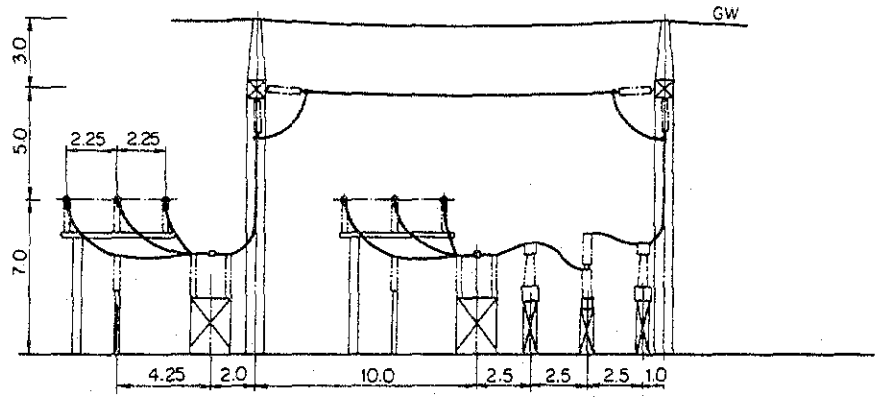
Fig 6 – 10



ESCOM ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI	EPDC CONSULTANT TOKYO JAPAN	
NKULA B - LILONGWE B TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT	SCALE	1/500
SHARPEVALE SUBSTATION GENERAL PLAN	DRAWING No.	

Fig 6 —11

SECTION A-A (BUS TIE)



SECTION B-B (132kV LINE)

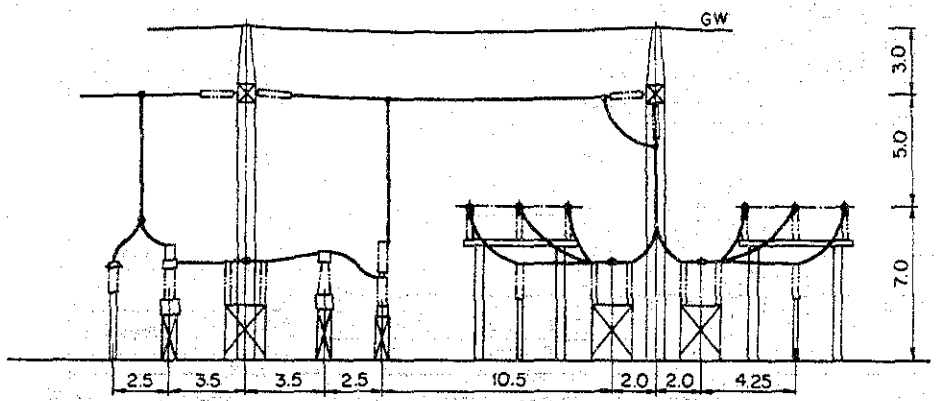
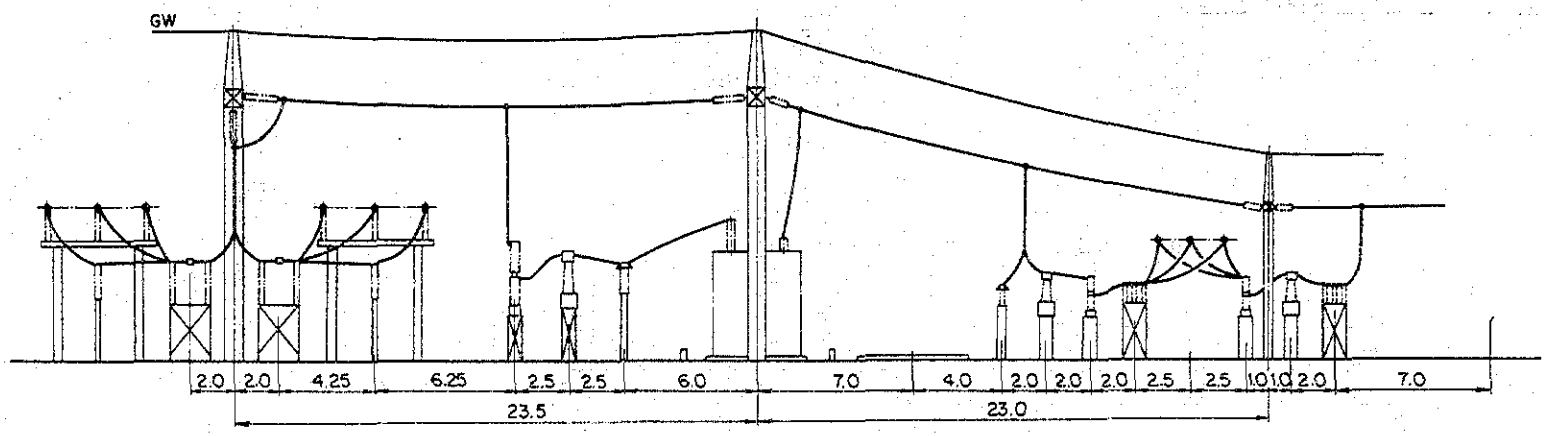


Fig 6 – 12

ESCOM ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI	EPDC CONSULTANT TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT	SCALE 1/200
SHARPEVALE SUBSTATION SECTION (1/2)	DRAWING No.

SECTION C-C



ESCOM ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI	EPDC CONSULTANT TOKYO JAPAN	
NKULA B - LILONGWE B TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT	SCALE	1/200
SHARPEVALE SUBSTATION SECTION (2/2)	DRAWING No.	

Fig 6 −13

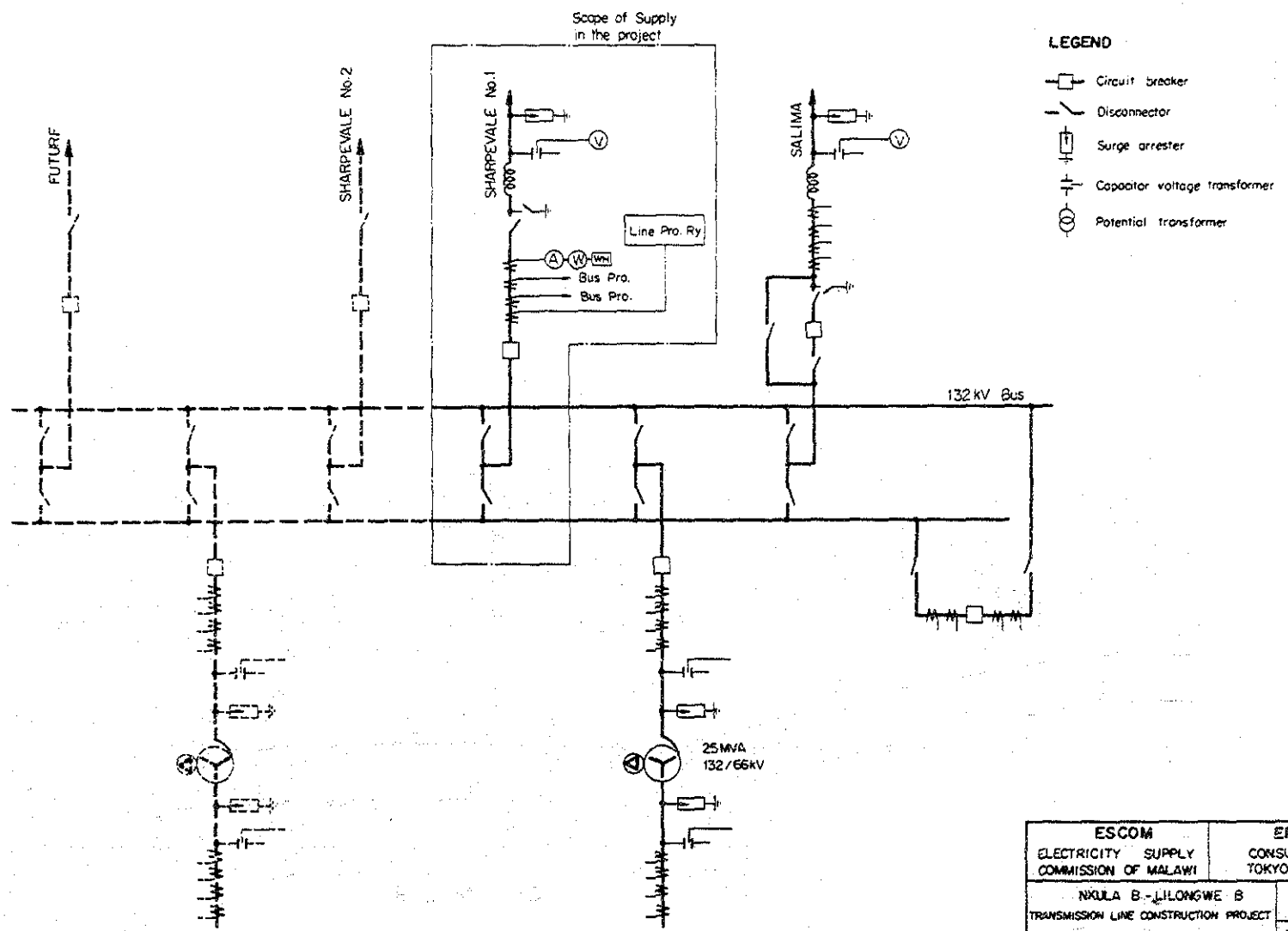


Fig 6 —14

ESCOM ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI	EPDC CONSULTANT TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT	SCALE
LILONGWE B SUBSTATION SINGLE LINE DIAGRAM	DRAWING No.

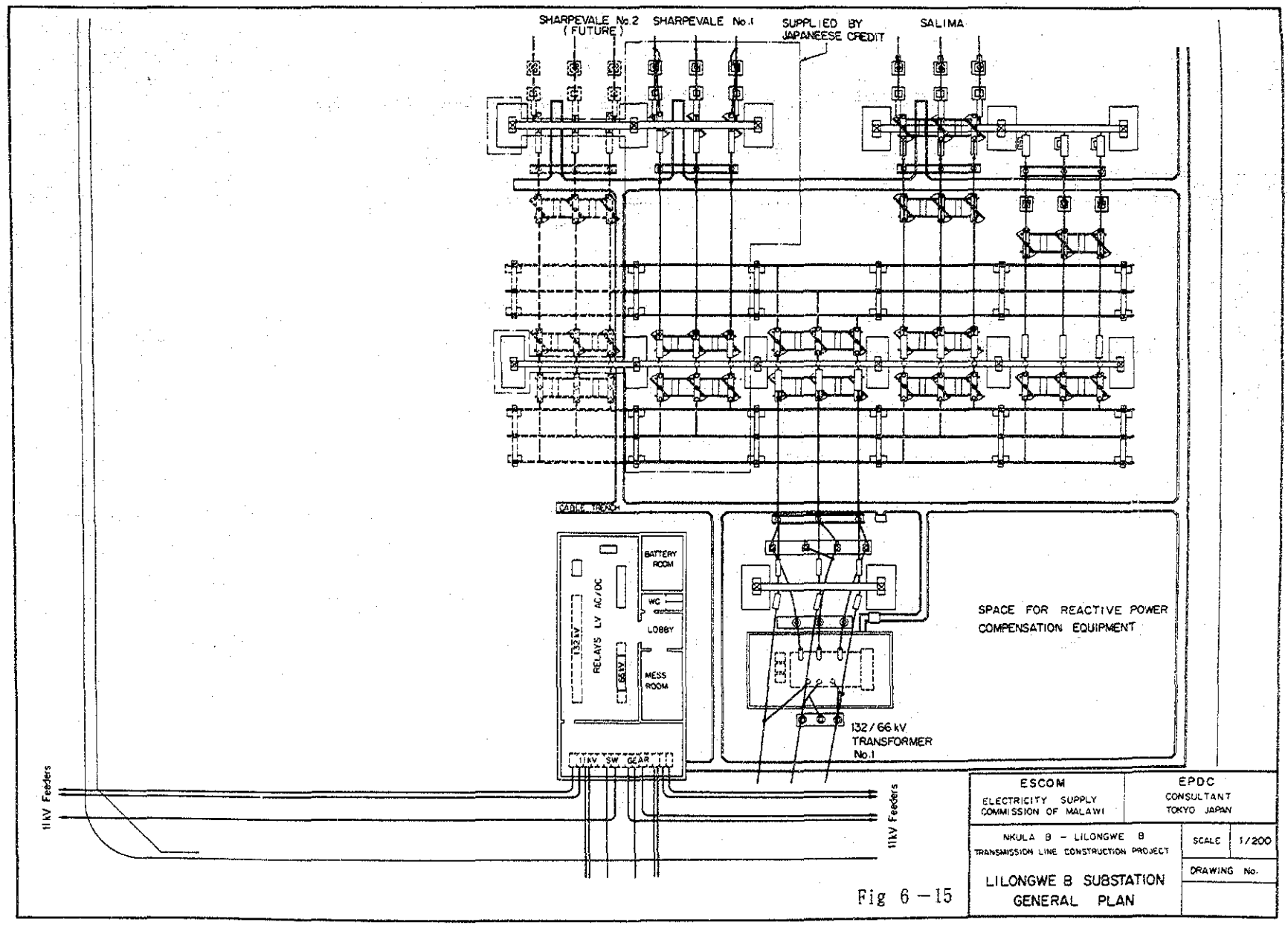
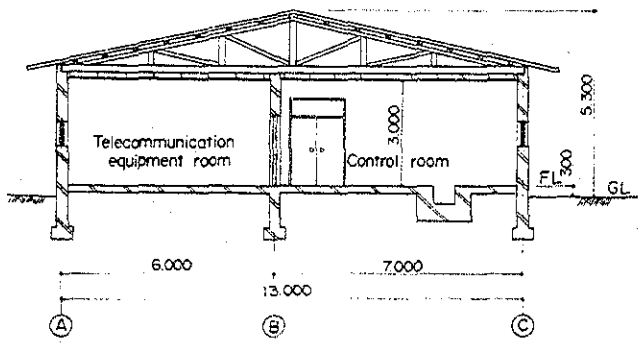
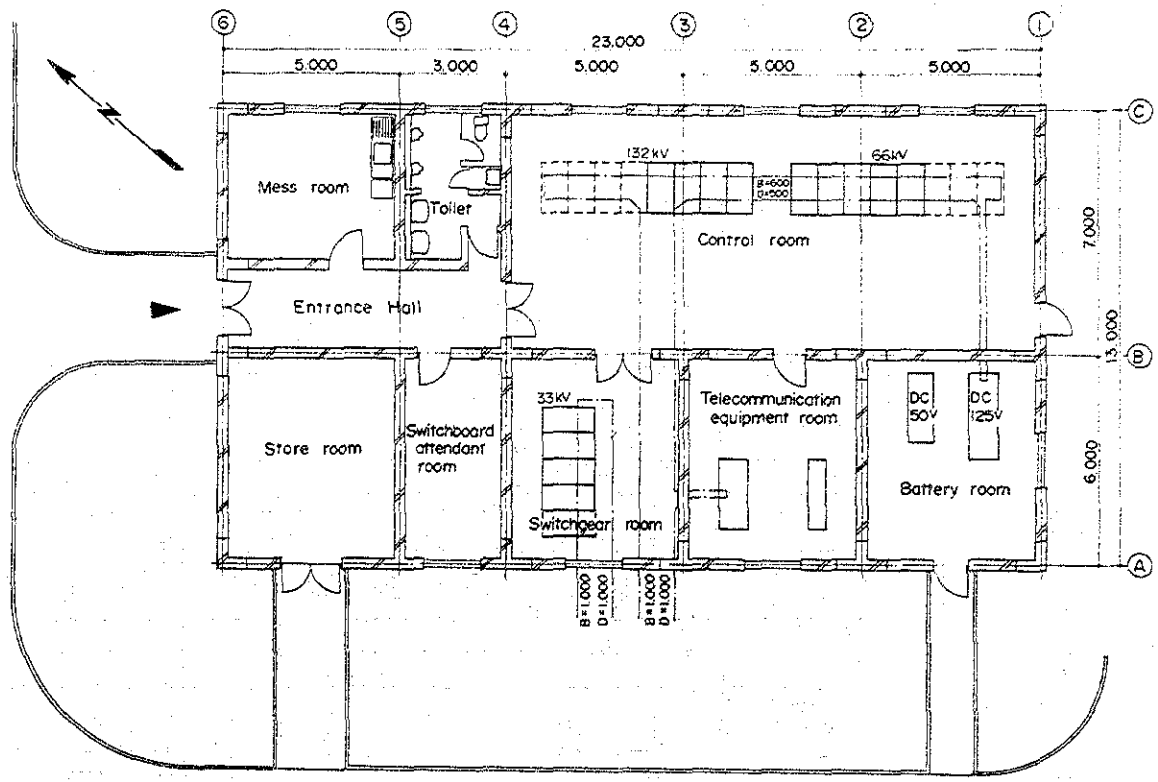

SHARPEVALE No.2
(FUTURE)
SHARPEVALE No.1
SUPPLIED BY
JAPANEESE CREDIT
SALIMA
CABLE TRENCH
BATTERY ROOM
WC
LOBBY
MESS ROOM
132kV
RELAYS LV AC/DC
66kV
11kV SW GEAR
SPACE FOR REACTIVE POWER
COMPENSATION EQUIPMENT
132/66kV
TRANSFORMER
No.1
11kV Feeders
11kV Feeders
ESCOM
ELECTRICITY SUPPLY
COMMISSION OF MALAWI
EPDC
CONSULTANT
TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B
TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT
SCALE 1/200
DRAWING No.
LILONGWE B SUBSTATION
GENERAL PLAN

Fig 6 −15



SECTION



PLAN

Fig 6 −16 SHARPEVALE SUBSTATION CONTROL BUILDING

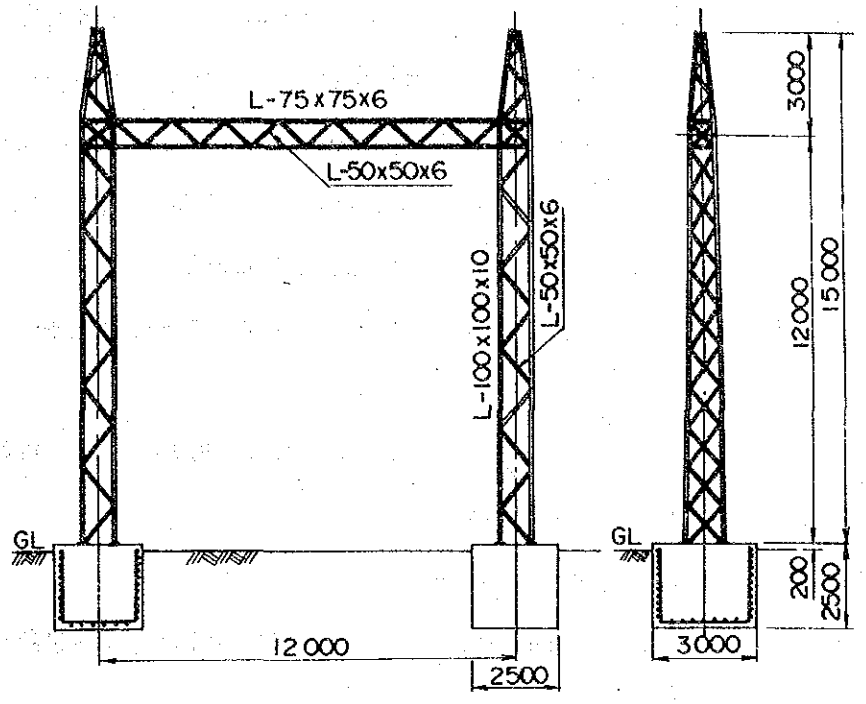
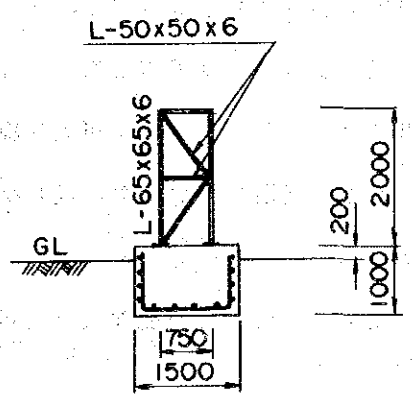
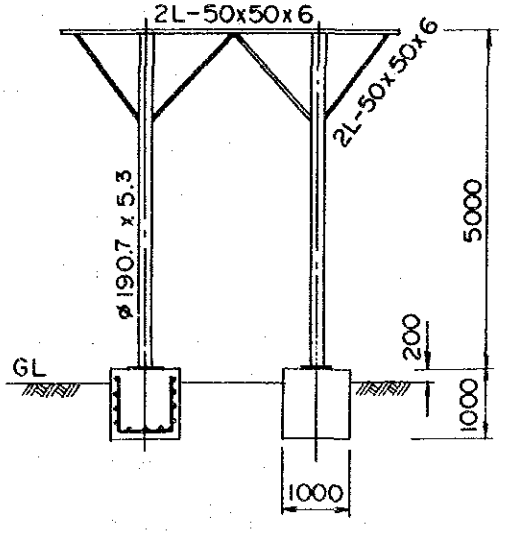


Fig 6 −17 STEEL STRUCTURE (132kV)



STRUCTURE for CT· CVT· SA



STRUCTURE for PIPE BUS

Fig 6 −18 SUPPORT STRUCTURE for INSTALLATIONS at SHARPEVALE SUBSTATION

6－4　既設発電所および既設変電所の増設計画

6－4－1　既設発電所および既設変電所の増設規模

本計画の送電線を引き込むため、次の変電所の増設を行う。

- Nkula　B発電所　　132kV　1回線引き込み設備
- Lilongwe B変電所　　132kV　1回線引き込み設備

増設部分の回路構成については Fig 6-8、6-9 、6-14および6-15を参照されたい。

(1)　増設規模の回路構成

Nkula B発電所および変電所と、Lilongwe B変電所の増設部分の単線結線図は Fig 6-8 および 6-14 に示す通りとする。

(2)　増設規模の一般機器配置図

Nkula B発電所およびLilongwe B変電所の増設部分の電力用機器配置平面図は Fig 6-9 および 6-15 に示す通りとする。

6－4－2　既設設備との協調

(1)　Nkula B発電所

Nkula B発電所の開閉所には既に本計画の送電線を引き込めるよう引込みベイが設けてあり 132kV機器が設置してある。本送電線用の引き込み用機器も供給するため、これらの機器は本計画で供給されることになる。ただし、極力使用可能な機器、設備は利用するものとし、本計画の機器仕様に合わない機器についてのみ取り替えることとする（遮断機、CTが取り換え機器に該当する）。

引き込み鉄構の設置および架線も終わっているため、これらは可能な限り利用することとする。

132kV 線路保護継電器も既に発電所内継電器室の盤に実装して設置してあるが、本計画にて購入する継電器のメーカーが異なった場合には、この継電器は盤ごと取り替えることを考慮する。

引き込みベイ機器の操作、計器盤も既に実装して設置してあるので使用可能な回路、計器は流用することを考慮する。

機器基礎、ケーブルダクトも完成しているため、これらをなるべく利用する。

(2)　Lilongwe B変電所

本計画の送電線引き込み用ベイが確保してある。しかし屋外鉄構の一部（ポスト

1脚、ビーム1本）が既に設備してあるので増設に際してはこの鉄構を考慮に入れた設計が必要となる。

制御室内には送電線用保護継電器および操作計器盤のスペースが確保されている。

機器基礎、ケーブルダクトの新設は必要に応じて行う。

6－5　通信システムの予備設計

6－5－1　設備概要

本計画における通信設備の概要は次の通りである。

機　種	仕　様	Nkula B 発電所	Sharpevale 変電所	Lilongwe B 変電所
電力線搬送装置	2CH, 40dBm	2台	4台	2台
ﾌﾞﾛｯｷﾝｸﾞｺｲﾙ	600Ω, 800A	2台	6台	2台
ｷｬﾘｬｰﾘﾚｰ用信号伝送装置	200ボー送受信装置	1台	2台	1台
ﾌｫﾙﾄﾛｹｰﾀ	C型	—	1台	—
自動交換機	50回線	1台	—	—
〃	20回線	—	1台	1台
VHF基地局	100W	—	1台	—
VHF車載用	80W		2台	
VHF携帯用	1W	—	4台	—
テレメータ	端末機器とその対向	1対向	1対向	1対向

6－5－2　回線構成

給電指令ならびに本計画の保安、保守上必要とする通信回線を次の通り構成するものとする。通信回線図をFig 6-19に、PLC 回線図をFig 6-20に示す。

(1)　給電用電話回線

Nkula B発電所～Sharpevale変電所, Nkula B発電所～ Lilongwe B変電所および、Sharpevale変電所～Lilongwe B変電所間を結ぶ給電用電話回線を各1回線構成する。

(2)　業務用電話回線

Nkula B発電所に50回線自動交換機を設置するとともにSharpevale変電所およびLilongwe B変電所に各20回線自動交換機を設置し、これらをNkula B発電所～Sharpevale変電所およびSharpevale変電所～Lilongwe B変電所間を各電力線搬送電話回線2チャンネルにより結び構成する。

(3)　送電線保護用信号伝送回線

送電線の事故を早急に除去するとともに自動再閉路ができるよう方向比較距離継

電システムを設置する。このため電力線搬送装置に電話チャンネルの他、信号伝送用チャンネルを設け、これを伝送路とするキャリャリレー用信号伝送回線を構成する。

(4) 送電線保守用ＶＨＦ電話回線

本送電線保守用としてSharpevale変電所に30ＭＨｚ帯ＶＨＦ基地局を設置し、これに対向する車載無線機２台、携帯無線機４台を納入する。基地局用 VHFアンテナも設置されるがその概要を Fig 6-21 に示す。

(5) フォルトロケータ

送電線の事故復旧の迅速化を図るためSharpevale変電所にＣ型フォルトロケータを設置し、Sharpevale変電所～Nkula Ｂ発電所間およびSharpevale変電所～Lilongwe Ｂ変電所間送電線の事故点標定を行う。

(6) テレメータ

中央給電指令所を中心とする既設ＳＣＡＤＡ方式のテレメータシステムに今回新設する変電設備の監視システムを追加する。

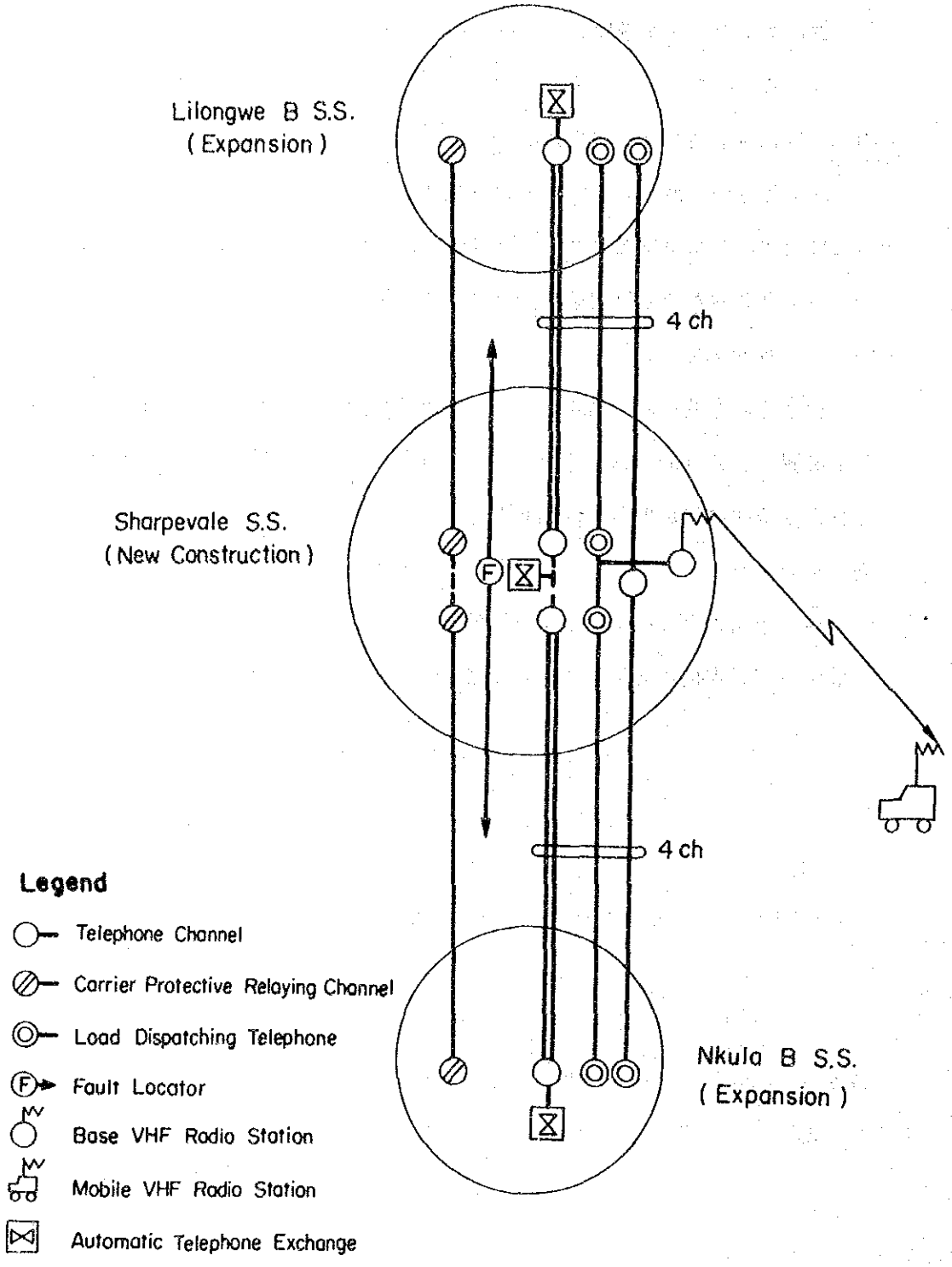


Fig 6 – 19 **Telecommunication Circuit Diagram**

NKULA B – LILONGWE B : TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT

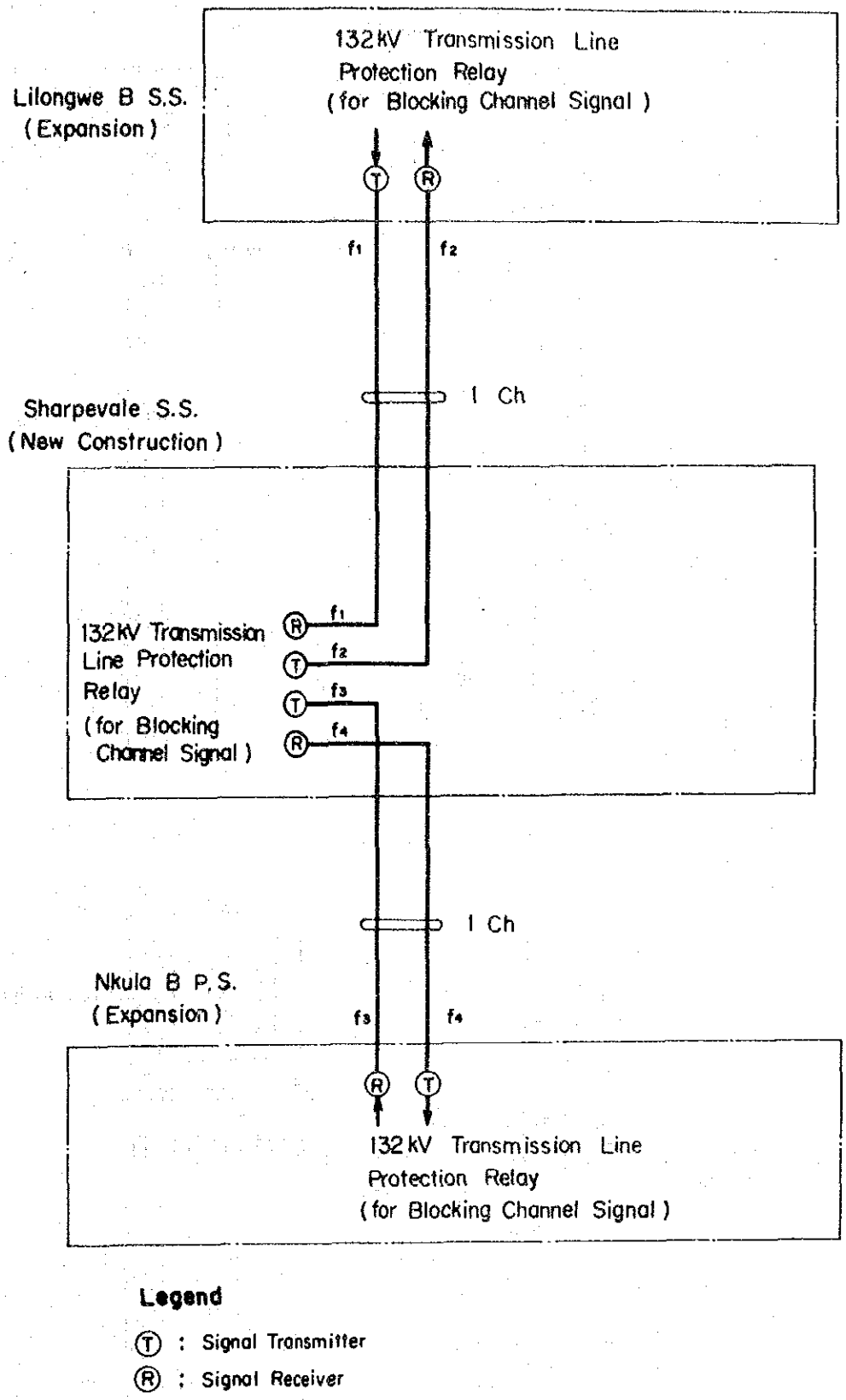


Fig 6 –20 **Power Line Carrier Protective Relaying System Diagram**

NKULA B – LILONGWE B : TRANSMISSION LINE
CONSTRUCTION PROJECT

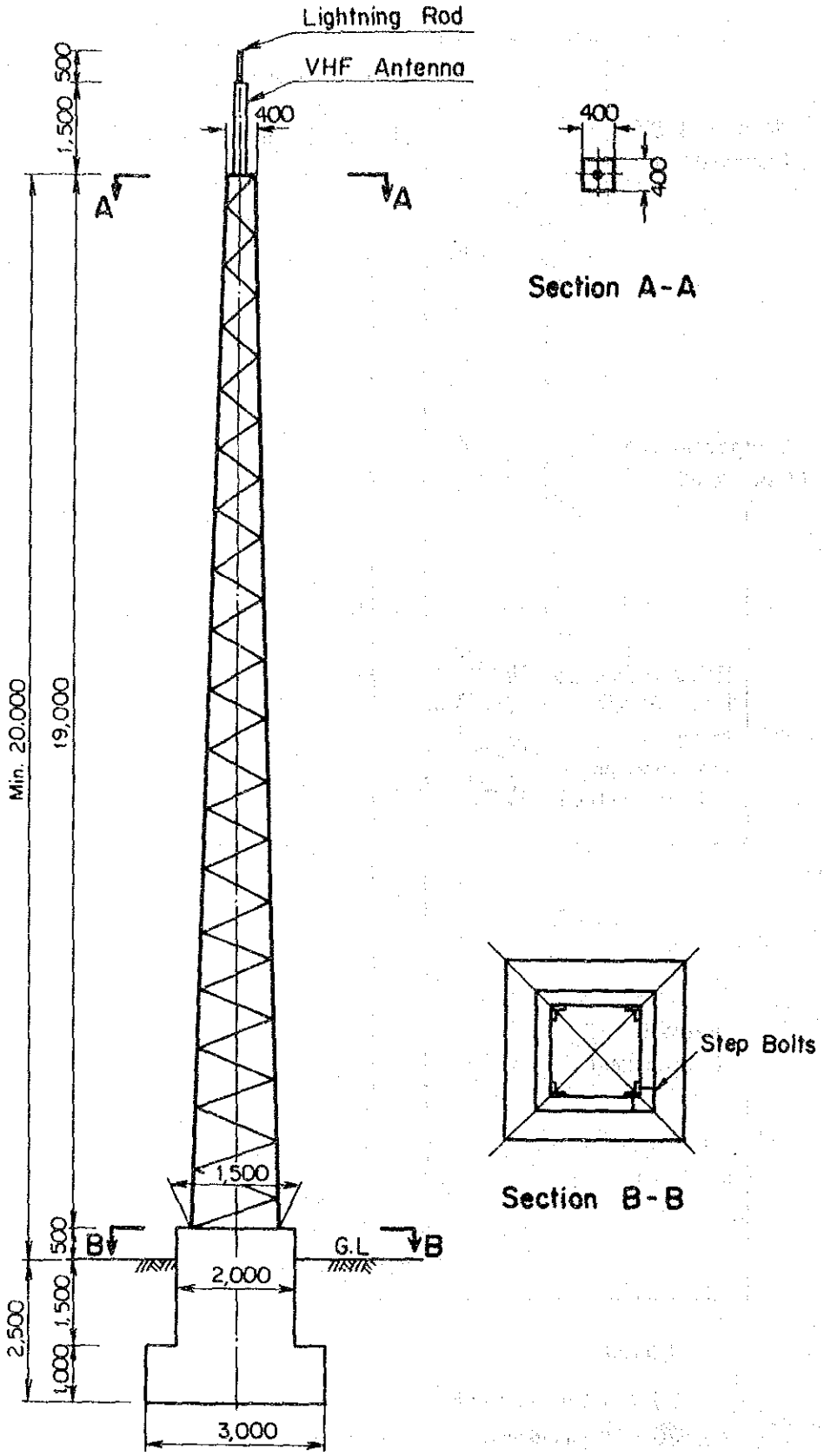
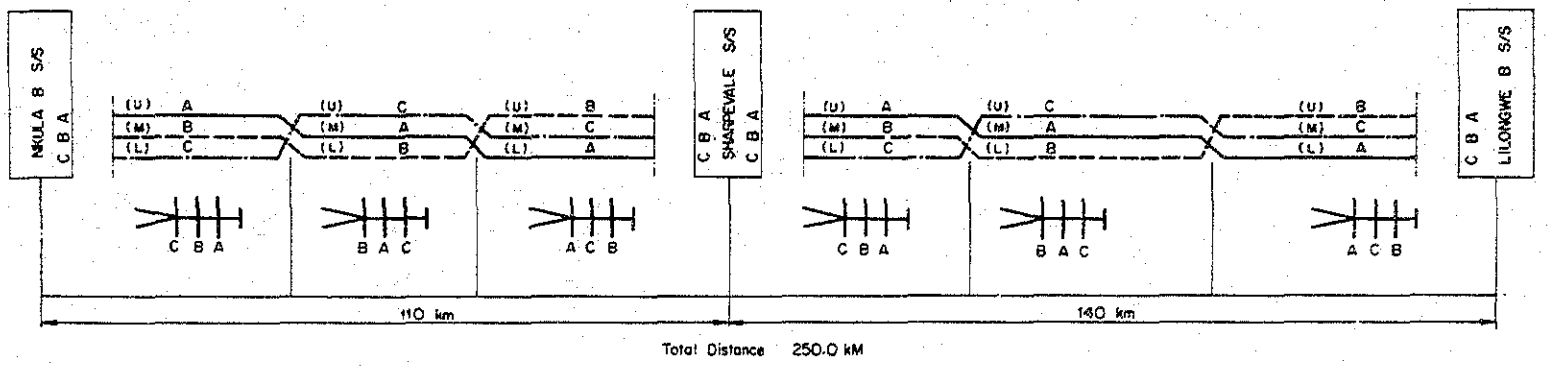


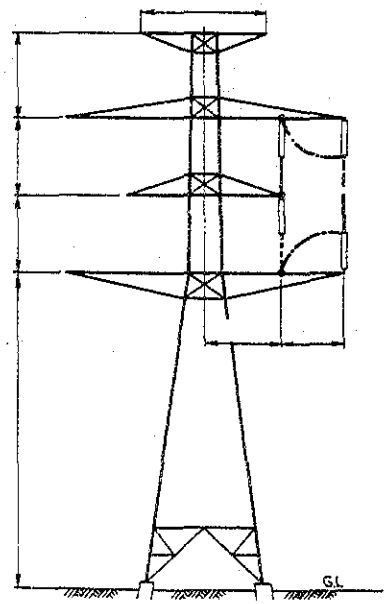
Fig 6 – 21 **VHF Antenna Tower**

NKULA B – LILONGWE B : TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT

PHASE ROTATION

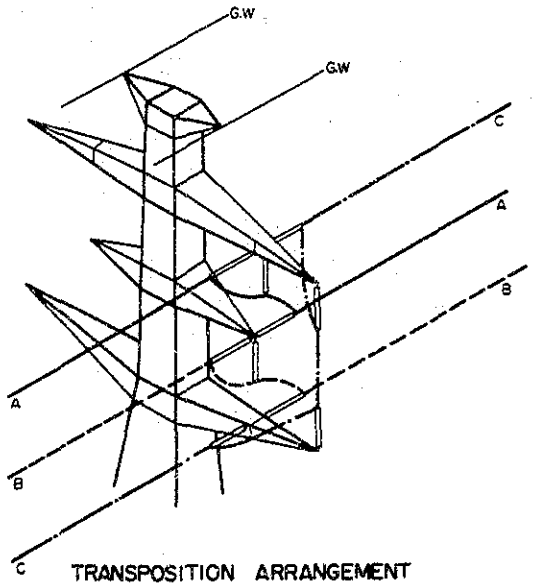


Total Distance 250.0 kM



TRANSPOSITION STRUCTURE

Mounted on Type DS2 Tower



TRANSPOSITION ARRANGEMENT

LEGEND

1) Phase
- ——— : Phase A
- - - - : Phase B
- —·— : Phase C

2) Crossarm
- U : Upper Crossarm
- M : Middle Crossarm
- L : Lower Crossarm

Fig 6 —22

TRANSPOSITION SYSTEM

第7章　電力系統解析

第７章　電力系統解析

第６章のプロジェクト実施計画をもとに、次に述べる電力潮流、安定度、短絡容量、電圧改善対策の検討を行った。結論としては本計画の送電線による南部電源地域と中部電力系統の連系は潮流上十分初期の目的である電力（30MW）を１回線送電線（２回線設計１回線架線）にて融通する事が可能であり安定度上、短絡容量上も特に問題になることはない。

電圧保持の面では、系統解析の結果では Chichiri 発電所端の電圧降下が懸念される結果となっている。

７－１　電力系統解析のための前提条件

電力系統解析に必要な基礎的諸元は下記によった。

－対象年　1992年、1994年、1997年、1999年、2005年

－発電機、送電線の系統投入時期

・1992年　Nkula Ｂ－Sharpevale－Lilongwe Ｂ間　132kV 送電線１回線完成
　　Nkula Ｂ発電所　７号機(20MW)完成

・1994年　Tedzani Ⅲ発電所　2×25MW　発電機完成、Salima-Nkhotakota-Chintheche間の132kV昇圧完成

・1997年　Kapichira　2×25MW完成、Blantyre West-Mapanga 間66kV送電線完成

・1999年　Kapichira　3×25MW増設完成、Blantyre West-Chichiri間66kV送電線完成

・1999年　Nkula Ｂ－Sharpevale－Lilongwe Ｂ間 132kV送電線１回線増架完成

－対象電力系統の構成

電力系統の解析を行うにあたって132kV、66kVおよび33kV系統の発電、送電、変電設備をFig ７－１～ Fig ７－３の様に模擬した。

－変電所端における電力需要

ピークロード：　Fig ７－４～ Fig ７－８参照

－負荷力率　：　0.9

－機器定数　：　Table ７－１、Table ７－２参照

－線路定数　：　Table ７－３参照

－基準電圧

Tedzani 発電所発電機出力電圧を105%一定として各電気所端の電圧を算出した。

7－2　潮流計算

1992年、1994年、1997年、1999年、2005年の需要想定に基づいてピーク時の潮流計算を行った。

その結果を Fig 7－4～ Fig 7－8に示す。

(1)　電力潮流

a)　1992年時点

本計画送電線の Lilongwe B変電所とNkula B発電所間の潮流はピーク時Nkula B発電所からLilongwe B変電所へ18.3MW～15.9MW程度の電力が流れる。最も重潮流となるのはNkula A発電所から Chichiri 発電所間で21.2MW程度である。

b)　1994年時点

Tedzani Ⅲ発電所の完成（25MW×2台）により本計画送電線の潮流は26.1MW～22.7MWに増加する。

重潮流の個所はやはりNkura A発電所から Chichiri 発電所間で24.9MW程度である。

また、Nkula A－Lilongwe A間 66kV 線はこの時点で10.5MWとなり過負荷となる。Fig 7－9参照。

従って、この時点でDedza－Lilongwe A変電所間の線路を開放する運用を行う。

開放後の潮流図は Fig 7－5参照。1994年に Salima-Chinteche 間の66kV送電線が132kVに昇圧される。

c)　1997年時点

Kapichira 発電所の完成（25MW×2台）により本計画送電線の潮流は32.5MW～28.2MWに増加する。重潮流の個所はやはりNkula A発電所からChichiri発電所間で26.6MW程度である。

d)　1999年時点

Kapichira 発電所の増設（25MW×3)完成の年度であり、送電信頼度の向上を図るため本計画送電線の2回線目の増架を行う事とする。

増架された本計画送電線の潮流は47.2～42.4MW（1回線当たり23.6MW～21.2MW）である。

e) 2005年時点

1989年現時点の電源開発計画で計画されている新規電源は1999年の Kapichiraの5号機増設までである。この時点の総設備容量は319MW となっている。

需要予測では2003年時点で305.5MW となっており全系統の送電ロス分21MW(約7%)考慮にいれると、所要発生電力は326MW となり不足する。今回はKapichira 発電所の出力が2005年時点の必要電力および送電ロス分をカバーする様出力増が出来るものと仮定して本計画送電線の潮流計算を行った。この仮定のもとでの本計画送電線の潮流は 89.2MW ～79.4MW（1回線当たり44.6～39.7MW）となっている。

(2) 潮流ネック

a) 送電線

・1992年時点において、特に過負荷になる送電線はない。

・1994年からはNkula A発電所から Dedzaへ向かう66kV送電線が過負荷になるので、Dedza － Lilongwe A間の連系を切離す必要がある。

・1999年時点において Kapichira発電所の増設 (25MW×3)が完成するがこれの発生電力を送るKapichira-Blantyre West 間の132kV 送電線およびBlantyre West-Chichiri間66kV送電線が過負荷となる。

b) 変圧器

変圧器については各変電所毎にピーク時潮流状態において過負荷となるか検討した。

その結果1992年から1999年時点において全ての変電所において過負荷となる変圧器はない。

(3) 電圧調整

電圧調整は無効電力のバランスをいかに調整するかであり発電機、調相設備、変圧器のタップにより電圧調整が行われる。

本計画の受電端であるLilongwe B変電所には電圧を維持出来る無効電力の発生源がないこと、接続される66kV送電線の電圧降下が大きいことなどから66kV母線電圧は低くなっていた。

しかし、本計画送電線が建設される1992年時点では本送電線にのる電力が少ないことから、Lilongwe B変電所端の電圧は送電線の静電容量による影響を受け電圧低下

は心配の無い結果となっている。1994年以降は需要増による影響で電圧が低下しているが電力用コンデンサーを設置する必要はない。

しかし、Chichiri端においては負荷の増加に伴い電圧の低下が生じており、Chichiri への送電線の見直し、適切な容量の電力用コンデンサー設置の必要が生じている。

また、北部系統については、1994年に既設 Salima-Chinteche 間66kV送電線が132kVに昇圧されるため電圧面では大きく改善されている。Nkhotakota, Chinteche の母線電圧は夜間軽負荷時には電圧が上昇するため132/66kV変圧器の Tapによる電圧調整を行う必要が生じるケースもあろう。

各年度の特定の変電所の母線電圧、66kVおよび33kV、を95%に維持するためには下記の容量の調相設備の設置を検討する必要があろう。

調相設備容量と設置箇所

[MVar]

変　電　所　名	1992年	1994年	1997年	1999年
Lilongwe B (66kV母線)	△11.5	△ 2.3	2.9	0.1
Chichiri (66kV母線)	10.6	18	24	14.2
Nkhotakota (66kV母線)	△ 5.5	△ 9	△11	△ 9
Mtunthawa (66kV母線)	2.5	3.3	4.1	5
Dwangwa (33kV母線)	0.8	1.0	1.2	1.7
Chintheche (66kV母線)	△ 1.1	△ 9.6	△ 9.5	△10.5
Chibaka (33kV母線)	0.8	1.1	1.5	1.8
Chikangawa (66kV母線)	1.7	2.3	2.9	3.7
Mzuzu (66kV母線)	1.7	2.3	2.9	3.6
Nkota bay (33kV母線)	2.8	3.6	4.4	5.4

注)　△は分路リアクトル容量を意味する。

7－3　安定度計算

(1)　安定度計算は本計画送電線の電力需要が最大となる1999年時点で検討することとし、Tedzani Ⅲ－Nkula B 132kV送電線区間およびSharpevale－Lilongwe B 132kV送電線区間で故障が発生する事を想定して行う事とした。想定する事故はそれぞれの送電

線に３相短絡事故を想定し事故発生後５サイクルで事故除去し、３秒間過渡安定度の計算を行い全発電機が脱調しなければ安定運転が可能であると判断することとした。

(2) 安定度計算の結果

安定度計算結果はスイングカーブ Fig ７－１０～Fig ７－１１に示されている。

以上の結果から両地点の故障ケースにおいてもいずれも安定であり、各発電所の発電機は安定運転が可能である。

７－４ 短絡容量

(1) 1999年ピーク時点での３相短絡容量を Fig ７－１２に示す。

なお、発電機リアクタンスはｘｄ”を使用し、すべての発電機が系統に入っているものとして計算を行った。

(2) 短絡容量計算結果

検討の結果、132kV変電所の132kV側母線での短絡容量は757MVA(約3.67kA)であり66kV側母線および66kV変電所母線での短絡容量は 665MVA(6.4kA)以下である。

このことから本計画に採用される遮断器の遮断電流は

132kV用遮断器　20kA　(IEC規格　145kV)

66kV用遮断器　12.5kA　(IEC規格　72.5kV)

とすれば充分裕度がある。

７－５ 本計画送電線の増架時期

１回線では現計画の電線では、Lilongwe Ｂ変電所66kV母線に電力用コンデンサー(約57MVar) を設置し電圧改善を行えば62.8MW程度の送電は可能である。ただし、受電端の電圧降下は11.8%となっている。(Fig ７－１３参照)。

しかし、本計画送電線はMalawi国の基幹送電線であり高い送電信頼度を維持することが責務となっている。このことから既設Nkula Ａ発電所－Lilongwe Ａ変電所間66kV送電線の過負荷運転、既設Nkula Ｂ発電所－Lilongwe Ｂ変電所間132kV 送電線の老朽化を考慮に入れるとなるべく早い時期に２回線目の建設を行う必要がある。

1999年時点で電源開発計画にのっているKapichira 水力増設 (3 ×25MW) が完成するとして本計画送電線の１回線時および２回線時における潮流を Fig ７－１４、

Fig 7－7に示す。

1994年時点で Nkula A発電所－Lilongwe A変電所区間の66kV送電線は過負荷となるのでDedzaで分離する必要がある。Dedza －Lilongwe A変電所間で分離した場合の潮流は Fig 7－5にて見ることが出来る。

Fig 7－14の1回線状態ではLilongwe B変電所端に33.0MWの潮流が流れているがNkula B発電所Lilongwe B変電所間の電圧降下は 8.0%を示している。送電線の運用では一般的に受電端の電圧降下を10%以内になる様運用するので、この送電線はほぼリミットに来ているということが出来る。

また、Fig 7－7では本計画送電線に各々23.6MWの潮流がのっている。もしこの時点で1回線故障で1回線が開放された場合残りの1回線には38.2MW程度の潮流がのるが、この電力は前述の様に送電は可能である。

これらの計算結果から2回線目の増架は遅くとも1999年には完了することが良いと考えられる。

7－6 送電ロス低減、電圧改善対策

(1) 送電ロス低減対策

本計画送電線は亘長が250kmと長くかつMalawi国の基幹送電線である事から常時重潮流がのることを考えに入れ送電ロスがなるべく少なくなる様に配慮を行った。

送電線の送電ロスの大部分は電線の抵抗損とコロナ損である。本計画送電線の場合電圧が132kVと低くコロナ損は考慮に値しないことから送電ロスの低減の目的を達成するためには電線の抵抗損を下げることが主たる手法となる。

抵抗損を少なくするためには抵抗の小さい電線つまり同じ材質であれば導体サイズの大きいものを使用すればよい。ここで送電容量(30MW)のみで電線サイズを検討すると159MCM(Guina) 程度が必要であり、この電線のAC抵抗は0.3583Ω/km である。

第6章でのべたとおり 現在採用予定の電線(Peacock,605MCM) を採用することにより Guina を採用した場合の送電ロスを約1/4に低減することができる。

(2) 電圧改善対策

・Lilongwe (B)変電所の66kV母線の電圧は本計画送電線の完成により送電線静電容量の影響で母線電圧はむしろ高めになる。従って夜間軽負荷時には132kV/66kV変圧器

のタップにて電圧調整を行う必要がある。

・Chichiri発電所 66kV 母線端では負荷の増加、集中のため1999年に Blantyre West-Chichiri間に66kV送電線１回線が新設されるにもかかわらず母線電圧は低下し続ける。従って、適切な容量の電力用コンデンサーの設置を必要とする。その数量は７－２ (3)に記した。

・北部系統は1994年に既設 Salima-Chinteche 間66kV線が132kVに昇圧される事により電圧は大幅に改善される結果となっている。

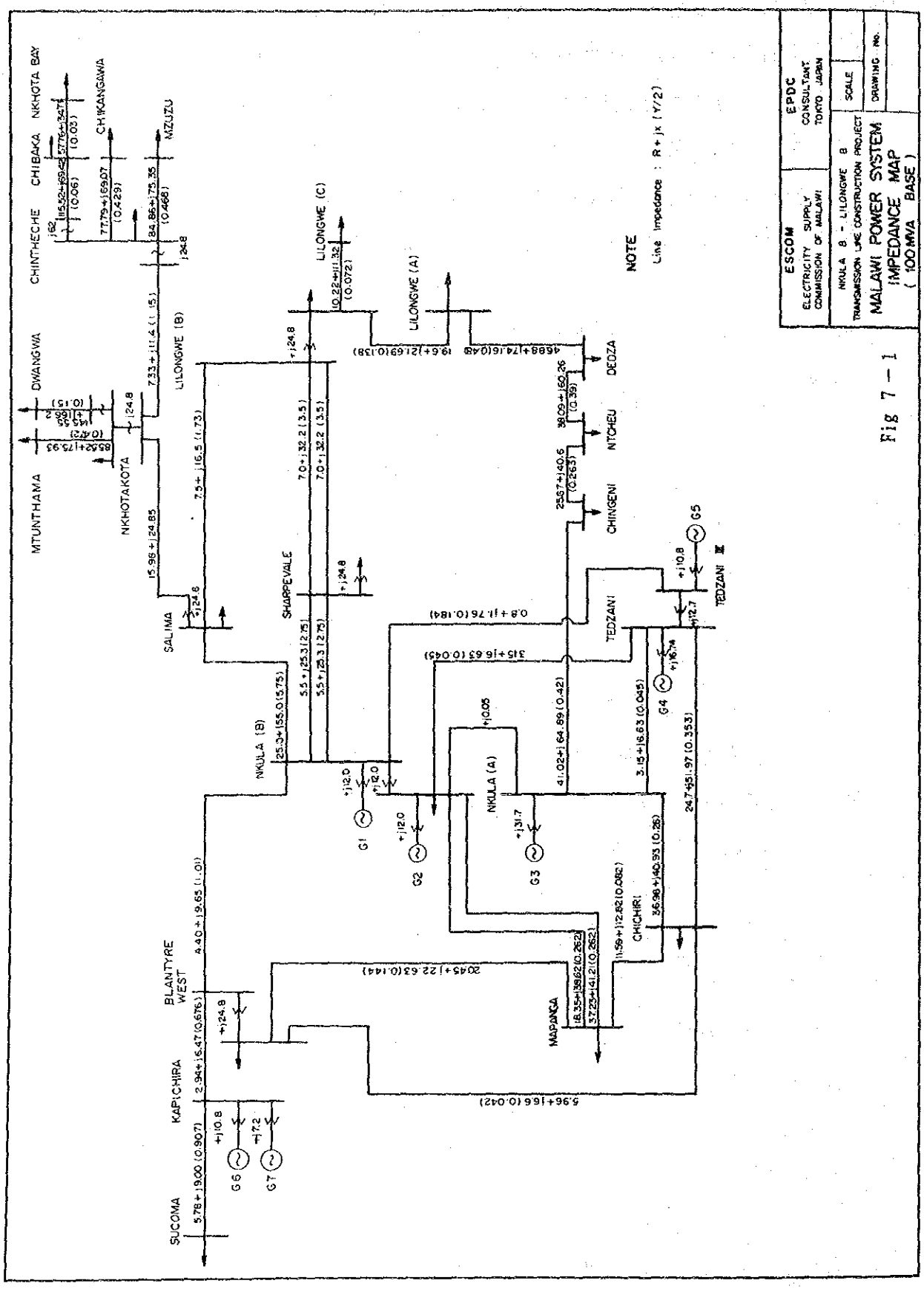

ESCOM
ELECTRICITY SUPPLY COMMISSION OF MALAWI
EPDC
CONSULTANT
TOKYO JAPAN
NKULA B - LILONGWE B
TRANSMISSION LINE CONSTRUCTION PROJECT
MALAWI POWER SYSTEM
IMPEDANCE MAP
(100MVA BASE)
SCALE
DRAWING NO.
NOTE
Line impedance : R + jx (Y/2)
SUCOMA
KAPICHIRA
BLANTYRE WEST
MAPANGA
CHICHIRI
NKULA (A)
NKULA (B)
SALIMA
SHARPEVALE
TEDZANI
TEDZANI II
CHINGENI
NTCHEU
DEOZA
LILONGWE (A)
LILONGWE (B)
LILONGWE (C)
NKHOTAKOTA
MTUNTHAMA
DWANGWA
CHINTHECHE
CHIBAKA
NKHOTA BAY
CHIKANGAWA
MZUZU
G1
G2
G3
G4
G5
G6
G7

Fig 7 – 1

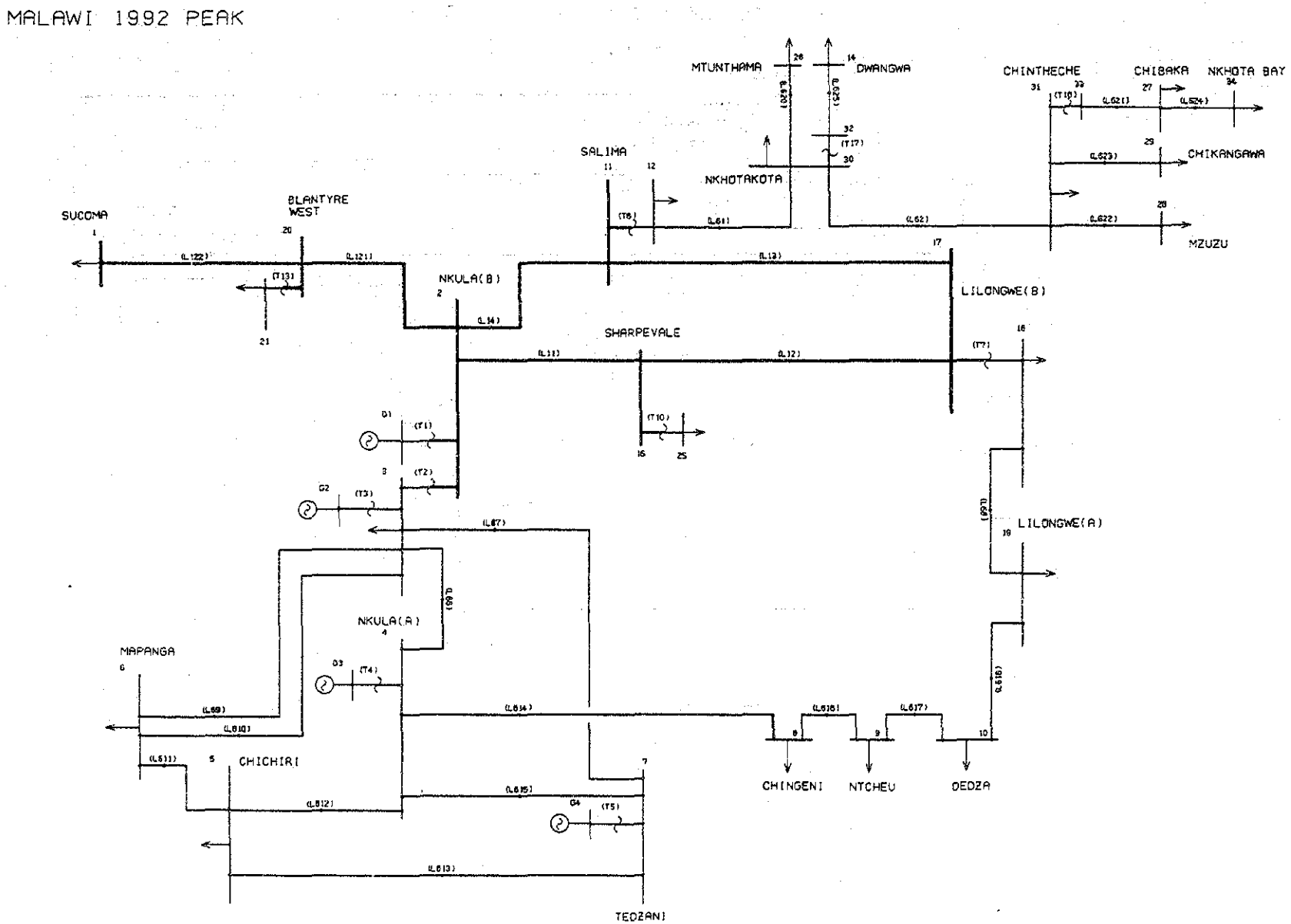


Fig 7−2 Node Blanch in 1992 Peak

MALAWI 1999 PEAK CASE-1

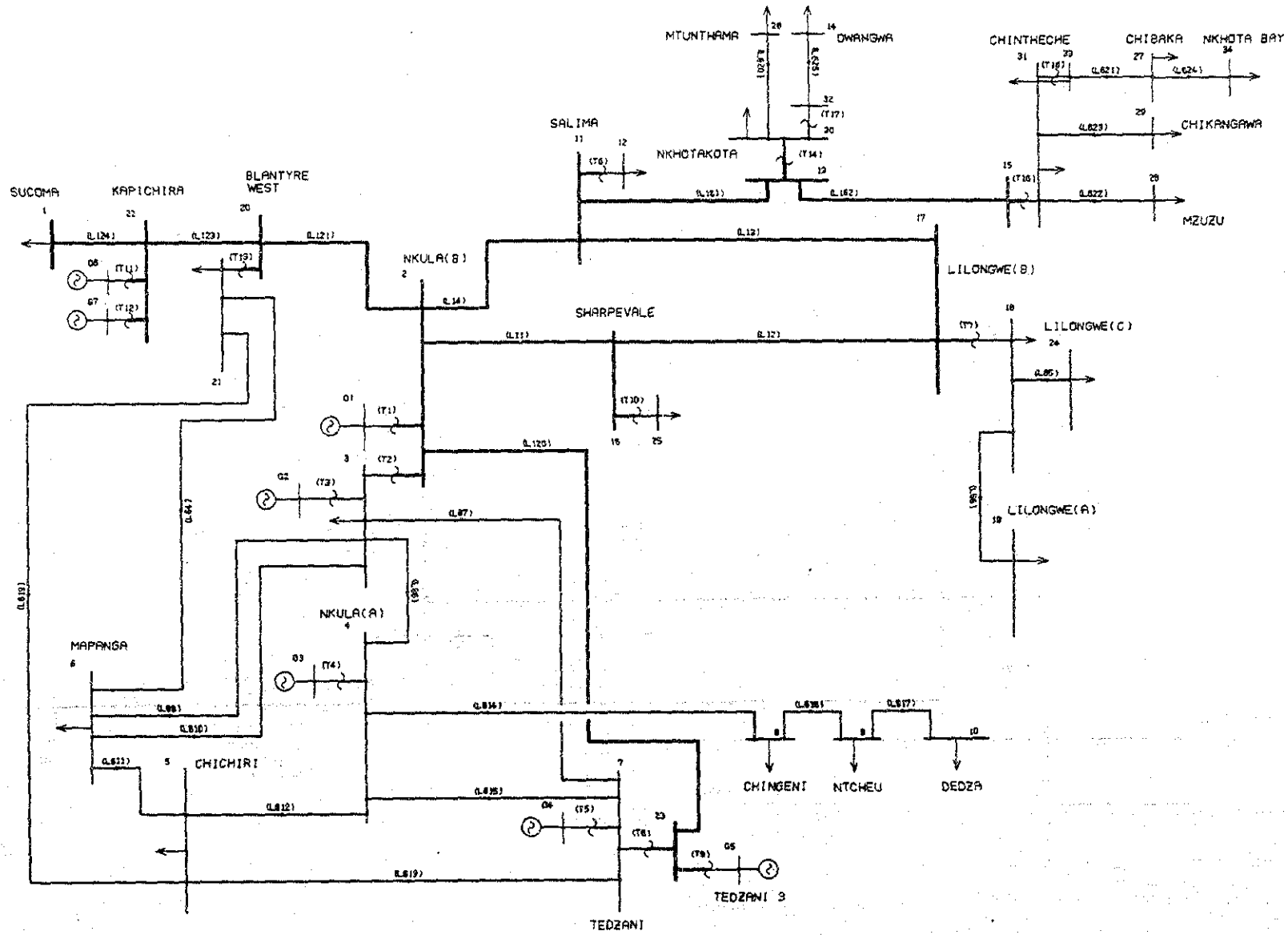


Fig 7−3 Node Blanch in 1999 Peak Case−1

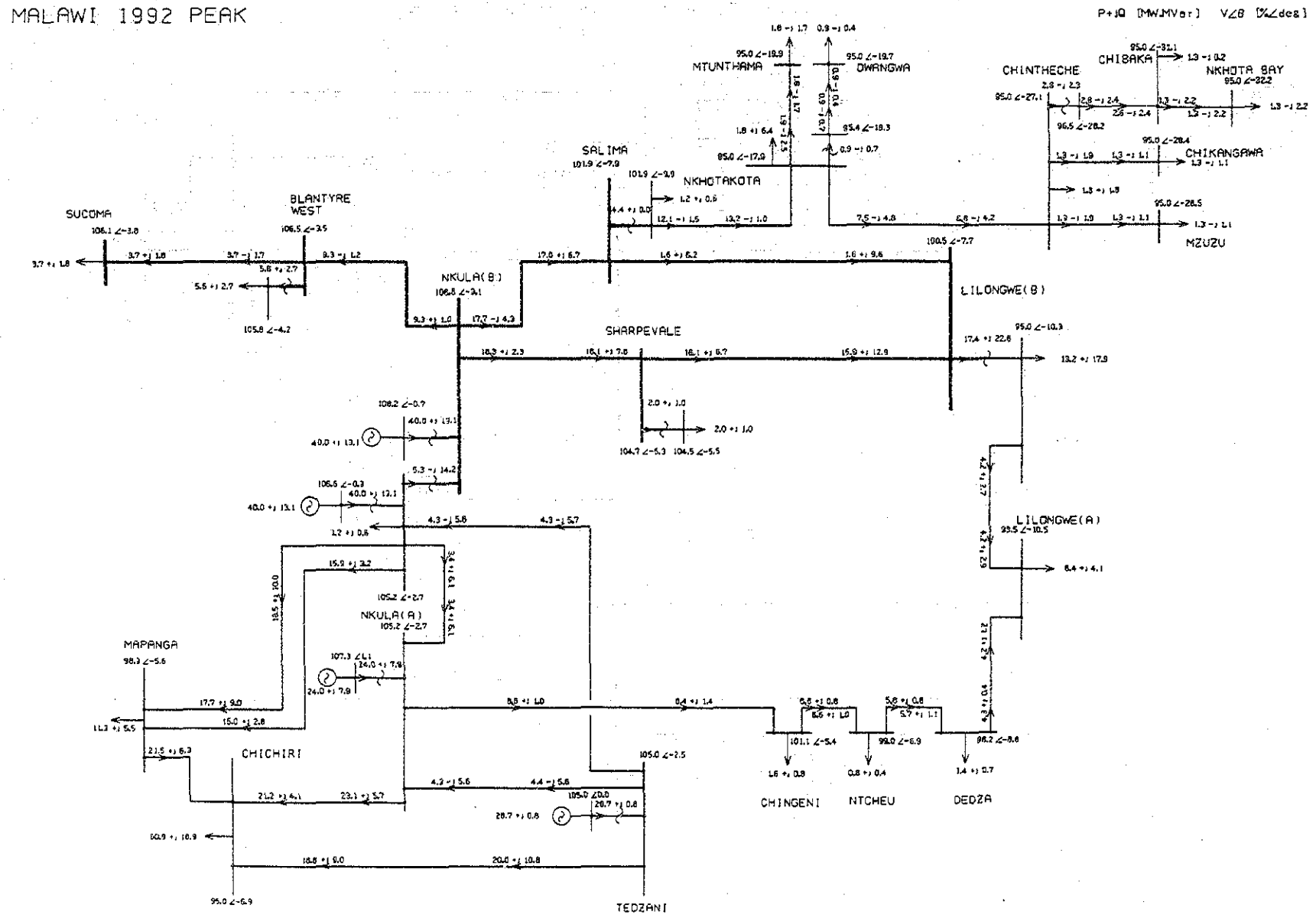


Fig 7－4 Power Flow in 1992 Peak

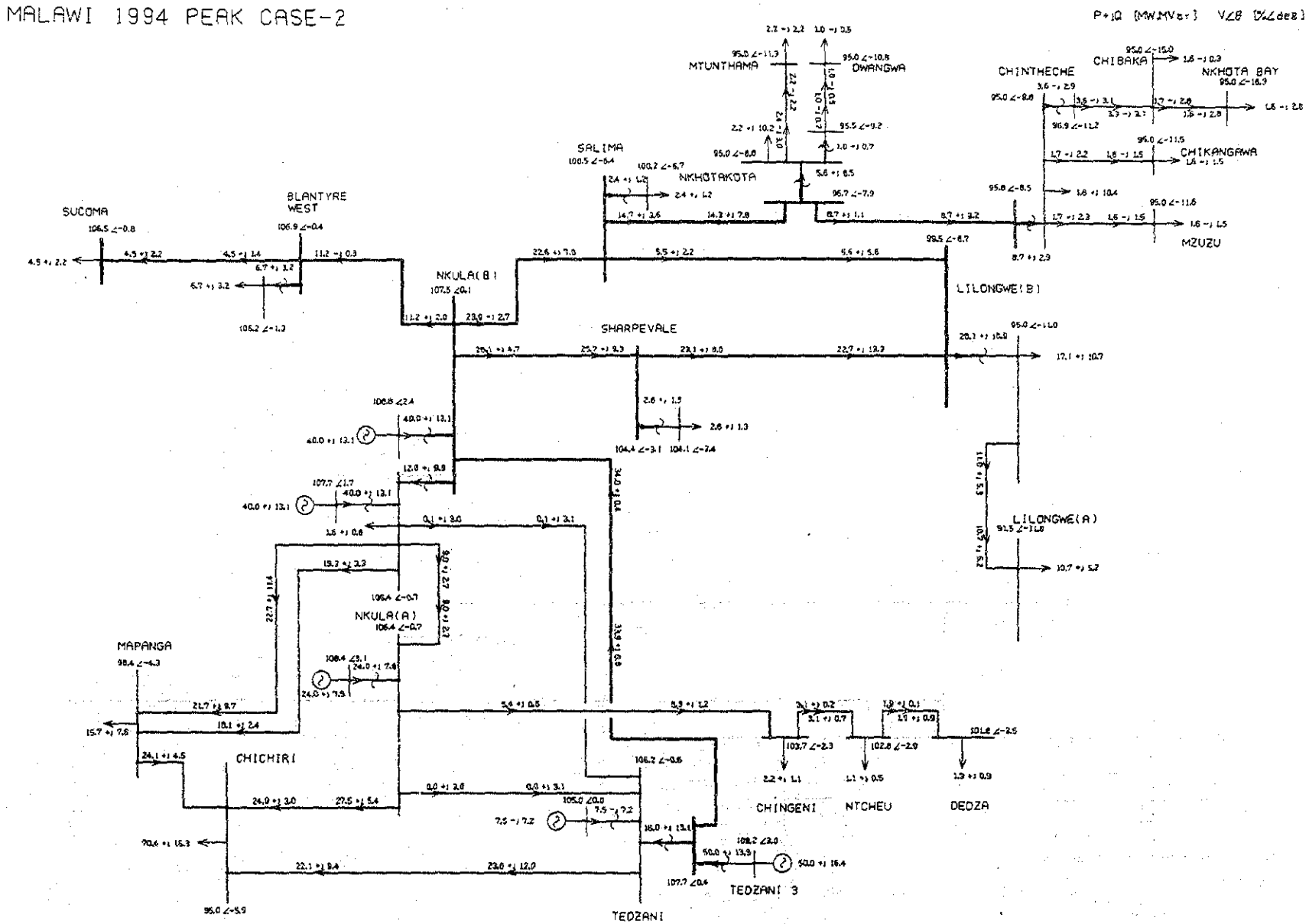


Fig 7−5 Power Flow in 1994 Peak Case−2

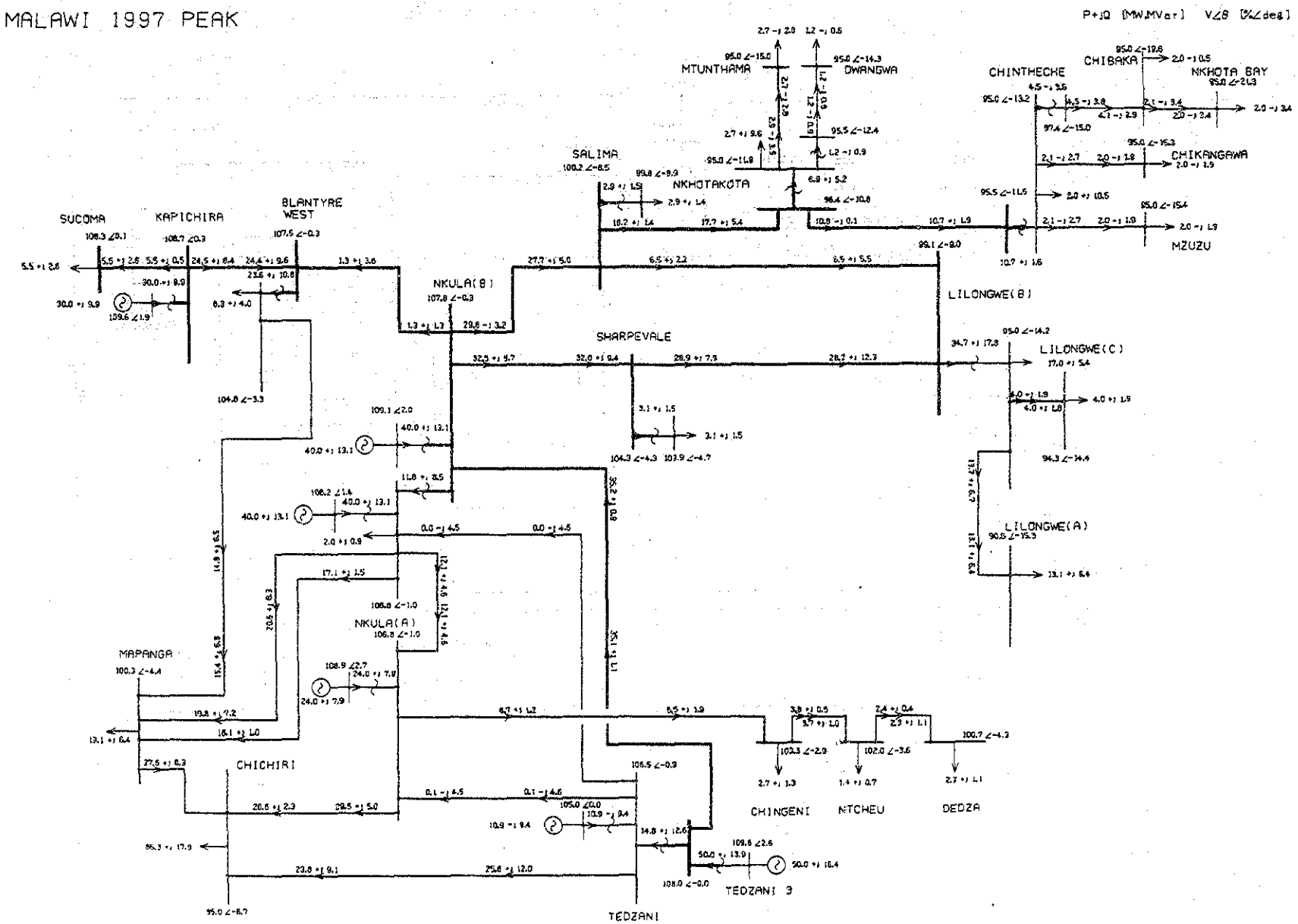


Fig 7−6 Power Flow in 1997 Peak

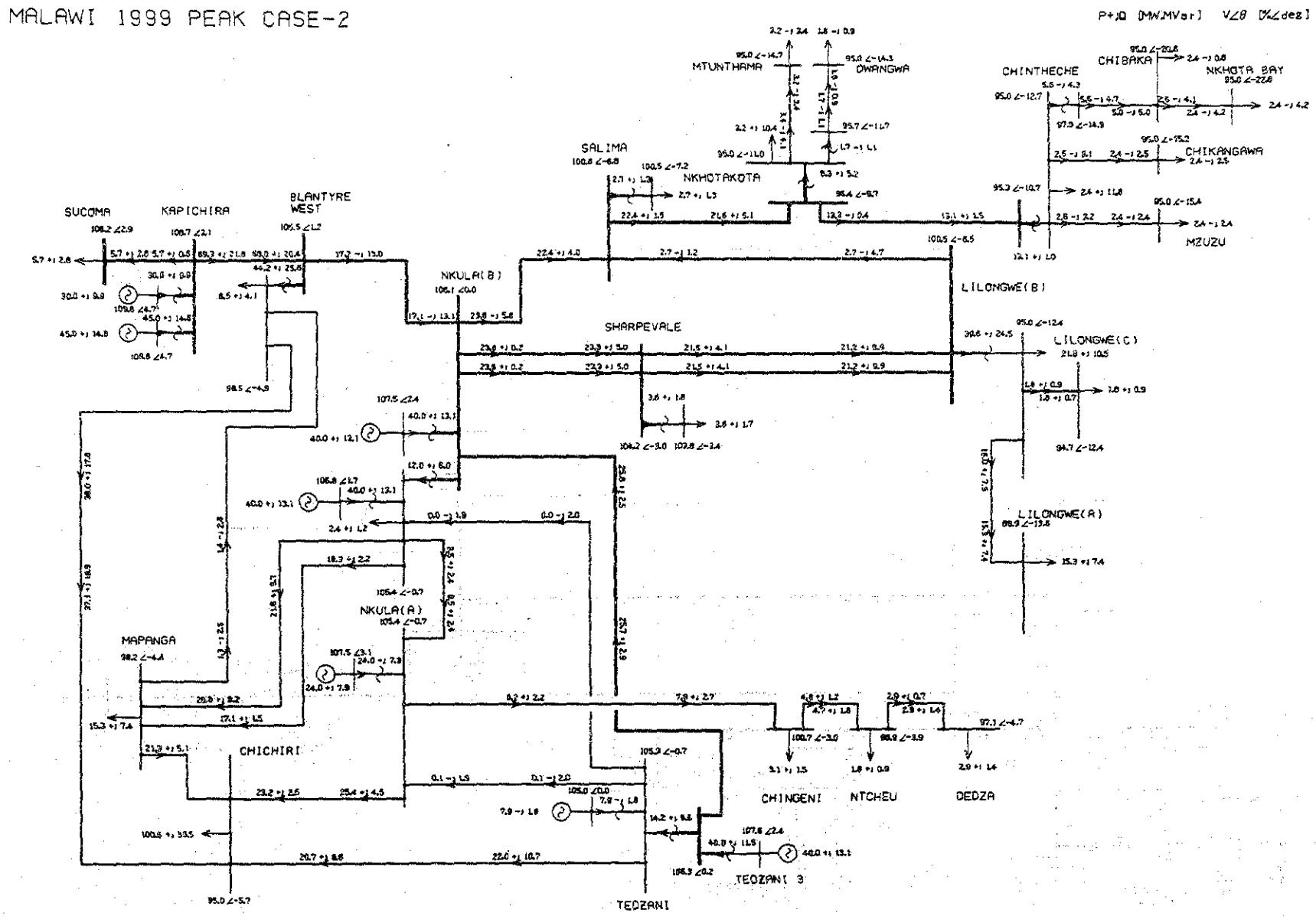


Fig 7−7 Power Flow in 1999 Peak Case−2

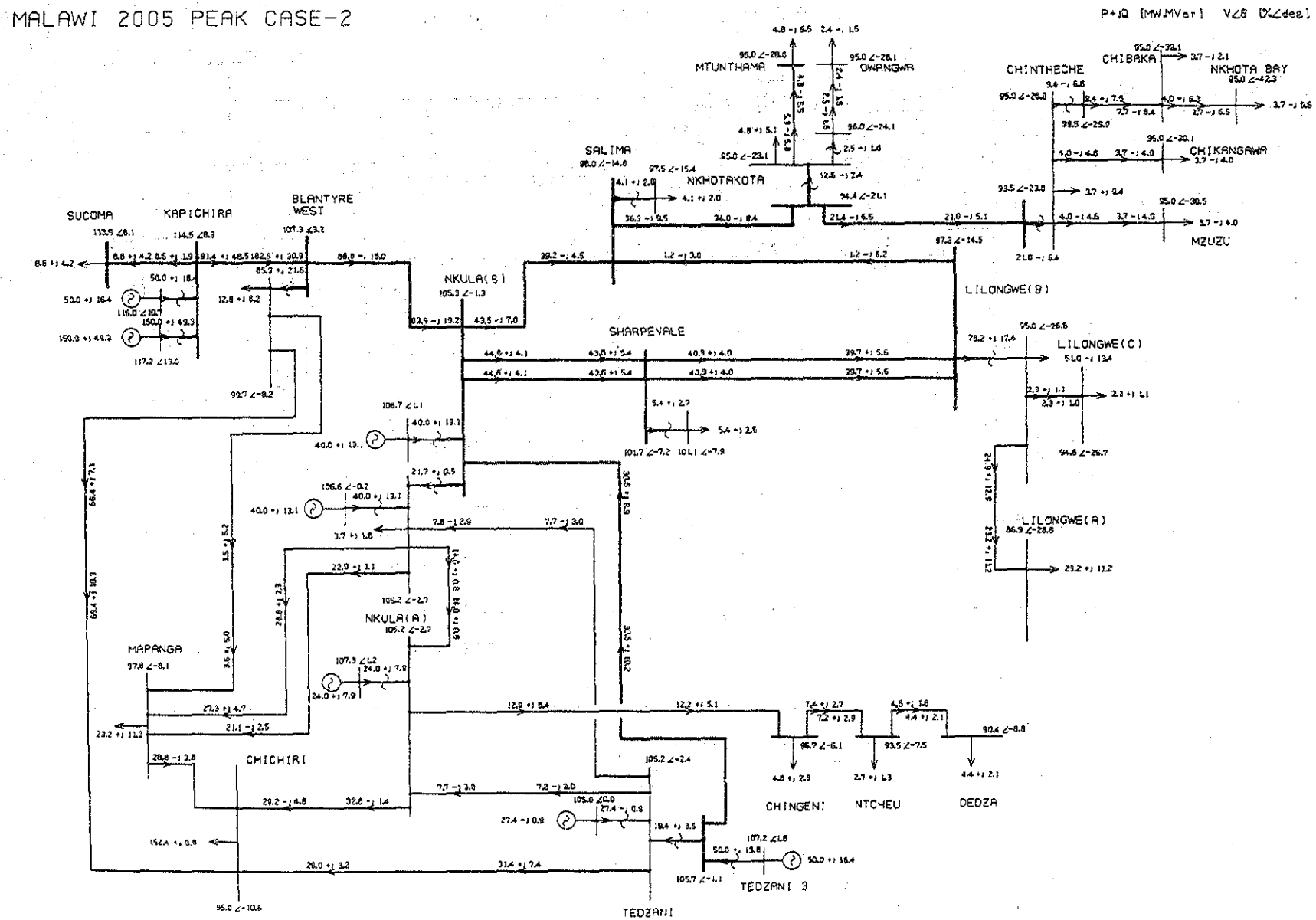


Fig 7−8 Power Flow in 2005 Peak Case−2

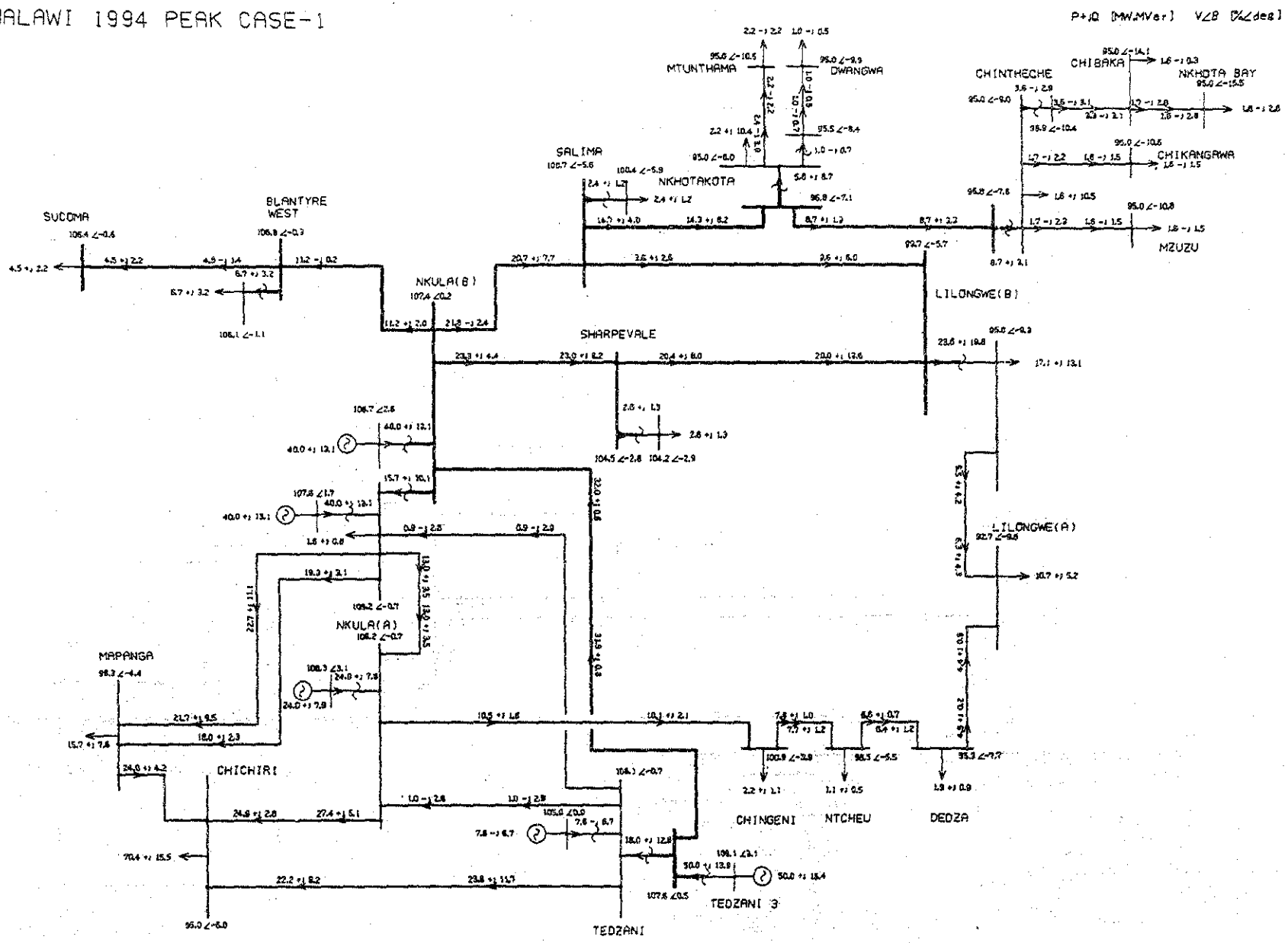


Fig 7−9 Power Flow in 1994 Peak Case−1

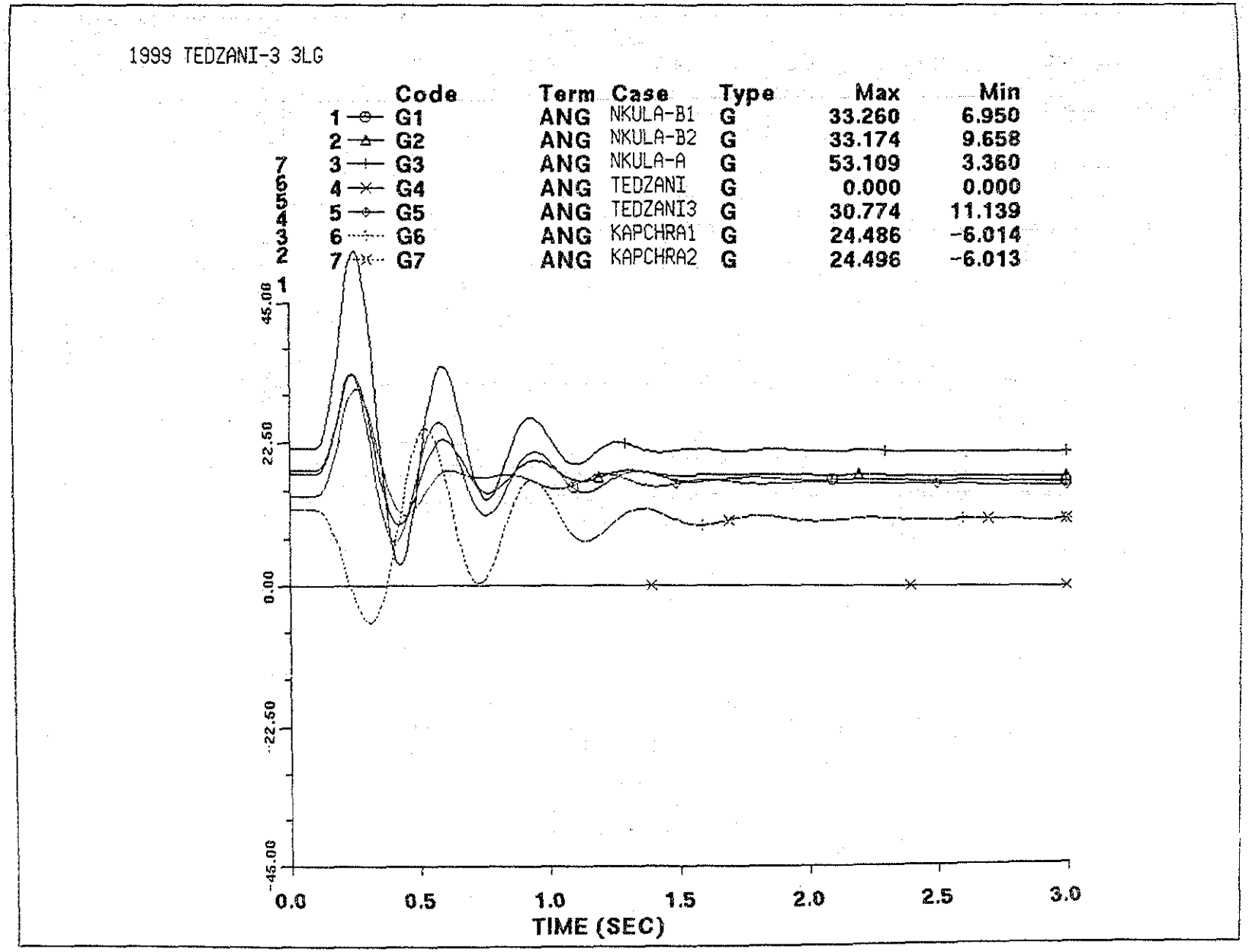

1999 TEDZANI-3 3LG
Code Term Case Type Max Min
1 G1 ANG NKULA-B1 G 33.260 6.950
2 G2 ANG NKULA-B2 G 33.174 9.658
3 G3 ANG NKULA-A G 53.109 3.360
4 G4 ANG TEDZANI G 0.000 0.000
5 G5 ANG TEDZANI3 G 30.774 11.139
6 G6 ANG KAPCHRA1 G 24.486 -6.014
7 G7 ANG KAPCHRA2 G 24.496 -6.013
45.00
22.50
0.00
-22.50
-45.00
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
TIME (SEC)

Fig 7 −10

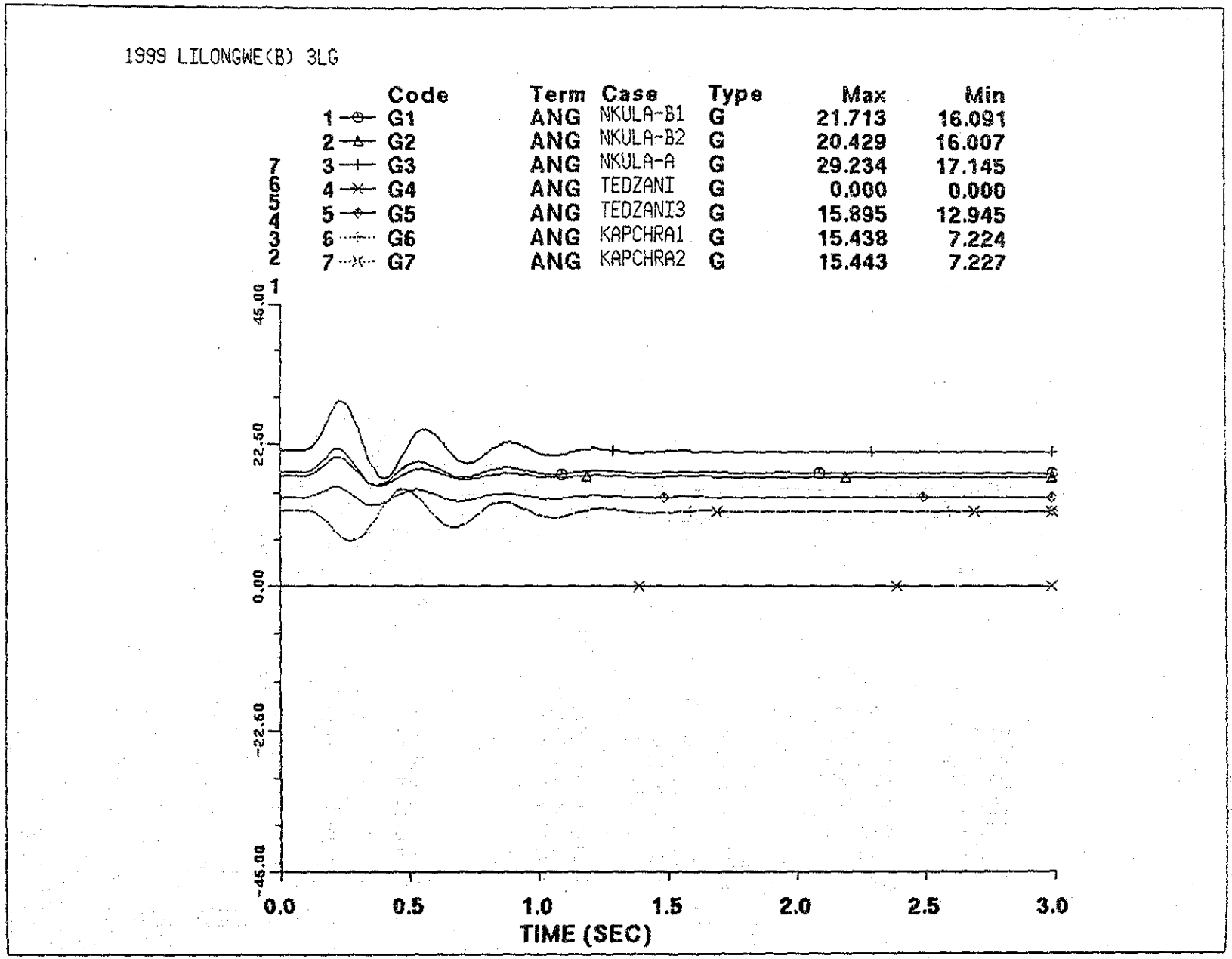

1999 LILONGWE(B) 3LG
Code Term Case Type Max Min
1 G1 ANG NKULA-B1 G 21.713 16.091
2 G2 ANG NKULA-B2 G 20.429 16.007
3 G3 ANG NKULA-A G 29.234 17.145
4 G4 ANG TEDZANI G 0.000 0.000
5 G5 ANG TEDZANI3 G 15.895 12.945
6 G6 ANG KAPCHRA1 G 15.438 7.224
7 G7 ANG KAPCHRA2 G 15.443 7.227
45.00
22.50
0.00
-22.50
-45.00
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
TIME (SEC)

Fig 7 —11

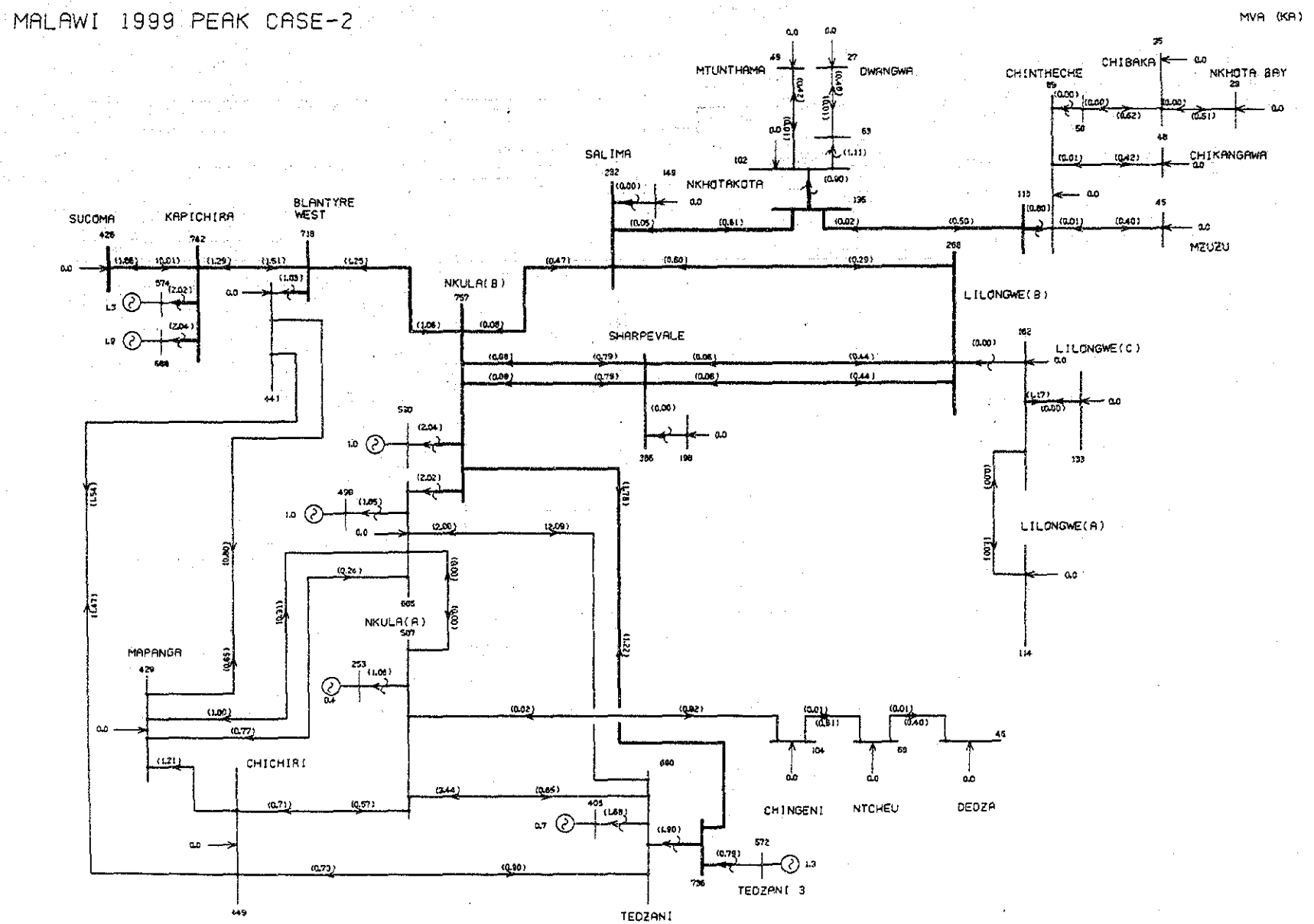


Fig 7−12 Short Circuit Capacity in 1999 Peak Case−2

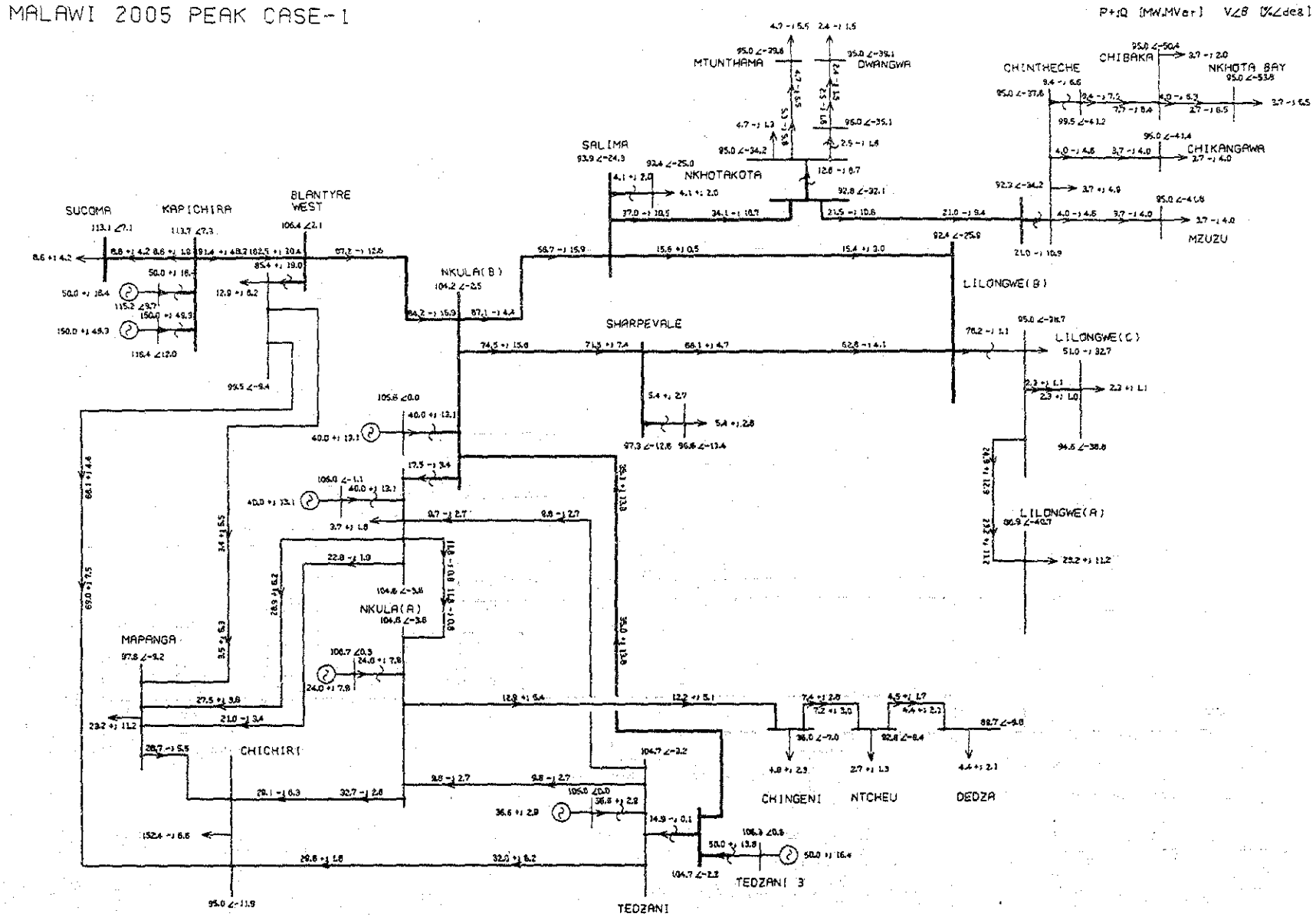


Fig 7−13 Power Flow in 2005 Peak Cose−1

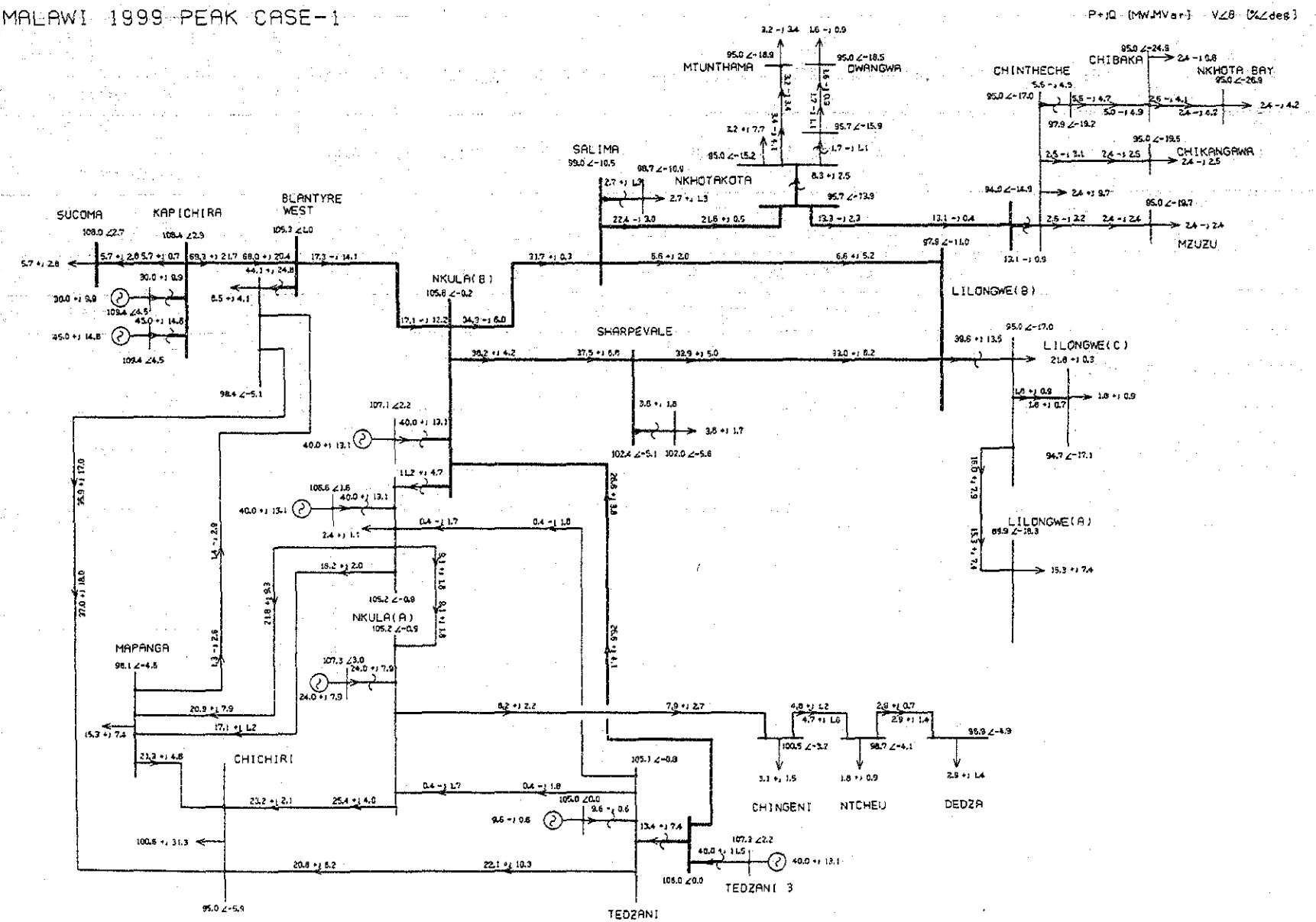


Fig 7−14 Power Flow in 1999 Peak Cose−1

Table 7 − 1 CONSTANT OF GENERATOR AND TRANSFORMER

NORD No	STATION	No	CONSTANT	NOTE
G 1	Nkula (B)	6 7	MW = 20 MVA = 22.2 Xq = 60 Xd = 100 Xd' = 25 Xd" = 17.6 Xℓ = 15 X_2 = Xd" P = 50 Xo = 10 M = 3 Tdo' = 4.0 Tdo" = 0.05 Tqo" = 0.1 To = 0.1 kV = 11	1992 No7 Ge completion
G 2	〃	4 5		
G 3	Nkula (A)	1 2	MW = 8 P = 50 Xq = 70 Xd = 110 Xd' = 40 Xd" = 30 Xℓ = 25 X_2 = Xd" MVA = 8.8 kV = 11 Xo = 18 M = 2 Tdo' = 3.0 Tdo" = 0.05 Tqo" = 0.1 To = 0.1	
		3	MW = 10 P = 50 Other constants are same as G 3 MVA = 11.1 kV = 11	
G 4	Tedzani	1 2 3 4	MW = 10 MVA = 11.11 Xq = 70 Xd = 100 Xd' = 40 Xd" = 30 Xℓ = 25 X_2 = Xd" P = 50 Xo = 18 M = 2 Tdo' = 3.0 Tdo" = 0.05 Tqo" = 0.1 To = 0.1 kV = 11	
G 5	Tedzani Ⅲ	1 2	MW = 25 P = 50 Other constants are same as G 1 MVA = 28 kV = 11	1994 No1, No2 Ge completion
G 6	Kapichira	1 2	Same as G 5	1997 No1, No2 Ge completion
G 7	〃	3 4 5	Same as G 5	1999 No3, No4, No5 Ge completion
T 1	Nkula (B)	6	Step up Tr. 25MVA, 11kV/132kV, Xps = 6% Xst = 8% Xtp = 9%	
T 2	〃	-	Tie Tr. 25MVA, 132kV/66kV, Xps = 6% Xst = 3% Xtp = 3%	
T 3	〃	5 4	Step up Tr. 25MVA, 11kV/66kV, Xps = 6% Xst = 8% Xtp = 9%	
T 4	Nkula (A)	1 2 3	Step up Tr. 10MVA, 11kV/66kV, Xps = 9.5% Xst = 8% Xtp = 9%	
T 5	Tedzani	1 2 3 4	Step up Tr. 11.5MVA, 11kV/66kV, Xps = 7.7% Xst = 3.8% Xtp = 3.8%	

Table 7 − 2

NORD No	STATION	No	CONSTANT	NOTE
T 6	Salima	-	Tie Tr, 25MVA, 6.2% 132/66/11kV, Xps = 6.2% Xst = 7% Xtp = 7%	
T 7	Lilongwe (B)	-	Tie Tr, 25MVA, 6.2% 132/66/11kV, Xps = 6.2% Xst = 7% Xtp = 7%	
T 8	Tedzani Ⅲ	-	Tie Tr, 55MVA, 7 % 132/66/11kV, Xps = 6.5% Xst = 7% Xtp = 7%	
T 9	〃	1 2	Step up Tr, 30MVA, 6.5% 11/132kV, Xps = 6.5% Xst = 3.25% Xtp = 3.25%	
T 1 0	Sharpevale	1	Tie Tr, 25MVA, 6.5% 132/66/33kV, Xps = 6.5% Xst = 7% Xtp = 7%	1992 completion
T 1 1	Kapichira	1 2	Step up Tr, 30MVA, 6.5% 11/132kV, Xps = 6.5% Xst = 3.25% Xtp = 3.25%	1997 completion
T 1 2	Kapichila	3	Step up Tr, 30MVA, 6.5% 11/132kV, Xps = 6.5% Xst = 3.5% Xtp = 3.5%	1999 completion
T 1 3	Blantyre West	1	Tie Tr, 25MVA, 6.2% 132/66/11kV, Xps = 6.2% Xst = 7% Xtp = 7%	
T 1 4	Nkotakota	1	− 〃 −	
T 1 5			Missing number	
T 1 6	Chintheche	1	Tie Tr, 25MVA, 6.2% 132/66/11kV, Xps = 6.2% Xst = 7% Xtp = 7%	
T 1 7	Nkotakota	1	Tie Tr, 10MVA, 6.2% 66/33kV, Xps = 9.5% Xst = 8% Xtp = 9%	
T 1 8	Chintheche	1	Tie Tr, 10MVA, 6.2% 66/33kV, Xps = 9.5% Xst = 8% Xtp = 9%	

Table 7－3 CONSTANT OF TRANSMISSION LINE

BRANCH	SECTION		VOLTAGE kV	DISTANCE km	CONDUCTOR SIZE	%Z (Pos. phase) 100MVA base R + j X. (Y₁/2) %/Km	NOTE
L 1 1	Nkula (B) #1	Sharpevale #1	132	110	605 MCM ACSR	0.05 + j 0.23 (0.025)	1992 completion
1 2	Sharpevale #1	Lilongwe (B) #1	〃	140	〃	〃	〃
1 3	Salima	〃	〃	75	175mm² AAAC	0.1 + j 0.22 (0.023)	
1 4	Nkula (B)	Salima	〃	250	〃	〃	
1 5	Missing number						
1 6	〃						
1 7	Kapichira	Blantyre West	〃	79	〃	〃	1997 completion
1 8	Nkula (B) #2	Sharpevale #2	〃	110	605MCM ACSR	0.05 + j 0.23 (0.025)	1998 completion
1 9	Sharpevale #2	Lilongwe (B) #2	〃	140	〃	〃	〃
1 2 0	Nkula (B)	Tedzani Ⅲ	〃	8	175mm² AAAC	0.1 + j 0.22 (0.023)	
1 2 1	Nkula (B)	Blantyre West	〃	43.98	〃	〃	
1 2 2	Blantyre West	Sucoma	〃	68.49	125mm² AAAC	0.1466+ j 0.228 (0.023)	
1 2 3	〃	Kapichira	〃	29.4	175mm² AAAC	0.1 + j 0.22 (0.023)	
1 2 4	Kapichira	Sucoma	〃	39.45	125mm² AAAC	0.1466+ j 0.228 (0.023)	
1 6 1	Salima	Nkhotakota	〃	109	〃	〃	
1 6 2	Nkhotakota	Chintheche	〃	156	〃	〃	
6 1	Salima	Nkhotakota	66	109	125mm² AAAC	0.586 + j 0.927 (0.006)	1994 completion (voltage up to 132kV)
6 2	Nkhotakota	Chintheche	〃	156	〃	〃	
6 3	Missing number						
6 4	Blantyre West	Mapanga	〃	24	100mm² ACSR	0.852 + j 0.943 (0.006)	
6 5	Lilongwe (B)	Lilongwe (C)	〃	12	〃	〃	1995 completion
6 6	Nkula (A)	Nkula (B)	〃	-	-		Very short section
6 7	Nkula (A)	Tedzani	〃	7.5	175mm² ACSR	0.42 + j 0.8838 (0.006)	
6 8	Lilongwe (B)	Lilongwe (A)	〃	23	100mm² ACSR	0.852 + j 0.943 (0.006)	
6 9	Nkula (B)	Mapanga	〃	43.7	175mm² AAAC	0.42 + j 0.8838 (0.006)	
6 1 0	〃	〃	〃	〃	100mm² ACSR	0.852 + j 0.943 (0.006)	
6 1 1	Chichiri	〃	〃	13.6	〃	〃	
6 1 2	Nkula (A)	Chichiri	〃	43.4	〃	〃	
6 1 3	Chichiri	Tedzani	〃	58.8	175mm² ACSR	0.42 + j 0.8838 (0.006)	
6 1 4	Nkula (A)	Chingeni	〃	70	125mm² ACSR	0.586 + j 0.927 (0.006)	
6 1 5	Nkula (A)	Tedzani	〃	7.5	175mm² ACSR	0.42 + j 0.8838 (0.006)	
6 1 6	Chingeni	Ntcheu	〃	43.8	125mm² ACSR	0.586 + j 0.927 (0.006)	
6 1 7	Ntcheu	Dedza	〃	65	〃	〃	
6 1 8	Lilongwe (A)	Dedza	〃	80	〃	〃	
6 1 9	Chichiri	Blantyre West	〃	7	100mm² ACSR	0.852 + j 0.943 (0.006)	1997 completion
6 2 0	Nkhotakota	Mtunthama	〃	78.6	75mm² AAAC	1.088 + j 0.966 (0.006)	
6 2 1	Chintheche	Chibaca	33	20	50mm² AAAC	5.776 + j 3.471 (0.003)	
6 2 2	Chintheche	Nzuzu	66	78	75mm² AAAC	1.088 + j 0.966 (0.006)	
6 2 3	Chintheche	Chikangawa	〃	71.5	75mm² AAAC	〃	
6 2 4	Chibaca	Nkhotakota	33	19	50mm² AAAC	5.776 + j 3.471 (0.003)	
6 2 5	Nkhotakota	Dwangwa	〃	50	100mm² AAAC	2.911 + j 3.324 (0.003)	

第８章　機器および資材の数量

8－1　送電線用の機器、資材および予備品

8－1－1　Summary of Item and Quantity

Item No.	Description
A	Preliminary Works
B	Tower Foundations Works
C	Supply and Erection of Towers
D	Insulator String and O.H.G Wire Attachments
E	Supply and Stringing of Conductor and O.H.G. Wire
F	Line Accessories
G	Miscellaneous Works
H	Spare Materials
I	Maintenance Tools

8－2－2　Breakdown of Item and Quantity

(1)　Item A. Preliminary Works (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quantity
A－1	Final survey and Staking tower location	Km	250
A－2	Clearing of right-of-way and danger trees	Km	250
A－3	Subsoil investigation		
A－3－1	Subsoil test with penetration tests to 5 meters depth from ground level	bore	715
A－3－2	86mm φ boring with standard penetration tests, soil sampling and tests	m	720
A－3－3	Ground bearing test	spot	7

(2) Item B. Tower Foundations works (1/2)

Item No.	Description	Unit	Quan-tity
B − 1	Foundation for tower type DA1		
B − 1 − 1	Concrete pad foundation type class Ⅰ	tower	372
B − 1 − 2	Concrete pad foundation type class Ⅱ	tower	155
B − 1 − 3	Concrete pad foundation type class Ⅲ	tower	95
B − 1 − 4	Soft rock foundation type R-1	tower	1
B − 2	Foundation for tower type LDA1		
B − 2 − 1	Concrete pad foundation type class Ⅰ	tower	5
B − 2 − 2	Concrete pad foundation type class Ⅱ	tower	7
B − 2 − 3	Concrete pad foundation type class Ⅲ	tower	10
B − 2 − 4	Soft rock foundation type R-1	tower	−
B − 3	Foundation for tower type DB2		
B − 3 − 1	Concrete pad foundation type class Ⅰ	tower	20
B − 3 − 2	Concrete pad foundation type class Ⅱ	tower	8
B − 3 − 3	Concrete pad foundation type class Ⅲ	tower	6
B − 3 − 4	Soft rock foundation type R-1	tower	−
B − 4	Foundation for tower type DC2		
B − 4 − 1	Concrete pad foundation type class Ⅰ	tower	10
B − 4 − 2	Concrete pad foundation type class Ⅱ	tower	6
B − 4 − 3	Concrete pad foundation type class Ⅲ	tower	2
B − 4 − 4	Soft rock foundation type R-1	tower	−

(2) Item B. Tower Foundations works (2/2)

Item No.	Description	Unit	Quantity
B − 5	Foundation for tower type DD2		
B − 5 − 1	Concrete pad foundation type class Ⅰ	tower	9
B − 5 − 2	Concrete pad foundation type class Ⅱ	tower	3
B − 5 − 3	Concrete pad foundation type class Ⅲ	tower	2
B − 5 − 4	Soft rock foundation type R-1	tower	−
B − 6	Foundation for tower type DDE		
B − 6 − 1	Concrete pad foundation type class Ⅰ	tower	2
B − 6 − 2	Concrete pad foundation type class Ⅱ	tower	2
B − 6 − 3	Concrete pad foundation type class Ⅲ	tower	−
B − 6 − 4	Soft rock foundation type R-1	tower	−
B − 7	Furnishing and driving concrete pile 70 cm minimum effective perimeter (continuous single length pile)	m	4,900
B − 8	Pile bearing (compression) test and uplift (tension) with test equipment and hold piles	spot	4
B − 9	Earth excavation and backfilling including dewatering	m^3	5,700
B − 10	Solid rock excavation and backfilling including dewatering	m^3	2,900
B − 11	Close timbering	m^2	1,400
B − 12	Concrete work including forms	m^3	600
B − 13	Steel reinforcing bars	ton	60
B − 14	Wet masonry walling	m^3	250
B − 15	Galvanized steel work	ton	35
B − 16	Paint with two coats of bituminous paint	m^3	84

(3) Item C. Supply and Erection of Tower (1/2)

Item No.	Description	Unit	Quantity
C − 1	Tower type DA1		
C − 1 − 1	Tower type DA1-3	tower	91
C − 1 − 2	Tower type DA1±0	tower	250
C − 1 − 3	Tower type DA1+3	tower	188
C − 1 − 4	Tower type DA1+6	tower	94
B − 2	Tower type LDA1		
B − 2 − 1	Tower type LDA1-3	tower	−
B − 2 − 2	Tower type LDA1±0	tower	−
B − 2 − 3	Tower type LDA1+3	tower	1
B − 2 − 4	Tower type LDA1+6	tower	5
B − 2 − 5	Tower type LDA1+12	tower	5
B − 2 − 6	Tower type LDA1+18	tower	10
B − 2 − 7	Tower type LDA1+24	tower	1
C − 3	Tower type DB2		
C − 3 − 1	Tower type DB2-3	tower	10
C − 3 − 2	Tower type DB2±0	tower	24
C − 3 − 3	Tower type DB2+3	tower	−
C − 3 − 4	Tower type DB2+6	tower	−
C − 4	Tower type DC2		
C − 4 − 1	Tower type DC2-3	tower	5
C − 4 − 2	Tower type DC2±0	tower	10
C − 4 − 3	Tower type DC2+3	tower	−
C − 4 − 4	Tower type DC2+6	tower	−
C − 5	Tower type DD2		
C − 5 − 1	Tower type DD2-3	tower	4
C − 5 − 2	Tower type DD2±0	tower	12
C − 5 − 3	Tower type DD2+3	tower	−
C − 5 − 4	Tower type DD2+6	tower	−

(3) Item C, Supply and Erection of Tower (2/2)

Item No.	Description	Unit	Quantity
C－6	Tower type DDE		
C－6－1	Tower type DDE-3	tower	–
C－6－2	Tower type DDE±0	tower	4
C－6－3	Tower type DDE+3	tower	–
C－6－4	Tower type DDE+6	tower	–
C－7	Additional galvanized steel work for lame leg extension	ton	175
C－8	Auxiliary crossarms for type DDE tower	tower	–
C－9	Crossarm of transposition tower for type DB2 tower	tower	4
C－10	Painting for aeronautical sign of steel tower	tower	4
C－11	Testing tower for load tests and destruction test including supply of test towers	test	6

(4) Item D. Insulator Strings and Overhead Ground Wire Attachments (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quantity
D – 1	Single string suspension insulator assemblies with armor rod for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	1,881
D – 2	Double string suspension insulator assemblies with armor rod for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	48
D – 3	Single string tension insulator assemblies for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	438
D – 4	Single bypass string suspension insulator assemblies for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	48
D – 5	Transposition bypass string insulator assemblies for 605 MCM ACSR single conductor for single circuit (without insulator)	tower	4
D – 6	Porcelain or glass insulator discs 12,000kg (IEC Type U 120BS)	piece	27,269
D – 7	Overhead ground wire suspension assembly attachments for AC 55 mm^2	set	1,286
D – 8	Overhead ground wire tension assembly attachments for AC 55 mm^2	set	296
D – 9	Special overhead ground wire tension assembly attachments for AC 55 mm^2 at structure	set	16

(5) Item E. Supply and Stringing, Conductor and Overhead Ground Wire (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quantity
E − 1	605 MCM ACSR Conductor		
E − 1 − 1	Furnishing conductor for 605 MCM ACSR (750 Km plus 2%)	Km	765
E − 1 − 2	Stringing Single circuit for 605 MCM ACSR single conducotr	Km	250
E − 2	55 mm^2 AC overhead ground wire		
E − 2 − 1	Furnishing overhead ground wire for AC 55 mm^2 (500 Km plus 2%)	Km	510
E − 2 − 2	Stringing AC 55 mm^2 for two overhead ground wires	Km	250

(6) Item F. Line Accessories (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quantity
F − 1	Midspan joint sleeve for 605 MCM ACSR conductor	piece	255
F − 2	Midspan joint sleeve for AC 55 mm² overhead ground wire	piece	165
F − 3	Dead end clamp for 605 MCM ACSR conductor	piece	24
F − 4	Dead end clamp for AC 55 mm² overhead ground wire	piece	16
F − 5	Vibration damper for 605 MCM ACSR conductor (12Lbs)	piece	8,650
F − 6	Vibration damper for AC 55 mm² overhead ground wire (3Lbs)	piece	5,750
F − 7	Special Jumper socket clamp for 605MCM ACSR Conductor	piece	24

(7) Item G. Miscellaneous Works (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quantity
G − 1	L50×6×1.2m copperweld ground angle with connection wires	piece	2,860
G − 2	Counterpoise No 2/0 AWG alumoweld wire or (2×30m wires with connectors)	set	570
G − 3	Number plate on tower	piece	715
G − 4	Aerial patrol plates on towers	piece	715
G − 5	Phase plates on towers	piece	145
G − 6	Danger plates on towers	piece	570
G − 7	Boundary posts (meters) along boundary lines of right-of-way	piece	1,430
G − 8	Anti climbing device for tower	tower	715

(8) Item H. Supply of Spare Materials (1/2)

Item No.	Description	Unit	Quantity
H − 1	Tower type DA1 + 6 body extension with concrete stub angle	tower	4
H − 2	Tower type DB2 + 6 body extension with concrete stub angle	tower	4
H − 3	Tower type DC2 + 6 body extension with concrete stub angle	tower	3
H − 4	Tower type DD2 + 6 body extension with concrete stub angle	tower	2
H − 5	605 MCM ACSR conductor	m	7,500
H − 6	AC 55 mm² overhead ground wire	m	5,000
H − 7	Tension joint sleeve for 605 MCM ACSR conductor	piece	60
H − 8	Repair sleeve for 605 MCM ACSR conductor	piece	12
H − 9	Tension joint sleeve for AC 55 mm² overhed ground wire	piece	40
H − 10	Repair sleeve for for AC 55 mm² overhead ground wire piece	piece	6
H − 11	Vibration dampers for MCM ACSR conductor (12Lbs)	piece	90
H − 12	Vibration dampers for AC 55 mm² overhead ground wire (3Lbs)	piece	60
H − 13	Single string suspension insulator assemblies with armor rod for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	12
H − 14	Double string suspension insulator assemblies with armor rod for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	6

(8) Item H. Supply of Spare Materials (2/2)

Item No.	Description	Unit	Quantity
H－15	Single bypass string suspension insulator assemblies for 605 MCM ACSR single conductor (without insulator)	set	6
H－16	Single string tension insulator assemblies for 605 MCM ACSR single conductor (with insulator)	set	6
H－17	Porcelain or glass insulator discs 12,000kg. (IEC) Type U 120Bs)	piece	420
H－18	Overhead ground wire suspension assembly attachments for AC 55 mm²	set	6
H－19	Overhead ground wire tension assembly attchments for AC 55 mm²	set	2
H－20	Danger plate set	piece	100
H－21	L50×50×6×1.2m copperweld ground angle with connectors	piece	20
H－22	Counterpoise 1×30m No 2/0 AWG alumoweld wire with terminal bolts and nuts	set	10

(9) Item I. Maintenance Tools (1/2)

Item No.	Description	Unit	Quan-tity
I − 1	4 wheel drive vehicle with 5 seats, and tools	set	2
I − 2	4 wheel drive pick-up type vehicle with 4 seats, winch and tools	set	2
I − 3	4 wheel drive 7-tons lorry type vehicle with crane and tools	set	1
I − 4	Compressor, 100 ton, hand operated type with tools and 10 m remote control tubes	set	1
I − 5	Compression die sets for 605 MCM ACSR	set	2
I − 6	Compression die sets for 55 mm² AC	set	2
I − 7	Insulator exchanger 12,000 kg (IEC Type U 120BS)	set	2
I − 8	Hotline tools for 132 kV	set	1
I − 9	Megger 2,000 V 0-5,000 M ohm	set	2
I − 10	Specific earth resistance tester with lead wires and rods (type 3244 YEW)	set	2
I − 11	Portable winch (1,500 kg - allowable pulling tension)	set	1
I − 12	single conductor car with distance meter and brake for one lineman	set	2
I − 13	Come-along clamp set for 8.0 tons working load with wedge for 605 MCM ACSR conductor	set	2
I − 14	Come-along clamp set for 3.5 tons working load with wedge for 55 mm² AC	set	2

(9) Item I. Maintenance Tools (2/2)

Item No.	Description	Unit	Quan-tity
I −15	Turn-buckle for 7.0 tons working load and stroke 550 mm	set	3
I −16	Stringing ladder of aluminum alloy, for 5 m length, 2 men	set	2
I −17	Vibration recorders for 7 days for 605 MCM ACSR conductor with record paper use 2 years	set	1
I −18	Earthing equipment	set	1
I −19	Field meter	set	1
I −20	Portable compression testing machine (Soil Test Model CT-650M)	set	1
I −21	Concrete test cylinder with tools (ASTM Standard)	set	6
I −22	Concrete strength test hammer	set	1
I −23	Sieve-analysis tester	set	1
I −24	pH-tester	set	1
I −25	Galvanized thickness meter	set	1
I −26	Hand vane tester	set	1
I −27	Proving ring penetrometer	set	1

8－2　新設変電所用機器、資材および予備品

8－2－1　機器、資材、予備品の項目

(1)　132 kV機器

(2)　66 kV 〃

(3)　所内回路機器

(4)　配電盤、保護継電器

(5)　屋外鉄構

(6)　母　線

(7)　碍子架線金物

(8)　電線、ケーブル

(9)　雑設備

(10)　予備品

(11)　保守用工具

8－2－2　数　量

(1) 132 kV 機器　(1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
遮　断　器	145kV, 800A	4	1	1
断　路　器	145kV, 800A	10	3	3
CVT　(相)	4000PF, $\frac{132kV}{\sqrt{3}}/\frac{110V}{\sqrt{3}}$	12	3	3
CT　(相)	300/150/5A	15	3	3
避雷器 (相)	120kV	9	3	3
ﾗｲﾝﾄﾗｯﾌﾟ	800A	4	2	2
変　圧　器	25MVA, 132/66/33kV	1	-	-

(2) 66 kV 機器 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
遮断器	72kV, 800A	3	-	-
断路器	72kV, 800A	3	-	-
CVT (相)	$\frac{66kV}{\sqrt{3}}$ / $\frac{110V}{\sqrt{3}}$	3	-	-
CT (相)	300/150/5A	9	-	-
避雷器	60kV	3	-	-

(3) 所内回路機器 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
屋内ｷｭｰﾋﾞｸﾙ	33kVメタルクラッド	1	-	-
所内変圧器	300kVA	1	-	-
直流電源ｾｯﾄ	200AH バッテリー および充電器	1 式	-	-

(4) 配電盤、保護継電装置 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
操作盤		3	1	1
ﾌｽﾌﾛ. ﾘﾚｰ盤		1 式	-	-
132kV線路ﾘﾚｰ盤		2	1	1
66kV線路ﾘﾚｰ盤		2	-	-
変圧器ﾘﾚｰ盤		1	-	-
所内盤 (含ﾘﾚｰ)		1	-	-
交流分電盤		1	-	-
直流分電盤		1	-	-

(5) 屋外鉄構 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
132kV ポスト		10	-	4
〃 ビーム		8	-	4
66kV ポスト		3	-	-
〃 ビーム		2	-	-

(6) 母　線 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
132kV パイプ母線	含SP碍子、支持架台	1 式	-	1 式
66kV パイプ母線	同　上	1 式	-	-

(7) 碍子架線金物 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
132kV 碍子連	10"碍子12ヶ/ 連	24	6	9
66kV 碍子連	10"碍子 6ヶ/ 連	6	-	-
端　子　類		1 式	1 式	1 式
相　表　示　札		1 式	1 式	1 式

(8) 電線ケーブル類 (1/1)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
アルミ電線	330 スケア mm	500m	20m	140m
ＯＨＧＷ線	55mm² ｱﾙﾐ 覆鋼線	260m	-	50m
接　地　線	80mm² 銅撚線	3500m	100m	400m
33kV CV ｹｰﾌﾞﾙ他	含ｹｰﾌﾞﾙﾍｯﾄﾞ	65m	-	-
制御、低圧ｹｰﾌﾞﾙ		1 式	1 式	1 式

(9) 雑 設 備 (1/1)

名 称	仕 様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
構内照明設備		1 式	-	-
時計、ページングセット他		1 式	1 式	1 式
屋外分電箱		1	-	-

(10) 予 備 品 (1/3)

名 称	仕 様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
1)変圧器				
a)132kV ブッシング		1	-	-
b) 66kV 〃		1	-	-
c) 33kV 〃		1	-	-
d)中性点 〃		1	-	-
e)冷却フィン		1	-	-
f)温度計	警報接点付	1	-	-
g)温度リレー		1	-	-
h)バルブ	各 種	1 式	-	-
i)シリカゲル コンテナー		1	-	-
2)132kV 遮断器				
a)遮断器	1 相分	1	-	-
b)接触子	可動／固定	1	-	-
c)コイル		2	-	-
d)駆動装置		1	-	-
e)バルブ		1 式	-	-
3) 66kV 遮断器				
a)接触子	可動／固定	1	-	-
b)コイル		1	-	-
c)駆動装置		1	-	-
d)バルブ		1 式	-	-

(4) 予 備 品 (2/3)

名　　称	仕　　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
4)132kV 断路器				
a)断路器	1 相分	1	-	-
b)接触子	組	1	-	-
c)支持碍子		3	-	-
d)操作箱		1	-	-
5) 66kV 断路器				
a)接触子	組	1	-	-
b)支持碍子		1	-	-
c)操作箱		1	-	-
6)132kV CVT				
a) CVT	1 相分	1	-	-
7)避雷器				
a)120kV 避雷器	1 相分	1	-	-
b) 60kV 避雷器	1 相分	1	-	-
8) CT				
a)132kV CT	1 相分	1	-	-
b) 66kV CT	1 相分	1	-	-
9)屋内ｷｭｰﾋﾟｸﾙ				
a)遮断器接触子		1	-	-
b)遮断器コイル	1 式	1	-	-
10) 直流電源ｾｯﾄ				
a)ﾊﾞｯﾃﾘｰｾﾙ		2	-	-
b)SCR スタック	1 組	1	-	-
c)指示メーター	電圧、電流計	1	-	-

00 予 備 品 (3/3)

名 称	仕 様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
11) 配電盤、保護継電装置				
a)メーター	各種×1	1 式	-	-
b)制御スイッチ	各種×2	1 式	-	-
c)保護リレー	各タイプ×1	1 式	-	-
d)トランスジューサー	各種×1	1 式	-	-
e) NFB	各タイプ×1	1 式	-	-
f)表示ランプ	各種×200%	1 式	-	-
g)ヒューズ	各種×100%	1 式		
12) 母 線				
a)132kV 支持碍子		1	-	-
b) 66kV 支持碍子		1	-	-
c)金 具	各種×1	1 式	-	-
13) 碍子架線金物				
a)132kV 碍子連		1	-	-
b) 66kV 碍子連		1	-	-
c)端 子	各種×1	1 式	-	-
14) 電線ケーブル				
a)33kV CV ケーブル		25m	-	-
b)33kV CV ケーブルヘッド		1	-	-
15) 雑 設 備				
a)水銀ランプ		10	-	-
b)時 計		1	-	-

(1) 保守工具 (1/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
1)絶縁油処理装置		1 式	-	-
・Oil degassing Equipment	4 kℓ/h			
・Oil filter	1 kℓ/h			
・Vacuum pump	7.5 kℓ/min			
・Vacuum gauge	Macleod type			
・Dry air generator	1ℓ/min			
・Dew point meter	-80° C - 20° C			
・Water content measure	Digital type			
・Hygrometer	0 - 100%			
・Oil storage tank (Portable type)	60kℓ			
・Accessories Vinyl hose 2 pcs. 32mm diameter 15m length with coupling flange Coupling adaptor, change-over valve Filterpaper drier Necessary tools Filter paper 5000 sheets				
2)オイルテスター	60kV/2.5mm gap	1 式	-	-
3)SF_6 ガス回収装置		1	-	-
・SF_6 gas compressor	760ℓ/min			
・Vacuum pump	1500ℓ/min			
・Storage tank	100kg capacity			

(11) 保守工具 (2/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
・Gas cylinder with 50kg SF_6 gas				
・Gas leak detector				
・Oxygen density meter				
4)工　具				
Steel wire rope	9mm diameter, 6m length with loop attachment ends	2	-	-
Wire rope cutter	For 100mm-60mm HDCC manual operation type	2	-	-
Wire rope cutter	For Hydraulic type	1	-	-
Engine winch	Maximum 5 ton 3.5 - 7.0 m/sec.	1	-	-
Ratchet spanner set with tool box	Ratchet change-over type w/ 30cm length knob×1	2	-	-
・10mm×12mm ・12mm×14mm ・16mm×18mm	1 pc. 1 pc. 1 pc.			
Stepladder	Aluminum alloy, more than 1 m length	2	-	-
Ladder	Aluminum alloy, 4m length folded into two, available for stringing work	1	-	-
Ladder	Aluminum alloy, 6m length folded into two, available for stringing work	1	-	-
Safety-belt set		3	-	-
・Body belt	Nylon webbing 1,200mm length 45mm width			

(11) 保守工具 (3/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
・Life rope	3-stranded, 2-twisted nylon rope wit chroniumplating coated swivel snap hook and adjustable fittings, 2,000 kg tensile strenght, 16mm diameter, 2000 mm length			
・Working sack	Canvas sack sewn with waxing yarn			
・Multi-hanging	Oxhide, for cutting piler, screw driver and knife, etc.			
Oil compressor	Capacity 200 ton with hose and head for 330mm² with the dices	1	-	-
Terminal press tool kit with tool box		2	-	-
・Press tool	For 2mm² - 38mm² conductors, manual operation type			
・Stripper	Remover of vinyl insulation of 2mm² -8mm² conductors, spring return type			
・Cable sheath remover	For cutting cable sheath in the sectional and axial directions for PVC cable (3.5mm² ×2C -22 mm² ×2C)			
Home kit with tool box		2	-	-
・Drill chuck				
・Bench saw				
・Planner				
・Sander				
・Grinder				

(1) 保守工具 (4/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
・Bulk cutter				
・Jig saw				
・Wool bonnet				
・Motor	1 φ AC 220V 50 Hz 300W			
・Spare drill				
3.5mm diameter	10 pcs.			
5.0mm diameter	10 pcs.			
7.0mm diameter	10 pcs.			
10.0mm diameter	10 pcs.			
・Spare carbon brushes	6 sets			
Cleaner	Single-phase, 240V 1kW, suction capacity of 3m³/minute, dust bucket capacity of 10 liters	2	-	-
Electroscope	Windmill type for 132kV	1	-	-
Electroscope	Neon lamp type for 33-11kV	1	-	-
Electroscope	Neon lamp type for 4 kV	1	-	-
Portable type earth device	Separable type, with 5m length insulated copper conductor of 38mm² covered by vinyl tube, bolt clamping type clamp, hung type head			
	132 kV	9	-	-
	10-35 kV	9	-	-
Colored-nylon rope	9mm in diameter 50m length	2	-	-
5)計測器				
Volt/ampere meter of AC	Accuracy class 0.5 13 range 0-30A, 0-750V, portable type	3	-	-

(1) 保守工具 (5/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
Volt/ampere meter of DC	Accuracy class 0.5 17 range, with shunt resistor 0-30A, 0-1,000V, portable type	3	-	-
Volt/ampere meter	Transistor, portable type voltage range ···· 3-300mV, 1.2-300V 11 range ampere range····· 1.2-60mA, 0.3-12A 12 range	3	-	-
Phase meter	Transistor, portable type voltage range ···· 3-24 V, 7 range input impedance ···· 0.6-50k, 7 range ampere range····· 0.1-10A measuring phase ···· 0-360°, 4 range frequency ····· 45-2,000 Hz error allowance ···· within ±3%	1	-	-
Variable sliding resistor	Metalic double slide type 1,000 1A in series connection	2	-	-
Variable sliding resistor	Metalic double slide type 110 3.0 A in series connection	2	-	-
Variable sliding resistor	Metalic double slide type 40 5.0 A in series connection	2	-	-

(11) 保守工具 (6/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
Circuit tester	Resistance 2/300/20,000 K DC voltage 0.3/1.2/3/12/30/120/300/1,200 V DC current 3/12/39/120/300/1,200 mA Accuracy less than 4% of full scale value Accessories portable cases	3	-	-
Watt meter	150V 5A, single phase, AC	3	-	-
Rotation meter	150V 3 phase	1	-	-
Oscillograph	6 elements portable pen writing type	1	-	-
Lux meter	Portable type 300/1,000/3,000 lux	1	-	-
Megger (Battery type)	250V/50 MΩ	1	-	-
Megger (Battery type)	500V/1,000 MΩ	1	-	-
Megger (Battery type)	1,000V/2,000 MΩ	1	-	-
Noise meter	30-130 db (A)	1	-	-
Soil resistivity meter	L-10 type YEW	1	-	-
Relay tester 3 phase 240V 50 Hz 3 kVA (including simulating circuit breaker relay)		1 set	-	-
・AC voltage output	3 phase 0-240V 600 VA 0-360° variable			

(10) 保守工具 (7/7)

名　称	仕　様	Sharpevale	Nkula B	LilongweB
・AC current output	3 phase 0-50A 300 VA 0-360 ° variable			
・DC voltage output	0-240 V			
・DC current output	0-10A			
・Volt meter	0-300V 0.5 class 4 range			
・Ammeter	0-5A 0.5 class			
・Phase meter	0-360° 120V/5A, ±3 ° accuracy			
・Second meter	0.1 - 999999.9 milli-second			
Connector drum	Single-phase AC 480V 10A with 30m length cabtype cable	2	-	-
Primary injection test set	CT : 100 - 1,000A	1 set	-	-

8－3　通信システム用の機器、資材および予備品

8－3－1 Breakdown of Item and Quantity

(1) Item A Telecommunication Equipments (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quan-tity
A － 1	Power Line Carrier Telephone Terminal Equipment (2 CH, 40dBm)	set	8
A － 2	Line Trap	set	10
A － 3	Teleprotection Equipment	set	4
A － 4	Foult Locayor (C Type)	set	1
A － 5	Coupling filter	set	5
A － 6	Separation filter	set	2
A － 7	Automatic Exchange (50 Line with Telephone sets)	set	1
A － 8	Automatic Exchange (20 Line with Telephone sets)	set	2
A － 9	VHF Radio Base Station (100W)	set	1
A － 10	VHF Radio Mobile Station (80W)	set	2
A － 11	VHF Radio Portable set (1W)	set	4
A － 12	Telemetering Equipment	set	6
A － 13	VHF Radio Antenna tower	set	1
A － 14	VHF Radio Antenna with cable	set	1
A － 15	Battery for DC 48V	set	1
A － 16	Charger for DC 48V	set	1

(2) Item B Supply of Spare Materials (1/1)

Item No.	Description	Unit	Quan-tity
B −1	Spare Material		
B −1 −1	Spare of celles for Battery	cell	4
B −1 −2	Line Trap	unit	1

第９章　工事工程および工事費

第9章　工事工程および工事費

9－1 建設計画

ESCOM の1988年12月現在の総発電設備容量は 169MWである。この内86%に当たる144.6 MWが水力発電で残り14%に当たる24.4MWがガスタービン1台（15MW）と小規模のディーゼル発電機20台で構成されている。

水力発電所はすべて同国南部のShire 川流域に集中しており，ここでの発生電力をMalawi国全土に供給している。

石油、ガスをすべて輸入に依存しているMalawi国では石油等の輸入を減らし、外貨の消費を制限する意味で、開発可能な国内の水力エネルギーを開発することが国家のエネルギー政策として重要視され、既に各種のスタディーが実施され水力発電開発計画が進められている。

また水力発電開発計画と平行して、全国の電力供給系統（送変電設備）の拡充計画も将来の電力需要増対応策および電力の安定供給のために進められている。

首都Lilongweの電力は、現在66kV送電線1回線でNkula A発電所からさらに、132kV 送電線1回線でNkula B発電所から供給されている。

もし、Nkula B発電所およびSalima変電所間、またはSalima変電所およびLilongwe B変電所間の 132kV送電線で事故が発生して電力供給ができない場合には、Nkula A発電所およびLilongwe B変電所間（亘長約 260km）の66kV送電線1回線のみで電力を供給すると共にLilongwe A発電所の非常用ディーゼル発電機（総出力：5,400kW)を運転して対処している。この場合の電力供給能力は10MWにも満たない。

さらに、もしLilongwe B変電所の増強計画を実施しなかった場合には1991年のlilongwe B変電所端でピーク負荷時において許容電圧降下値を超過することが懸念されている。ちなみに、1990年のピーク負荷時において Nkula-Salima-Lilongwe間の 132 kV送電線の電圧ドロップは13.2%となり変圧器最高タップ許容リミットぎりぎりとなることが予想されている。

以上の現状を憂慮してMalawi政府は、首都Lilongweへの電力の安定供給と電圧の維持のために、本案件のNkula B発電所およびLilongwe B変電所間の送電線1回線の建設を最優先プロジェクトとして1992年初旬までに完成するよう計画している。

9－2　工事工程

本送電線計画は、1992年３月末運開を目途に Fig 9-1に示す工程表に従い、準備および工事を進めるべきである。このためには遅くとも1989年10月末には終了させなければならない。

実施設計および入札仕様書の作成には時間がかかるので1989年９月には設計および仕様書の作成を開始し、遅くとも1990年２月には最終設計および入札仕様書を完成する必要がある。

なお、入札手続、入札期間および見積審査には国際入札を想定すると最低６ヶ月間を必要とする。よって、前述の諸手続は円滑に進める必要がある。

本送電線の建設工事期間としては現地測量、詳細設計、製造、運搬および現地据付工事ならびに試験を考慮すると、24ヶ月を必要すると考えられる。

本工事工程の詳細を Fig 9-1に示す。

9－3　工 事 費

本送電線計画の予備設計結果に基づいて、工事数量（予備材および保守用工具を含む）を算出し、さらに現地状況を勘案して総工事費を算出した。Table 9-1 参照。なお、算出条件は次の通りである。

(1)　工事範囲

本送電線の工事見積および算出範囲は次の通りである。

a）送 電 線

Nkula Ｂ発電所－Lilongwe　Ｂ変電所間（Sharpevale変電所経由）

b）変 電 所

i）　Nkula　Ｂ発電所引出設備

ii）　Sharpevale 変電所

iii）　Lilongwe Ｂ変電所引出設備

c）通信設備

計画関連通信設備

(2)　補償費の計上

用地費、補償費、BSCOM の社員社宅などの付属設備費および付帯工事費は計上していない。ただし、線下にある建物の移転補償等は考慮した。

(3) 資機材の調達

a) 本送電線建設計画に使用する主要資材および機器のうち鉄塔、電線、架空地線、碍子、ならびに主要変圧器、しゃ断器、計器用変成器等の変電機器および通信機器一式はすべて外国よりの輸入品によることとした。

b) セメント、鉄筋などの工事用資材は、Malawi国で現地調達とした。

(4) 施工業者

本送電線建設はすべてTurn-Key BasisとしMalawi国内に登録された業者により施工されるものとした。工事用機材および材料は請負業者持ちとし、据付工事等は現地作業員が行うものとする。

(5) 為替レート

1989年 2月の為替レートを適用する。

1日本円＝0.0212M.Kw

1米ドル＝2.6695M.Kw＝125.92円

(6) 関税および税金

Malawi政府と協議の上、本送電線建設に使用される機器および資材に対する関税、Engineering Fee に対する税金および外国人技術者の所得税は免除されるものとし、計上していない。

(7) 積算年次

本送電線建設に関する工事費は1989年 2月末の単価によって積算した。

(8) 工事資金手当

本送電線建設の工事資金は、内貨、外貨のすべてをソフトローンにより賄うものとし、その建設期間中の利息は内貨、外貨とも年利率1.00%として計上した。

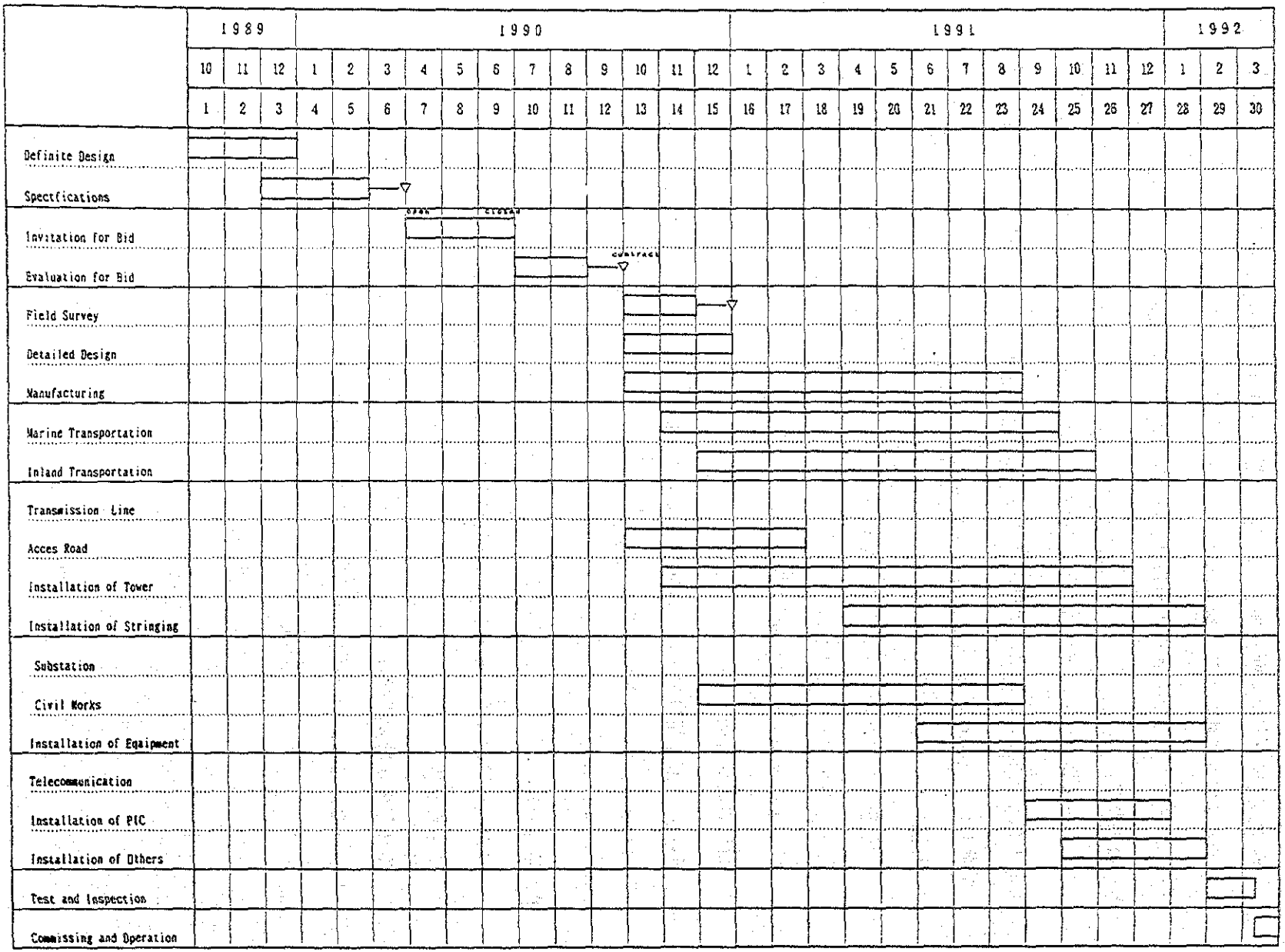


Fig 9-1 CONSTRUCTION SCHEDULE OF NKULA B-LILONGWE B TRANSMISSIOIN LINE

Table 9－1　Project Construction Costs

Unit : 10^3 US Dollar

Descriptions	Foreign Currency	Domestic Currency	Total
a) Transmission line	12,954	6,489	19,443
b) Substations	3,414	3,502	6,916
c) Communication facilities	1,079	228	1,307
I. Sub-Total of Direct Cost	17,447	10,219	27,666
d) Compensation of House and other	0	199	199
e) Maintenance Equipment	635	0	635
f) Administration Expense	0	238	238
g) Engineering fee	2,382	596	2,978
h) Contingency	2,046	1,125	3,171
II. Sub-Total of Indirect Cost	5,063	2,158	7,221
III. Construction Cost (I + II)	22,510	12,377	34,887
IV. Interest during the Construction	360	198	558
V. Total Project Cost (III + IV)	22,870	12,575	35,445

Note : 1) Ratio of Contingency is 10%.

2) Ratio of Interest during the construction is 1.0%.

Table 9 – 2 Fund Requirement of Nkula B-Lilongwe B Transmission Line Construction Project

Unit : 10^3 US Dollar

Description	Construction Cost			Annual Fund Requirement			
	Material Cost (Foreign Currency)	Installation cost (Domestic Currency)	Total Cost	1989	1990	1991	1992
Transmission Line cost Materials Cost	12.954	0	12.954	0	1.049	10.610	1.295
Installation Cost	0	6.489	6.489	0	818	5.022	649
Sub-Total	12.954	6.489	19.443	0	1.867	15.632	1.944
Substation Cost Nkula B Substation	335	159	494	0	0	445	49
Sharpevale Substation	2.681	3.015	5.696	0	0	5.126	570
Lilongwe B Substation	398	328	726	0	0	654	72
Sub-Total	3.414	3.502	6.916	0	0	6.225	691
Telecommunication Facilities Cost Nkula B Substation	232	35	267	0	0	240	27
Sharpevale Substation	639	162	801	0	0	721	80
Lilongwe B Substation	208	31	239	0	0	215	24
Sub-Total	1.079	228	1.307	0	0	1.176	131
Total of Direct Cost	17.447	10.219	27.666	0	1.867	23.033	2.766
Compensation Cost of House & Others	0	199	199	79	60	60	0
Maintenance Equipment Cost	635	0	635	0	635	0	0
Administration Expenses	0	238	238	24	95	95	24
Engineering Fee	2.382	596	2.978	413	1.209	966	390
Contingency	2.046	1.125	3.171	52	387	2.415	317
Total of Indirect Cost	5.063	2.158	7.221	568	2.386	3.536	731
Construction Cost	22.510	12.377	34.887	568	4.253	26.569	3.497
Interest during the Construction	360	198	558	1	27	181	349
Grand Total Project Cost	22.870	12.575	35.445	569	4.280	26.750	3.846

Note : 1) Ratio of Contingency is 10%.
2) Ratio of Interest during the construction is 1.0%.

9－4　施工計画

本送電線建設計画の立案に際してはTurn-Key Basisの工事契約であるものとして計画した。

9－4－1　送電線工事

送電線建設工事は大きく分けて次の２種類の工事とする。

(1)　支持物工事

(2)　架線工事

なお、各工事の内容については次に述べる。

(1)　支持物工事

現地測量結果に基づき鉄塔型および基礎型の現地適用設計を実施し、工事用資材や線路工事用地手配などの工事準備が整った後に、支持物の建設に着手する。

支持物の建設はFinal Surveyに始まり、工事用仮設備の建設、基礎工事、鉄塔組立工事、整地工事および接地工事などを実施する。これらの工事順序のFlow chartはFig 9-2 、Fig 9-3 に示す通りである。

(a) Final Survey

Final Surveyは詳細設計が現地に適合しているか、測量杭が移動してないかを確認するため行うものでありまた、送電線路の縦断面図、平面図にてルートおよび鉄塔位置を再確認する。重要箇所（長径間個所等）の横断の有無を確認するとともに、詳細設計の再検討を行うようにする。

(b) 運搬路の調査

送電線路建設工事計画における最も重要な作業の一つは運搬計画の作成である。これが工期の確保、工事費などに大きな影響を与えるので、資材および工具の運搬路（港→内陸輸送路）や運搬手段（トラック、鉄道等）について調査し立案に際しては十分に留意する。

(c) 基礎掘削

鉄塔基礎の掘削は Man Powerによる手掘を原則として行うものとして計画した。

なお、Back Hoe shovel が使用出来る箇所は工期短縮のため、これを使用するものとする。

また、掘削中に湧水のある場合には水中ポンプを使用して排水を行うものとする。

(d) 基礎材の据付

鉄塔基礎材の据付はSetting Templateを用いて行い、基礎脚材の据付寸法誤差を少なくするように計画した。

(e) コンクリート打設

コンクリート打設はBagger Mixerを使用して鉄塔敷地でコンクリート打設するように計画した。コンクリートに使用する材料はLocal Materialとし、セメントは普通 Portland Cementを使用する。砂は川砂を使用し、砂利はさい石を使用する。

コンクリートの強度試験のため、Slamp Testおよび Concrete TestPiece を採取して強度の確認を行うものとする。なお、水中コンクリート打設になる場合にはセメント使用量を 120%に増分する。

型枠は鉄製を使用する。

(f) 埋 戻 し

鉄塔基礎の埋戻しは、支持物の安定上最も重要なFactorであるので、約30cm毎にVibrating Rammer等を使用して突固めを実施しながら埋戻しを行う。

(g) 接　　地

鉄塔基礎の各脚には接地アングルを埋設するものとする。接地抵抗が10オーム以上の場合にはさらに埋設地線（1条30m）を深さ50cmに埋設して接地抵抗が10オーム以下になるように施工する。

(2) 支持物組立

(a) 鉄塔材の運搬

鉄塔材は資材置場より小型トラックと人肩を利用して鉄塔敷地まで運搬するように計画した。

また、鉄塔材を現場に配置する場合には地上に置くことをさけて、Wooden Blockの上に部材を置くようにする。

(b) 鉄塔組立

鉄塔部材の組立は Gin Pole Methodを原則とする。

なお、比較的 Access Roadの良い箇所はTrack Crane Methodで行い、工期短縮を計るようにする。

(c) ボルトおよびナットの締付け

すべてのボルトおよびナットの締付けは規定のトルクで締付けるものとする。

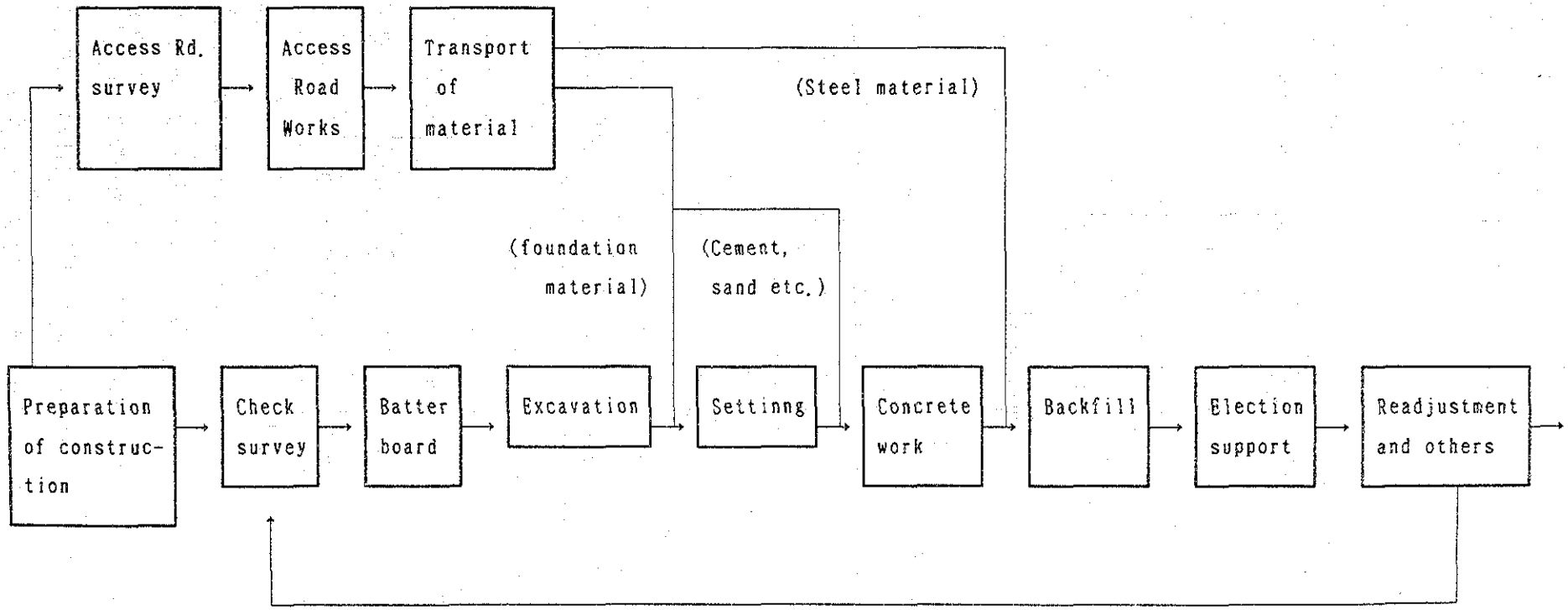


Fig 9-2 Flow Chart diagram of outline of construction of support (steel tower)

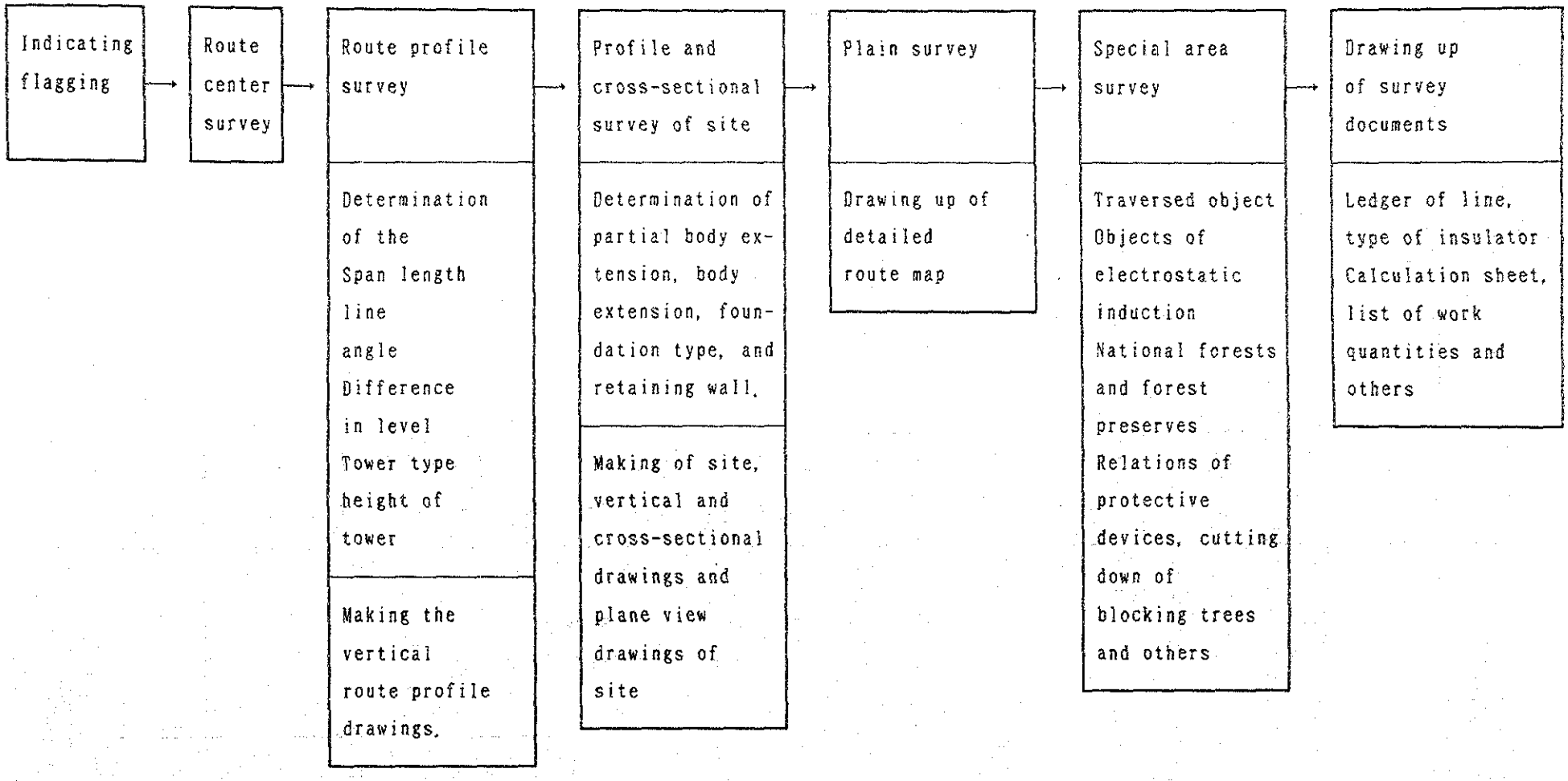


Fig 9-3 Outline of Survey Order

(d) 鉄塔付属品取付け

鉄塔組立終了後にすべての付属品（番号札、危険表示、枠別札等）を取り付けるものとする。

(3) 架線工事

支持物の建設が完了後、次に架線工事に入るが、その架線工事のFlow chartはFig 9-4 に示す通りである。

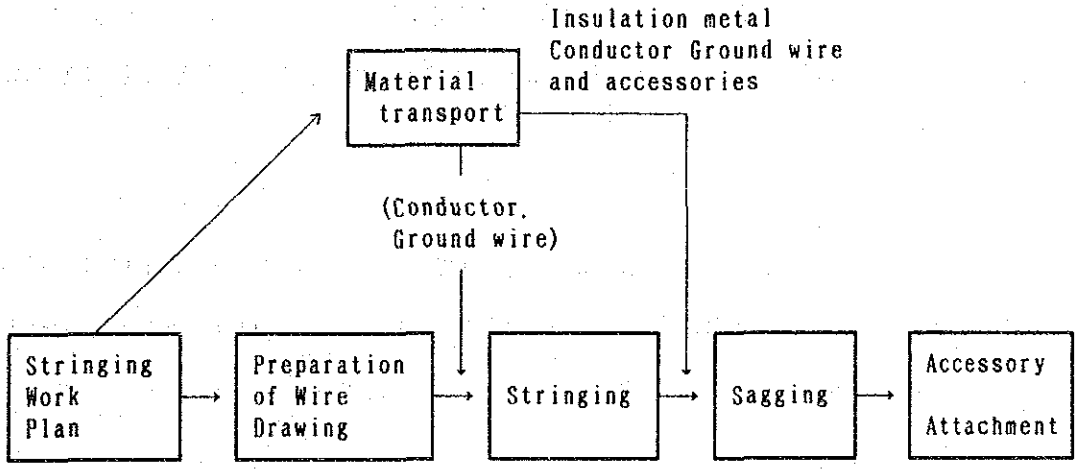


Fig 9-4 Flow Chart of stringing work

架線工事は、架線準備、延線工事、緊線工事および付属品取付工事に分ける。次に各種工事について述べる。

(a) 架線準備

架線準備の基本は架線計画の立案であり、計画する事項としては次のものがある。

i) 延線区間の決定，ドラム場・エンジン場の決定

ii) 足場設置箇所の決定，足場の設計

iii) 人員・資材・工具の配置計画

iv) 工事工程表の作成

v) 資材・工具の運搬計画

などである。延線工事では、延線区間内で作業位置が変化するとともに使用する工具の種類が多いので、これに伴う人員・工具の適正な配置が工事の能率向上、ひいては工期短縮を可能にする最も大きな要素である。すなわち、人員・工具の配置計

画が最少となるように計画立案するものとする。

なお、エンジン場とドラム場間の距離は 3.5~4.0 km毎になるように計画した。

なお、主要工具は次のものとする。

i) Tensioner ———— Capstan Diameterは 1.2m以上とする。

ii) Stringing Winch —— 最少 45HP 以上のエンジン付

iii) Stringing Block —— 溝径 450mm以上のアルミ釣車

iv) Messenger wire ——— 最少12mmφ以上のWirerope

(b) 延線工事

本工事に使用する延線工事は張力延線方式とする。

下部横断交さ物には必要に応じて防護足場(Scaffolding) を仮設して架渉線との接近防止に注意する。

(c) 緊線工事

架渉線の延線が完了したら、規定の弛度計算にしたがって、Sagging を行う。この場合には規定の弛度になるように弛度長を計算して Sag scaleにより測定した後、碍子連の圧縮クランプに圧縮してTensioningを完了する。

(d) 付属品取付け

緊線完了後電線にアマーロッドを取付けた後に懸垂碍子装置に装着する。その後、ダンパーの取付を行うものとする。

(4) 送電線の検査

送電線の工事完了後に全支持物および全区間に亘って目視検査を行い、必要によっては抜取り検査を行う。

全線の工事が規定通り完成した事を確認後、送電線としての性能を確認する試験を次の通り行うものとする。

(1) Line Insulation Test

(2) Phase Test

(3) Line Trial Charging Test

9－4－2 変電所工事

変電所建設工事の主たる工事は送電線建設工事に準じて行うものとする。

なお、変電所工事のうち、特に重量物の運搬、据付については、次のように行うものとする。

(1) 重量物の運搬

重量物の荷揚港においては100ton Barge Craneにより荷降しを行い、内陸輸送については低床式トレーラーによる運搬とする。よって運搬路については事前に道路の荷重制限、最少回転半径、トンネルの高さ等を調査して計画立案するものとする。変電所内の移動については枕木とコロー等により設置場所まで移動させる計画とする。

(2) 重量物の据付け

主変圧器等の重量物は所定の位置に設置後ロックボルトにて完全に締付けるものとする。

(3) 接地線工事

変電所の接地は電力機器の保護上重要であるので接地用銅線を地下 100cmに埋設する。布設方式はメッシュ方式として各交さ個所は圧縮クランプで接続するものとする。

(4) 工事完了後の検査

変電所の工事が完成後は受入試験を行うものとする。

9－4－3 通信設備工事

通信設備の施工計画は変電所の工事に準じて行うが、特に通信設備についての注意箇所について次に述べる。

(1) 通信機器の据付

通信機器の据付けは所定の位置に据付けるものとする。

(2) 既設備との接続

通信設備は既設との協調が重要であるので据付後は規定の配線接続図にしたがって接続を行うものとする。

(3) 通信設備の検査

通信設備の完成後は既設備との協調を試験するために対向試験を行い、規定の仕様を確認するものとする。

第10章　経済分析および財務分析

第10章 経済分析および財務分析

10－1 分析の基本的考え方

経済分析においては、本プロジェクトの総費用現価換算値と代替プロジェクトの総費用現価換算値を比較することにより、本プロジェクトの経済性を検討する。代替プロジェクトとしては、本プロジェクトの受電端電力に相当するガスタービン発電所を Lilongwe 近傍に設置することを考えた。

財務分析においては、本プロジェクトの総営業収益（売電収益）の現価換算値と本プロジェクトの総費用現価換算値とが等しくなる割引率、すなわち財務的内部収益率を求めることにより、本プロジェクトの財務性を検討する。

10－2 分析のための基本的諸元

10－2－1 本プロジェクトの工事費

第9章で積算したものを用いる。なお、耐用年数は35年とする。

10－2－2 代替プロジェクトの諸元

ガスタービン発電所の送電端電力を、本プロジェクトの受電端電力30MWと同じとし、所内率、補修・事故率、気温による出力低下率を考慮し、設備容量を42MWとした。以下にガスタービン発電所の主要諸元を示す。

設備容量	:	42MW
所内率	:	0.7%
補修・事故率	:	15.5%
出力低下率	:	14%（35℃）
熱効率（送電端）	:	26%
軽油発熱量	:	8,900 kcal／ℓ
燃料消費率（送電端）	:	0.372 ℓ／kWh
建設単価	:	390US$／kW
耐用年数	:	25年

（注）所要設備容量×（1－所内率）×（1－補修・事故率）×（1－出力低下率）
＝30MW より、

$$所要設備容量 = \frac{30}{(1-0.007)(1-0.155)(1-0.14)} = 41.6 \fallingdotseq 42MW$$

10－2－3　代替プロジェクトの工事費

10－2－2に示した諸元により、代替ガスタービンの工事費は、

42,000 × 390 ＝ 16.38 million US$ (43.73 million M.Kw)

となる。この年度別支出を第1年度20%、第2年度80%とすると、年度展開は次のようになる。

第1年度　3.28 million US$ (8.76 million M.Kw)

第2年度　13.10 million US$ (34.97 million M.Kw)

10－2－4　O＆Mコスト

本プロジェクトのO＆Mコスト（一般管理費含む。）は、工事費の2.5％、代替プロジェクトのO＆Mコスト（一般管理費含む。）は工事費の5％とした。

10－2－5　燃料コスト

代替プロジェクトとしてのガスタービン発電所の燃料である軽油のＥＳＣＯＭ購入価格は、1989年3月実績で 1,556M.Kw／ℓである。これを 0.3746US$／M.Kwで換算すると、0.583US$／ℓとなる。これに10－2－2で示した燃料消費率（送電端）を乗ずると、送電端燃料コストは、 0.2168US$／kWh となる。

10－2－6　供給電力コスト

本プロジェクト完成後、Lilongwe地区に供給する電力は、Malawi国南部の水力発電所よりの電力とする。この発電単価は、1988年のＥＳＣＯＭ収支実績を基に以下のように決定した。

1988年の販売電力量は 477.46GWh、営業費用は 25.69 million M.Kw 、支払利息は9.26 million M.Kw である。ＥＳＣＯＭの発生電力量はほぼ 100%水力によるものであるため、上記営業費用と支払利息の和と販売電力量の比をもって、本プロジェクトにおける供給電力コストとした。すなわち、

$$(25.69 + 9.26)/447.46 = 0.0732 \text{M.Kw}/\text{kWh}$$

$$= 0.0732 \times 0.3746$$

$$= 0.0274 \text{US\$}/\text{kWh}$$

10－2－7　販売電力単価

本プロジェクトの営業収益算定の基礎となる販売電力単価は、本プロジェクト運開年1992年、ＥＳＣＯＭが予定している平均販売電力単価0.1347M.Kw／kWh ＝ 0.0505US$／kWh を用いることとする。

10－3　経済分析

10－3－1　均等化経費による比較

本プロジェクトと代替プロジェクトを、資本の機会費用として通常用いられている社会的割引率10%を用いて、均等化経費により経済性を比較する。ここで、基準年を1989年とし、２つのプロジェクトの運開年を1992年とし、評価対象期間は本プロジェクト2026年、代替プロジェクト2016年までとする。

Ｏ＆Ｍコストは、10－２－４により、

本プロジェクト：　34.88×0.025 ＝ 0.872 million US$／年

代替プロジェクト：16.38×0.05　＝ 0.819 million US$／年

である。

また、代替プロジェクトの燃料費および本プロジェクトの供給電力費算定のためのLilongwe地区の受電電力量は、30MW、負荷率60%、すなわち 1.577×10^8kWh／年とした。実際には、年によって変動があるが、これは10－３－２章で正当化される。よって、燃料費は $1.577\times10^8\times27.3=$ 34.19 million US$／年、供給電力費は $1.577\times10^8\times34.19$ ＝4.32 million US$／年となる。

結果をTable 10－１および Table 10 －２に示すが、均等化年経費は本プロジェクトで8.83 millionUS$ ／年(23.57 million M.Kw/年) 代替プロジェクトで36.85 million US$ ／年 (98.34 million M.Kw) となる。

代替プロジェクトは、差で28.01 million US$ ／年(74.77 million M.Kw ／年) 、比で4.17だけ本プロジェクトを上回っており、本プロジェクトがはるかに経済的であることがわかる。

10－3－2　送電電力量の経済性に対する影響

10－３－１章で示したように、本プロジェクトの経済的優位性が明らかになったが、これは軽油価格が高いことが大きく関係している（日本の９電力87年度実績は0.25 US$／ℓ

約43%である）。よって以下では、本プロジェクトの送電電力がどこまで下がっても、本プロジェクトの経済性が保たれるかを計算してみる。

供給電力費、燃料費の均等化年経費は、それぞれ4.32 million US$、34.19 million US$であり、これらはともに送電電力PMWに比例するとする（負荷率は60%で不変とする）。しからば、送電電力がPMWの時、本プロジェクトの均等化年経費が代替プロジェクトの均等化年経費を下回る時、以下の不等式が成立する。

$$(8.83-4.32)+4.32\times\frac{P}{30}\leqq(36.85-34.19)+34.19\times\frac{P}{30}$$

これを変形すると、

$$29.87\times\frac{P}{30}\geqq 1.85$$

よって、

$$P\geqq 0.0619\times 30=1.9\ \mathrm{MW}$$

すなわち、本プロジェクトの受電電力が1.9 MW（負荷率60%）以上なら、本プロジェクトの方が経済性が高いことになる。

実際の受電電力は運開年20MW程度あり、その後5年以内に30MW以上に達することが、第7章に示されている。よって、実際の受電電力で計算しても、上記の結果から、同様に本プロジェクトがはるかに高い経済性を有することが結論できる。

Table 10－1　本プロジェクトの均等化年経費

(Million US$、割引率10%)

No.	年	工事費	O & M	供給電力費	合計
	1989	0.57			0.57
	90	4.25			4.25
	91	26.57			26.57
1	92	3.49	0.872	4.32	8.69
2	93		0.872	4.32	5.19
3	94		0.872	4.32	5.19
4	95		0.872	4.32	5.19
5	96		0.872	4.32	5.19
6	97		0.872	4.32	5.19
7	98		0.872	4.32	5.19
8	99		0.872	4.32	5.19
9	2000		0.872	4.32	5.19
10	01		0.872	4.32	5.19
11	02		0.872	4.32	5.19
12	03		0.872	4.32	5.19
13	04		0.872	4.32	5.19
14	05		0.872	4.32	5.19
15	06		0.872	4.32	5.19
16	07		0.872	4.32	5.19
17	08		0.872	4.32	5.19
18	09		0.872	4.32	5.19
19	10		0.872	4.32	5.19
20	11		0.872	4.32	5.19
21	12		0.872	4.32	5.19
22	13		0.872	4.32	5.19
23	14		0.872	4.32	5.19
24	15		0.872	4.32	5.19
25	16		0.872	4.32	5.19
26	17		0.872	4.32	5.19
27	18		0.872	4.32	5.19
28	19		0.872	4.32	5.19
29	20		0.872	4.32	5.19
30	21		0.872	4.32	5.19
31	22		0.872	4.32	5.19
32	23		0.872	4.32	5.19
33	24		0.872	4.32	5.19
34	25		0.872	4.32	5.19
35	26		0.872	4.32	5.19
現在価値計		26.38	6.33	31.30	64.01

均等化年経費　8.83

（注）均等化年経費は、現在価値合計に、割引率10%、期間35年の時の資本回収係数 0.10369および基準年を運開年に変更する係数 1.1^3 を乗ずることにより求まる。

Table 10 －2　代替プロジェクトの均等化年経費

(Million US$、割引率10%)

No.	年	工事費	O & M	燃料費	合計
	1989	3.28			0
	90	13.10			3.28
	91				13.10
1	92		0.819	34.19	35.01
2	93		0.819	34.19	35.01
3	94		0.819	34.19	35.01
4	95		0.819	34.19	35.01
5	96		0.819	34.19	35.01
6	97		0.819	34.19	35.01
7	98		0.819	34.19	35.01
8	99		0.819	34.19	35.01
9	2000		0.819	34.19	35.01
10	01		0.819	34.19	35.01
11	02		0.819	34.19	35.01
12	03		0.819	34.19	35.01
13	04		0.819	34.19	35.01
14	05		0.819	34.19	35.01
15	06		0.819	34.19	35.01
16	07		0.819	34.19	35.01
17	08		0.819	34.19	35.01
18	09		0.819	34.19	35.01
19	10		0.819	34.19	35.01
20	11		0.819	34.19	35.01
21	12		0.819	34.19	35.01
22	13		0.819	34.19	35.01
23	14		0.819	34.19	35.01
24	15		0.819	34.19	35.01
25	16		0.819	34.19	35.01
現在価値計		12.55	5.58	233.15	251.28

均等化年経費　36.85

（注）均等化年経費は、現在価値合計に割引率10%、期間25年の時の資本回収係数 0.11017および基準年を運開年に変更する係数1.1^3を乗ずることにより求まる。

10－3－3　2回線鉄塔の経済性

本プロジェクトは、2回線鉄塔を建設し、まず1回線を架設、その後 Lilongwe 地区の需要増に合わせてさらに1回線を架設することにしている。以下では、何故1回線鉄塔を需要増に合わせて段階的に増設せず、上記の計画を採用したのかを経済性の観点から説明する。

それぞれの計画における送電線関係の工事費の年度展開は、Table 10－3およびTable10－4のようになる。ただし、2回線鉄塔で1回線架設までの工事費は、第9章に示した通りであり、これはまた2回線目増設および1回線鉄塔工事の間接費算定の参考となっている。

Table 10－3　2回線鉄塔で1回線ずつ建設

(Million US$)

項目	合計	1回線目（工事年）				2回線目
		#1	#2	#3	#4	
送電線	19.44	—	1.87	15.63	1.95	10.32
線下補償	0.20	0.08	0.06	0.06	—	—
一般管理費	0.24	0.02	0.10	0.10	0.02	0.08
技術費	2.98	0.41	1.21	0.97	0.39	0.99
予備費	3.17	0.05	0.39	2.41	0.32	1.14
合計	26.02	0.56	3.62	19.16	2.68	12.54

総裸工事費：　26.02 ＋ 12.54＝ 38.56 million US$

Table 10－4　1回線鉄塔ずつ建設

(Million US$)

項目	合計	工事年		
		#1	#2	#3
送電線	17.47	7.86	7.86	1.75
線下補償	0.20	0.10	0.10	—
一般管理費	0.16	0.07	0.07	0.02
技術費	1.99	0.90	0.90	0.20
予備費	1.99	0.90	0.90	0.20
合計	21.80	9.83	9.81	2.16

総裸工事費：21.80×2ルート＝ 43.60 million US$

2つの計画を、1989年を基準とした現在価値合計で経済比較することにする。2回線目は、本プロジェクト運開年である1992年を第1年目として、第n年目に運開するとする。

(1) 2回線鉄塔で1回線ずつ建設する場合（単位：Million US$）

$$\begin{cases} \dfrac{0.56}{1.1} + \dfrac{3.62}{1.1^2} + \dfrac{19.16}{1.1^3} + \dfrac{2.68}{1.1^4} = 19.73 & \text{（1回線目）} \\ \dfrac{12.54}{1.1^{n+2}} & \text{（2回線目）} \end{cases}$$

(2) 1回線鉄塔ずつ建設する場合（単位：Million US$）

$$\begin{cases} \dfrac{9.83}{1.1^2} + \dfrac{9.81}{1.1^3} + \dfrac{2.16}{1.1^4} = 16.97 & \text{（1回線目）} \\ \dfrac{16.97}{1.1^{n-1}} & \text{（2回線目）} \end{cases}$$

(1)が(2)より経済的である条件は、

$$19.73 + \frac{12.54}{1.1^{n+2}} \leqq 16.97 + \frac{16.97}{1.1^{n-1}}$$

これを解いて、

$$1.1^{n+2} \leqq 10.05 / 2.76 = 3.63605$$

$$n + 2 \leqq \log 3.63605 / \log 1.1 = 13.54$$

よって、

$$n \leqq 11.5$$

すなわち、2回線目増設が1回線目運開より11.5年以内なら、2回線鉄塔で1回線ずつ建設する方が経済的であることがわかった。第7章で示した年度別潮流からわかるように、運開8年目である1999年以降は2回線目が必要になるので、本プロジェクトでは、2回線鉄塔で1回線ずつ建設することにした。

10－4 財務分析

10－4－1 財務的内部収益率

財務的内部収益率（ＦＩＲＲ）とは、当該プロジェクトの収益と費用それぞれの現在価値合計が等しくなるような割引率のことをいう。

本プロジェクトの供給電力量（受電端）は、第7章で示した年度別潮流より、また供給

電力費、収益は、10－2－6および10－2－7章で示した単価をこれに乗ずることにより Table 10 －5のようになる（負荷率は全期間60%とする）。

Table 10－5　年度別供給電力費および収益

年次	供給電力 (MW)	供給電力量 (10^6kWh)	供給電力費 (Million US$)	収　益 (Million US$)
1992	20	105.1	2.88	5.30
93	23	121.9	3.34	6.15
94	27	141.9	3.89	7.16
95	30	157.7	4.32	7.95
96	34	178.7	4.90	9.01
97	38	199.7	5.47	10.07
98	40	210.2	5.76	10.60
99	42	220.8	6.05	11.13
2000	42	220.8	6.05	11.13
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2026	42	220.8	6.05	11.13

また、工事費およびO＆Mコストは、経済分析と同様であるので、ＦＩＲＲ算定結果は Table 10－6のようになる。

これによると、本プロジェクトのＦＩＲＲは9.1%となり、財務的に十分経済的であるといえる。

Table 10－6　財務的内部収益率算定表

(Million US$)

No.	年	収益	費用				
			工事費	O & M	供給電力費	計	
	1989		0.57			0.57	
	90		4.25			4.25	
	91		26.57			26.57	
1	92	5.30	3.49	0.87	2.88	7.25	
2	93	6.15		0.87	3.34	4.22	
3	94	7.16		0.87	3.89	4.76	
4	95	7.95		0.87	4.32	5.19	
5	96	9.01		0.87	4.90	5.77	
6	97	10.07		0.87	5.47	6.35	
7	98	10.60		0.87	5.76	6.63	
8	99	11.13		0.87	6.05	6.93	
9	2000	11.13		0.87	6.05	6.93	
10	01	11.13		0.87	6.05	6.93	
11	02	11.13		0.87	6.05	6.93	
12	03	11.13		0.87	6.05	6.93	
13	04	11.13		0.87	6.05	6.93	
14	05	11.13		0.87	6.05	6.93	
15	06	11.13		0.87	6.05	6.93	
16	07	11.13		0.87	6.05	6.93	
17	08	11.13		0.87	6.05	6.93	
18	09	11.13		0.87	6.05	6.93	
19	10	11.13		0.87	6.05	6.93	
20	11	11.13		0.87	6.05	6.93	
21	12	11.13		0.87	6.05	6.93	
22	13	11.13		0.87	6.05	6.93	
23	14	11.13		0.87	6.05	6.93	
24	15	11.13		0.87	6.05	6.93	
25	16	11.13		0.87	6.05	6.93	
26	17	11.13		0.87	6.05	6.93	
27	18	11.13		0.87	6.05	6.93	
28	19	11.13		0.87	6.05	6.93	
29	20	11.13		0.87	6.05	6.93	
30	21	11.13		0.87	6.05	6.93	
31	22	11.13		0.87	6.05	6.93	
32	23	11.13		0.87	6.05	6.93	
33	24	11.13		0.87	6.05	6.93	
34	25	11.13		0.87	6.05	6.93	
35	26	11.13		0.87	6.05	6.93	
現在価値計							収益－費用
割引率 9 %		77.57	27.10	7.13	42.17	77.43	+0.15
10%		68.07	26.38	6.33	37.00	69.71	△1.64

$$FIRR = 9 + \frac{0.15}{0.15 + 1.64} = 9.1\%$$