

# UHV 交流送電容量に対する 下位電圧系統の有効接地化の影響

木 村 久 男\*

Influence of the Effective Grounding of the Lower Voltage Power Systems to the Transmission Capacity of the UHV (Ultra High Voltage) Power Network.  
By Dr. Hisao KIMURA, Professor.

## 内容梗概

154~22KV 系を有効接地化することにより、500KV、275KV 系の送電容量が、31GW から 46 GW に増大 (44.5%) することを、computer による潮流計算の結果として例示している。

By the Effective Grounding of 154~22KV power systems, the Transmission Capacities of UHV-Networks of 500 and 275 KV could be boosted from 31 GW to 46 GW (44.5% increase) as the results of the example execution of power flow program of the computer.

## 1. まえがき

### 1.1 背 景

我国の電力系統の中性点接地方式と、米英仏等の各国の方式との間に大きい差があることは、数十年前からの論議の対象であった。即ち、154 KV 以下 22 KV までの各電圧における中性点接地方式は、非接地方式、高抵抗接地方式及び消弧線輪接地方式が、我国の方式であるのに対して、欧米各国はすべて「有効接地」系を標準としていることはよく知られている。

この事実に対する解釈が2つあって、1つは「夫々の国情の相違だから、方式の相違があるのは止むを得ない。」という解釈と、もう1つの解釈は筆者等の考え方であって、「円とドルは連結して換算され得るものであり、KWH も欧米と我国で差がある筈がないのであるから、重大なる経済的影響のある接地方式の差は『国情の相違』などというものはなく、『どちらかが技術的に誤謬を犯している』にちがいない。」というものである。筆者等の従来検討の結果から判断すれば、それは、欧米の結論が正しく、我国の非有効接地論が誤謬を含んでいることが明らかであったのである。

この様な背景において、更に「有効接地」の優位を裏付けるもう一つの点を明確にすることが出来たわけであって、本文に報告するように「電力潮流解析において、154 KV~22 KV を有効接地化し、二巻線変圧器の代りに、単巻変圧器におきかえることにより、送電容量を格段に増加することが出来る」ことが明らかになったわけである。

---

\* 理工学部電気工学科教授 電力技術特論

## 1.2 関連研究

関連のある研究は、筆者は数十年前から継続して行ってきたが、最近それ等を1冊にまとめることができた<sup>(1)</sup>。有効接地の優位性について、種々の角度から検討し、実測し、調査したものである。

まず、有効接地系には、単巻変圧器が用いられるので、変圧器の重量が軽減されることが論ぜられた<sup>(2)</sup>。

非接地系においては共振異常電圧が発生する機構が多いことが解析された<sup>(3)</sup>。

系統が大きくなると消弧線路系の消弧率が悪くなるため、2線地絡にまで事故が拡大することが多い<sup>(4)</sup>。

絶縁を低減することが、有効接地系では可能であることが、避雷器事故統計から確認せられた<sup>(5)</sup>。

有効接地化の最大の障害になっていた誘導障害に関して、欧米との考え方の相違を調査した<sup>(6)</sup>。

有効接地化すれば、 $\sqrt{3}$ 倍昇圧が可能であることを絶縁協調の点から確信し<sup>(7)</sup>、之を実施するために、実地の試験を実行し<sup>(8)</sup>、実施された昇圧系統の3年間の事故統計の結果、昇圧は成功したことを認めた<sup>(9)</sup>。

地絡事故を1線地絡のみでなく、2線地絡まで考えて、COMPUTERによる誘導電圧の統計的処理を行った結果、有効接地の方が誘導電圧が小さいことがわかった<sup>(10)</sup>。このことは従来の誘導障害の考え方の誤謬を完全に指摘したものであった。

非有効接地系に対しては、変圧器の内部電位振動の考え方から見て、設計が難しく、有効接地系の変圧器の設計が合理的で容易になることもわかった<sup>(11)</sup>。

単巻変圧器は、二巻線変圧器に比し、損失が1/2になるので、154~22 KVをすべて有効接地化した場合の全国的損失が節約出来る量は、300万KW・年に上り、昭和56年当時として、電力代として5,000億円、燃料の石油は年約500万トン、燃料代として年約3,000億円の節約が可能となることを示した<sup>(12)</sup>。

## 1.3 位置付け

本論文は、有効接地の優位性を示す、過去の関連研究に、更にもう1つの優位性を付加するものである。そのための参考として、昭和56—3月の電学誌「技術レポート」<sup>(13)</sup>を引用させて頂くこととする。

下位系統としては、500 KVしか考慮していないこのレポートは、下位系統として154 KVまで考慮すべきではないかという筆者の考え方とは、7つの点で見解を異にしており、その中には明らかに誤謬といえるものがあつた。そこで「誌上討論」をして頂くつもりで、原稿を提出したが、「技術レポートには誌上討論のルールはない」ことを理由に「誌上討論」を拒否されたわけである。しかし編集当事者の御好意により、「UHV送電特別委員会幹事団」(以下、幹という)から、実質的な回答が個人的に寄せられて来た。しかしながら7項目の疑問に対して、4項目の回答があっただけであつたが、それにしても明らかな誤謬が含まれていた点について触れてみたいと思う。

幹「“系統構成の外国と我国の相違が無視され、同一のものと仮定して、云々”と指摘された技術レポートには“それぞれの国の事情に応じて、云々”と記述しており、誤謬と思われる。外国の状況については、海外調査団を派遣して十分調査しており、木村先生のご心配されるような誤を犯していることはない。」

木村「“それぞれの国情に応じて”の解釈が、小生とは全て別の形であって、小生の考えらは、“Electron は世界共通であり”，“電力エネルギーの経済性も世界共通である”というもので、日米の系統構成に差があれば，“どちらかが技術的に誤を犯している”というものである。幹事団諸兄の見解は“世界一高価な電気料金”につながっているように思われる。」

木村「海外調査の件であるが、小生が調査した1954年には既に欧米では、有効接地問題は解決済で、Topics から消えていた。従って日本の非有効接地問題に参考になるような調査は困難を極めたことは事実である。その後、この困難な問題を、あえて調査された方の話は聞いたことがないので、心配しているわけである。」

幹「我国のように過密化した国土においては、負荷側の系統に対しては、短絡容量抑制のため、インピーダンスの大きい変圧器の採用される例も多い。」

木村「欧米の都市の中には、我国と同程度に過密化した部分があり、我国だけの特殊事情ではない。その欧米では、短絡容量抑制のためにインピーダンスの大きい変圧器を採用した例は皆無であり、我国の電力会社でも、その例は全くない。何かの違いであろう。」

幹「UHV 系統の安定度問題においては、500 KV 以上に接続される同期機間の相差角変動が重要なファクターとなっており、154 KV 系以下の電源、負荷の影響は少なくなっている。」

木村「送受端の同期機の相差角が送電容量を決定することは明らかであるが、『500 KV 系以上』に限定し、下位系統を無視することは理解出来ない。このような独断的判断を示しておられることは、COMPUTER が果して使用されたかどうか疑わしめるものがある。」

幹「従って、154 KV～22 KV 系統の有効接地の問題は、UHV 目標電圧の選定と直接的な関係はないものと考えられ、木村先生の主張される『手順前後』の行動を進めているものではない。」

木村「154KV 以下の下位系統は、インピーダンスが大きい変圧器が使われているから、“UHV 目標電圧の選定、即ち送電容量には関係はない”という主張は、変圧器のインピーダンスが『小さく』なれば、(例えば単巻変圧器使用)論拠が崩れることになる。」

「前の資料で説明したように、154 KV 以下を有効接地にすれば、毎年燃料石油で 3,000 億円、電力代として 5,000 億円が浮いてくるので、有効接地化を先にして、それで浮いた金で、UHV 系統を考えた方がよいのではないかという筆者の主張である。手順はその方が順当であろうということである。」

本論文の位置付けとしては、154 KV 系統も考慮に入れた 500 KV、275 KV のモデルにより、154 KV 系を非有効接地系と有効接地系を比較し、有効接地化された 154 KV 系統により、500 KV、275 KV の送電容量が、格段に増大することを COMPUTER による電力潮流計算によって立証しようと試みている。

#### 1.4 内容の概略説明

次章、以下においては、使用した潮流計算のプログラムと、モデル系統の常数のとり方について説明している。従来から我国に存在する 154 KV の非有効接地系のモデルを先ず計算し、之とはほぼ同じ系統に対して 154 KV 系を有効接地化し、従来 500 KV、275 KW とのつなぎに用いられていた二巻線変圧器の代りに、単巻変圧器を用いることにより、送受電間の位相角が如何に変化(減少)するかをしらべた。更に従来と同じ位相角にするた

めには、どの程度送電容量を増加すればよいかを計算した。その結果は予想通りで、このモデルの場合、144.5%の送電容量が可能となった。

## 2. 潮流計算プログラムと計算モデル

筆者は自ら潮流計算のプログラムを作成したことがあった<sup>(14),(15)</sup>。実行は都内の計算センターを利用したが、答は簡単に出来た。

潮流計算のモデルとしては、東京電力、中部電力、関西電力などから出された委員会報告や株主報告書その他から系統構成を作り上げ、500 KV, 275 KV, 154 KV などの送電線の常数は KM 当りの数字は広く発表されたものがあるので之を用い、系統の長さの概略が上記報告書でわかっているのです、ブランチの常数を定めた。

変圧器の常数は、昔変圧器設計を担当していた時に電力会社に提出した各電圧階級の常数を使用した。単巻変圧器のインピーダンスと損失が、二巻線変圧器の夫々 1/3, 1/2 になることは筆者の経験から来ている。

INPUT, OUTPUT は、KV, KW, %インピーダンスが用いられたが、COMPUTER の実行に当っては、PER UNIT の単位が用いられた。その基準値は電圧は 500 KV, 275 KV, 154 KV とし、容量は 1,000 MVA とした。

## 3. 計算例-1

この計算は、全負荷容量が約 3,000 万 KW 程度のモデルについて行ったもので、500KV 275 KV の有効接地系に、154 KV の非有効接地系が接続され、発電機及び負荷はすべて 154 KV 側にあるという仮定になっている。

モデル系統は、図-1 に示すように、発電機ノード 9 (G1~G9)、分岐及び負荷ノード 29 (11~39) であり、500 KV ブランチ 21, 275 KV ブランチ 16 で計 37 ブランチである。変圧器は、154/500 KV の昇圧変圧器が 4, 154/275 KV が 5, 500/275 KV の降圧変圧

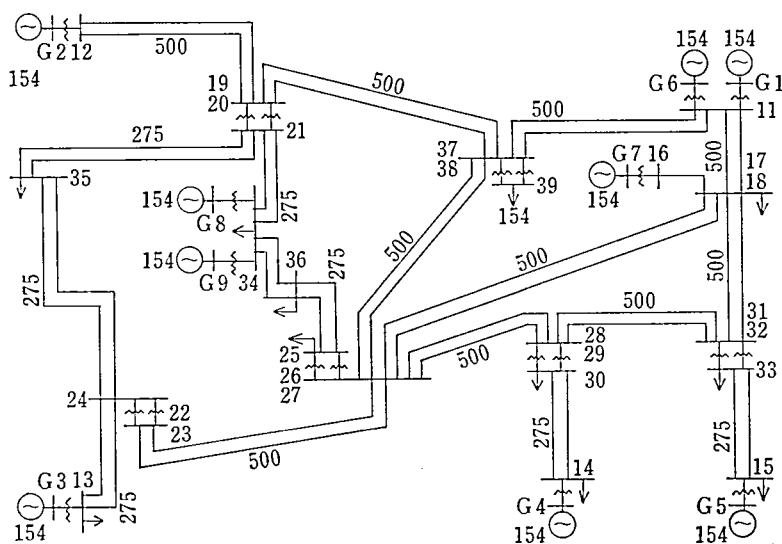


図 1 モデル系統図

器が10で、500/154 KV が2で、合計21である。

表1は、ノード表であって、拘束条件としては、発電機ノードはすべて電圧 Vest と発電電力 PGset が与えられる。この中 G2 は、\*印即ちスラックノードであり、系統損失を補償するための調整発電機であり、△印は、基準ノード、即ち100% 電圧を基準とし、その点の位相角を0度の基準とするノードである。G2 はこの2つ条件を兼ねることとした。

表1 ノード表

NODE 番 号	拘束 条件	電圧設定値 Vset [KV]	発電電力 [MW] PGset	負 荷		備 考 系 統
				PLset [MW]	QLset [MVAR]	
G1	P-V	154. 00	3910			154 KV
G2	"	"	3600			*△154
G3	"	155. 54	7290			154
G4	"	"	1880			154
G5	"	"	7080			154
G6	"	154. 00	1200			154
G7	"	"	1100			154
G8	"	155. 54	3100			154
G9	"	"	2000			154
11	P-Q			0	0	500
12	"			0	0	500
13	"			2840	930	275
14	P-V	275. 00		1540	500	275
15	"	"		8090	2660	275
16	P-Q			0	0	500
17	"			350	120	500
18	"			0	0	500
19	"			0	0	500
20	"			0	0	500
21	P-V	277. 75		0	0	275
22	P-Q			0	0	500
23	P-Q			0	0	500 KV
24	P-V	280. 50		0	0	275
25	P-Q			0	0	275
26	"			0	0	500
27	P-V	512. 50		3510	1150	500
28	P-Q			0	0	500
29	"			0	0	500
30	P-V	281. 88		3870	1270	275
31	P-Q			0	0	500
32	"			0	0	500
33	P-V	277. 75		2560	840	275
34	"	"		1440	470	275
35	"	275. 00		3010	990	275
36	"	"		1740	570	275
37	P-Q			0	0	500
38	"			0	0	500
39	P-V	157. 85		1800	590	154

分岐及び負荷ノードの拘束条件は、電圧 Vset と負荷 PLset, QLset の組合せか、或は負荷の有効電力 PLset と無効電力 QLset の組合せかのどちらかになっている。備考に系統電圧 500, 275, 154 KV の区別を示している。

表2 ブランチ表

NODE		Z [%]			備	考
FROM	TO	R [%]	jX [%]	jY/Z [%]		系統
11	17	0.96	13.7	6.1	1回線模擬	500
11	18	0.96	13.7	6.1	"	500
11	37	1.132	18.853	8.695	"	500
11	38	1.132	18.853	8.695	"	500
17	16	0.406	19.19	1.55	"	500
17	25	0.47	6.7	3.0	"	500
17	31	0.64	19.7	12.0	"	500
18	26	0.47	6.7	3.0	"	500
18	32	0.64	19.7	12.0	"	500
19	12	0.38	10.23	5.21	"	500
20	12	0.38	10.23	5.21	"	500
21	34	0.44	7.94	0.367	2回線模擬	No 1 275
21	34	0.44	7.94	0.367	"	No 2 275
21	35	0.759	15.75	0.805	"	No 1 275
21	35	0.759	15.75	0.805	"	No 2 275
24	13	0.160	2.30	1.00	"	No 1 275
24	13	0.160	2.30	1.00	"	No 2 275
25	22	0.67	9.50	4.30	1回線模擬	500
26	23	0.67	9.50	4.30	"	500
28	25	0.45	6.43	2.90	1回線模擬	500
29	26	0.45	6.43	2.90	"	500
30	14	0.79	11.29	5.10	2回線模擬	No 1 275
30	14	0.79	11.29	5.10	"	No 2 275
31	28	0.16	3.76	1.89	1回線模擬	500
32	29	0.16	3.76	1.89	"	500
33	15	0.79	11.29	5.10	2回線模擬	No 1 275
33	15	0.79	11.29	5.10	"	No 2 275
34	36	1.868	25.71	1.331	"	No 1 275
34	36	1.868	25.71	1.331	"	No 2 275
35	24	0.478	12.85	0.613	"	No 1 275
35	24	0.478	12.85	0.613	"	No 2 275
36	25	1.732	12.97	0.911	"	No 1 275
36	25	1.732	12.97	0.911	"	No 2 275
37	19	0.256	7.08	3.587	1回線模擬	500
37	26	0.036	0.997	0.531	"	500
38	20	0.256	7.08	3.587	"	500
38	27	0.036	0.997	0.531	"	500

表2は、ブランチの表であって、500 KV ブランチ 21, 275 KV ブランチ16, 計 37 ブランチの常数と、FROM NODE と TO NODE 番号を示している。154 KV 系統は、発電機のみでブランチは考慮されていない。ブランチは1回線で考えたり、2回線として考えたりしているが、別に特別の意味はなかった。

表3は、トランス表である。1次ノードと2次ノードの番号、そのインピーダンス  $Z$  [%], タップ電圧 [KV] が与えられている。1次又は2次系が 154 KV の時は二巻線変圧器であり、500/275 KV の時は単巻変圧器になっている。

表3 トランス表

1 次 NODE	2 次 NODE	Z [%]		タップ [KV]		備 考 系統
		R [%]	jX [%]	1 次	2 次	
G1	11	0	3. 0	154. 00	538. 50	二巻線 154 / 500 KV
G2	12	0	3. 125	154. 00	525. 00	" 154 / 500
G3	13	0	2. 5	154. 00	288. 75	" 154 / 275
G4	14	0	12. 5	154. 00	282. 43	" 154 / 275
G5	15	0	3. 125	154. 00	287. 38	" 154 / 275
G6	11	0	22. 06	154. 00	512. 50	" 154 / 500
G7	16	0	11. 67	154. 00	512. 50	" 154 / 500
G8	34	0	19. 458	154. 00	288. 75	" 154 / 275
G9	34	0	16. 275	154. 00	288. 75	" 154 / 275
19	21	0	7. 0	500. 00	275. 00	単巻線 500 / 275
20	21	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
22	24	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
23	24	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
25	27	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
26	27	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
28	30	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
29	30	0	4. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
31	33	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
32	33	0	7. 0	500. 00	275. 00	" 500 / 275
37	39	0	30. 61	500. 00	154. 00	二巻線 500 / 154
38	39	0	15. 3	500. 00	154. 00	" 500 / 154

表4は、計算結果であるが、本文の目的であるところの各ノードの位相角（度）を注目するために、ノードの計算結果のみを示すこととした。ブランチに関する大量の計算結果は、目的を外れているため、省略することとした。

表4 計算結果-1

NODE 番 号	拘 束 条 件	電 圧 P.U.	位 相 角 度	発 電		負 荷		調相機
				MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR
G1	P-V	1.0000	- 5.49	3910.0	1406.0	0.0	0.0	0.0
G2	"	1.0000	0.0	3486.8	831.7	0.0	0.0	0.0
G3	"	1.0100	- 0.35	7290.0	2226.9	0.0	0.0	0.0
G4	"	1.0100	- 23.96	1880.0	525.0	0.0	0.0	0.0
G5	"	1.0100	- 32.84	7080.0	2623.1	0.0	0.0	0.0
G6	"	1.0000	2.85	1200.0	64.7	0.0	0.0	0.0
G7	"	1.0000	- 2.86	1100.0	209.1	0.0	0.0	0.0
G8	"	1.0100	22.46	3100.0	1231.1	0.0	0.0	0.0
G9	"	1.0100	5.88	2000.0	640.3	0.0	0.0	0.0
11	P-Q	1.0435	- 11.48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	"	1.0305	- 5.78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	"	1.0225	-10.02	0.0	0.0	2480.0	930.0	0.0
14	P-V	1.0000	- 37.06	0.0	0.0	1540.0	500.0	- 147.2
15	"	1.0000	- 44.94	0.0	0.0	8090.0	2660.0	1455.8
16	P-Q	1.0090	- 9.99	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	"	1.0101	- 21.92	0.0	0.0	350.0	120.0	0.0
18	"	1.0101	- 21.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	"	1.0101	-15.58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	"	1.0101	-15.58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	P-V	1.0100	- 14.96	0.0	0.0	0.0	0.0	212.5
22	P-Q	1.0155	- 17.68	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	P-Q	1.0155	- 17.68	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	P-V	1.0200	- 12.53	0.0	0.0	0.0	0.0	758.3
25	P-Q	1.0086	- 24.31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	"	1.0086	- 24.31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	P-V	1.0250	- 30.23	0.0	0.0	3510.0	1150.0	2233.9
28	P-Q	1.0059	- 33.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	"	1.0059	- 33.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	P-V	1.0250	- 38.23	0.0	0.0	3870.0	1270.0	2568.7
31	P-Q	1.0040	- 34.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	P-Q	1.0040	- 34.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33	P-V	1.0100	- 41.72	0.0	0.0	2560.0	840.0	1268.0
34	"	1.0100	- 11.81	0.0	0.0	1440.0	470.0	1327.0
35	"	1.0000	- 19.79	0.0	0.0	3010.0	990.0	809.5
36	"	1.0000	- 28.33	0.0	0.0	1740.0	570.0	493.1
37	P-Q	1.0088	- 23.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38	"	1.0088	- 23.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39	P-V	1.0250	- 33.35	0.0	0.0	1800.0	590.0	914.3
合 計				31046.8	9757.8	30750.0	10090.0	11894.1



## 4. 計算例-2

計算例-2においては、例-1の二巻線変圧器を単巻変圧器に変更して、潮流計算を行い、送受電端の位相角の変化(減少)を見ることを目的として、計算が行われた。

表5は、例-2の場合のトランス表であるが、表-3と比較すると154KVに結ばれるトランス11個のインピーダンスが1/3になっている。

表5 トランス表

1 次 NODE	2 次 NODE	Z [%]		タップ [KV]		備 考 系 統
		R [%]	jX [%]	1 次	2 次	
G1	11	0	1.0	154.00	538.50	単巻線 154 / 500 KV
G2	12	0	1.042	154.00	525.00	" 154 / 500
G3	13	0	0.833	154.00	288.75	" 154 / 275
G4	14	0	4.167	154.00	282.43	" 154 / 275
G5	15	0	1.042	154.00	287.38	" 154 / 275
G6	11	0	7.353	154.00	512.50	" 154 / 500
G7	16	0	3.89	154.00	512.50	" 154 / 500
G8	34	0	6.486	154.00	288.75	" 154 / 275
G9	34	0	5.425	154.00	288.75	" 154 / 275
19	21	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
20	21	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
22	24	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
23	24	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
25	27	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
26	27	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
28	30	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
29	30	0	4.0	500.00	275.00	" 500 / 275
31	33	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
32	33	0	7.0	500.00	275.00	" 500 / 275
37	39	0	10.203	500.00	154.00	" 500 / 154
38	39	0	5.1	500.00	154.00	" 500 / 154

例-2の計算は、表-1のノード、表-2のブランチのデータはそのまま使用し、トランス表のみ表-5を用いて計算が行われた。表-1同様  $R=0$  とした。

その結果を示せば、表-6の如くであった。

表6 計算結果-2

NODE 番 号	拘 束 条 件	電 圧 P.U.	位 相 角 度	発 電		負 荷		調相機
				MW	MVAR	MW	MVAR	
G1	P-V	1.0000	- 5.69	3910.0	1696.4	0.0	0.0	0.0
G2	"	1.0000	0.0	3485.2	715.9	0.0	0.0	0.0
G3	"	1.0100	- 2.86	7290.0	2900.9	0.0	0.0	0.0
G4	"	1.0100	- 28.42	1880.0	998.8	0.0	0.0	0.0
G5	"	1.0100	- 36.61	7080.0	5864.1	0.0	0.0	0.0
G6	"	1.0000	- 3.00	1200.0	- 465.2	0.0	0.0	0.0
G7	"	1.0000	- 3.77	1100.0	124.7	0.0	0.0	0.0
G8	"	1.0100	3.13	3100.0	1119.3	0.0	0.0	0.0
G9	"	1.0100	- 1.88	2000.0	1088.7	0.0	0.0	0.0
11	P-Q	1.0619	- 7.65	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	"	1.0435	- 1.90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	"	1.0393	- 6.02	0.0	0.0	2840.0	930.0	0.0
14	P-V	1.0000	- 32.75	0.0	0.0	1540.0	500.0	- 888.1
15	"	1.0000	- 40.62	0.0	0.0	8090.0	2660.0	- 2593.8
16	P-Q	1.0211	- 6.11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	"	1.0199	- 17.79	0.0	0.0	350.0	120.0	0.0
18	"	1.0199	- 17.79	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	"	1.0166	- 11.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	"	1.0166	- 11.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	P-V	1.0100	- 10.86	0.0	0.0	0.0	0.0	27.1
22	P-Q	1.0183	- 13.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	P-Q	1.0183	- 13.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	P-V	1.0200	- 8.72	0.0	0.0	0.0	0.0	- 817.1
25	P-Q	1.0152	- 20.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	"	1.0152	- 20.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	P-V	1.0250	- 26.02	0.0	0.0	3510.0	1150.0	2038.3
28	P-Q	1.0088	- 28.94	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	"	1.0088	- 28.94	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	P-V	1.0250	- 33.93	0.0	0.0	3890.0	1270.0	2448.5
31	P-Q	1.0068	- 30.33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	"	1.0068	- 30.33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33	P-V	1.0100	- 37.40	0.0	0.0	2560.0	840.0	1184.4
34	"	1.0100	- 7.69	0.0	0.0	1440.0	470.0	- 697.9
35	"	1.0000	- 15.69	0.0	0.0	3010.0	990.0	809.8
36	"	1.0000	- 24.15	0.0	0.0	1740.0	570.0	490.8
37	P-Q	1.0168	- 18.95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38	"	1.0168	- 18.95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39	P-V	1.0250	- 22.32	0.0	0.0	1800.0	590.0	891.4
合 計				31045.1	14043.6	30750.0	10090.0	2893.4

### 5. 計算例-1と例-2の比較

154 KV を非有効接地とし、上位系統に対し二巻線変圧器で結んだ系統における潮流計算例-1の結果は表-4に示されているが、之に対し、154 KV を有効接地とし、上位系統に対し単巻変圧器で結んだ系統における潮流計算例-2の結果は、表-6に示されている。この2つの結果の要点を比較すれば、表-7を得る。

表7 例-1と例-2の比較

	計 算 例 — 1	計 算 例 — 2
総 発 電 量	3 1 0 4 6. 8 [MW]	3 1 0 4 5. 1 [MW]
総 負 荷 量	3 0 7 5 0. 0 [MW]	3 0 7 5 0. 0 [MW]
系統損失(送電線)	2 9 6. 9 [MW]	2 9 5. 2 [MW]
“ (変圧器)	8 7 7 9. 4 [MVAR]	4 1 3 6. 3 [MVAR]
発電機—負荷間の 最 大 位 相 差	G 8 と 15 の 間 で 6 7. 4 0 [度]	G 8 と 15 の 間 で 4 3. 7 5 [度]
発電機相互間の 最 大 位 相 差	G 8 と G 5 の 間 で 5 5. 3 0 [度]	G 8 と G 5 の 間 で 3 9. 7 4 [度]

表-7において、総発電量と送電線の系統損失が異なるのは、スラック発電機 G2 の出力が僅かに異なるためである。変圧器の系統損失は、単巻変圧器のリアクタンスを二巻線の場合の1/3にとった(表-5参照)ために、無効電力分が減少している。有効電力分に当る変圧器の抵抗 R を0として入力しているので、例-1、例-2共有効分損失は0である。

系統の安定度の目安となる発電機—負荷間の最大位相差は、例-1は67.40度、例-2は43.75度であり、例-2の方が安定度が増していることがわかる。

ここで、例-2の送電容量(総発電量並びに総負荷量)を増加させて、例-1の位相差と等しくすることが考えられた。即ち、有効接地化により単巻変圧器を用いたために増加する送電容量がわかることになるわけである。

例-2における送電容量をどれ位増加すると、例-1における位相差に等しくなるかという点について、検討の結果、その増加率 $\alpha$ は大体次式によって示されると思われた<sup>(16), (17), (18)</sup>。

$$\alpha = \frac{\sin(\text{発電機—負荷間最大位相差の差の絶対値})}{\sin(\text{発電機相互間最大位相差の差の絶対値})}$$

表-7より之等の数値を引用すれば、

$$\alpha = \frac{\sin |67.40 - 43.75|}{\sin |55.30 - 39.74|} = \frac{\sin(23.65)}{\sin(15.56)} = 1.445$$

を得る。

ここに得られた  $\alpha = 1.445$  という数値を用いて送電容量を増加した計算が、例-3である。

## 6. 計算例-3

前項で得られた  $\alpha$  の値を用い、表-1の発電力 PGset, 負荷 PLset, QLset を夫々 1.445 倍して修正したノード表が、表-8である。

表8 ノード表

NODE 番 号	拘束 条件	電圧設定値 Vset [KV]	発電力 (MW) PGset	負 荷		備 考 系 統
				PLset [MW]	QLset [MVAR]	
G1	P-V	154. 00	5847			154 KV
G2	"	"	5384			*△154
G3	"	155. 54	10902			154
G4	"	"	2811			154
G5	"	"	10588			154
G6	"	154. 00	1795			154
G7	"	"	1645			154
G8	"	155. 54	4636			154
G9	"	"	2991			154
11	P-Q			0	0	500
12	"			0	0	500
13	"			4247	1391	275
14	P-V	275. 00		2303	748	275
15	"	"		12098	3978	275
16	P-Q			0	0	500
17	"			523	179	500
18	"			0	0	500
19	"			0	0	500
20	"			0	0	500
21	P-V	277. 75		0	0	275
22	P-Q			0	0	500
23	P-Q			0	0	500 KV
24	P-V	280. 50		0	0	275
25	P-Q			0	0	275
26	"			0	0	500
27	P-V	512. 50		5249	1720	500
28	P-Q			0	0	500
29	"			0	0	500
30	P-V	281. 88		5787	1889	275
31	P-Q			0	0	500
32	"			0	0	500
33	P-V	277. 75		3828	1256	275
34	"	"		2153	703	275
35	"	275. 00		4501	1480	275
36	"	"		2602	852	275
37	P-Q			0	0	500
38	"			0	0	500
39	P-V	157. 85		2692	882	154

計算例-3は、ノードとしては表-8、ブランチとしては表-2、トランスとしては表-5を用いた計算である。

その結果を、表-9に示す。

表9 計算結果-3

NODE 番 号	拘 束 条 件	電 圧 P.U.	位 相 角 度	発 電		負 荷		調相機 MVAR
				MW	MVAR	MW	MVAR	
G1	P-V	1.0000	- 9.81	5847.0	3375.7	0.0	0.0	0.0
G2	"	1.0000	0.0	5466.6	1599.6	0.0	0.0	0.0
G3	"	1.0100	- 6.03	10902.0	3564.9	0.0	0.0	0.0
G4	"	1.0100	- 46.27	2811.0	1086.9	0.0	0.0	0.0
G5	"	1.0100	- 58.80	10588.0	6171.3	0.0	0.0	0.0
G6	"	1.0000	- 10.43	1795.0	- 886.3	0.0	0.0	0.0
G7	"	1.0000	- 6.66	1645.0	487.3	0.0	0.0	0.0
G8	"	1.0100	3.02	4636.0	1489.8	0.0	0.0	0.0
G9	"	1.0100	- 4.57	2991.0	1215.0	0.0	0.0	0.0
11	P-Q	1.0471	- 12.78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	"	1.0355	- 3.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	"	1.0361	- 10.75	0.0	0.0	4247.0	1391.0	0.0
14	P-V	1.0090	- 52.75	0.0	0.0	2303.0	748.0	- 559.5
15	"	1.0000	- 64.80	0.0	0.0	12098.0	3978.0	- 898.1
16	P-Q	1.0084	- 10.21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	"	0.9777	- 28.79	0.0	0.0	523.0	179.0	0.0
18	"	0.9777	- 28.79	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	"	0.9928	- 18.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	"	0.9928	- 18.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	P-V	1.0100	- 17.86	0.0	0.0	0.0	0.0	823.8
22	P-Q	1.0005	- 22.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	P-Q	1.0005	- 22.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	P-V	1.0200	- 14.85	0.0	0.0	0.0	0.0	511.5
25	P-Q	0.9849	- 32.55	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	"	0.9849	- 32.55	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	P-V	1.0250	- 41.60	0.0	0.0	5249.0	1720.0	3744.8
28	P-Q	0.9809	- 46.78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	"	0.9809	- 46.78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	P-V	1.0250	- 54.46	0.0	0.0	5787.0	1899.0	4420.3
31	P-Q	0.9776	- 49.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	"	0.9776	- 49.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33	P-V	1.0100	- 59.96	0.0	0.0	3828.0	1256.0	2735.3
34	"	1.0100	- 13.29	0.0	0.0	2153.0	703.0	397.6
35	"	1.0000	- 25.23	0.0	0.0	4501.0	1480.0	1564.7
36	"	1.0000	- 38.79	0.0	0.0	2602.0	852.0	1274.3
37	P-Q	0.9877	- 30.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
38	"	0.9877	- 30.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39	P-V	1.0250	- 35.85	0.0	0.0	2692.0	882.0	2129.3
合 計				46681.6	18104.2	45983.0	15088.0	16143.8

## 7. 計算例-1と例-3の比較

例-1の計算結果表-4と、例-3の計算結果、表-9を比較し、その要点を示せば、表-10の如くなる。

表10 例-1と例-3の比較

	計 算 例 - 1	計 算 例 - 3
総 発 電 量	3 1 0 4 6. 8 [MW]	4 6 6 8 1. 6 [MW]
総 負 荷 量	3 0 7 5 0. 0 [MW]	4 5 9 8 3. 0 [MW]
系統損失(送電線)	2 9 6. 9 [MW]	6 9 8. 6 [MW]
〃 (変圧器)	8 7 7 9. 4 [MVAR]	8 8 9 5. 8 [MVAR]
発電機一負荷間の 最 大 位 相 差	G 8 と 15 の 間 で 6 7. 4 0 [度]	G 8 と 15 の 間 で 6 7. 8 2 [度]
発電機相互間の 最 大 位 相 差	G 8 と G 5 の 間 で 5 5. 3 [度]	G 8 と G 5 の 間 で 6 1. 8 2 [度]

表-10において、発電機一負荷間の最大位相差は、例-1では67.40度、例-3では67.82度であって僅かな差が認められる。之は、前述の $\alpha$ の値を、小数第4位で四捨五入して求めたことに原因があると思われるので、この結果は、“よく一致した”位相差であると考えている。

送電容量が44.5%も増加しているため送電線の電流が増加して、その分の損失[MW]は増加しているが、リアクタンスのみを考えた変圧器損失[MVAR]は、僅かの増加にとどまっている。単巻変圧器の効果である。

之等の多少の変化はあるとはいえ、154 KV 側を有効接地化した場合には、上位送電系統の送電容量が相当に増加し得ることがわかったわけである。

## 8. 結 言

前に発表された“UHV 目標電圧”のレポートにおいて、154 KV 以下の下位系統を無視して、500 KV 系の送電容量が“不足”したので、1,100 KV 級の目標電圧を考え、10 GW の送電能力の増加が考えられている<sup>(18)</sup>。

之に対し、本文においては154 KV 以下を有効接地化し、単巻変圧器を使用した系統を構成すれば、31 GW の送電容量が46 GW に増加し、その差15 GW の送電能力の増加が可能になるという、1例を示したわけである。

送電容量の面からも「手順前後」ではないかと疑わしめるものがあるわけである。

[終]

## 文献

- (1) 木村久男 “電力系統工学における 有効接地問題の位置付け” アイピーシー社発行, 昭和55年5月30日.
- (2) 同上, p. 3, (3) 同上, p. 9, (4) 同上, p. 23, (5) 同上, p. 29,
- (6) 同上, p. 35, (7) 同上, p. 39, (8) 同上, p. 43, (9) 同上, p. 56,
- (10) 同上, p. 69, (11) 同上, p. 135, (12) 同上, p. 159.
- (13) 山田直平 “UHV 交流目標電圧の選定について” 電学誌, 技術レポート, 昭56-3月, p. 225~p. 227.
- (14) 木村久男 “Calculations of Power Flows on a Network involving Series Condensers or Three Winding Transformers”. 電気書院発行, 昭和40年4月
- (15) 木村久男 “電力潮流計算”(1)~(5), IP-71-2/6/9/12/13, 電気学会, 情報処理研究会, 昭和46年(5回)
- (16) 上之園親佐 “現代電力工学”, オーム社発行
- (17) 関根泰次他 “電力系統工学”, コロナ社発行
- (18) 関根泰次 “電力系統解析理論”, 電気書院発行