

大容量タービン発電機の運転特性

Operating Characteristics of Large Turbine Generators

庄 山 悦 彦* 古 山 昌 之*

Etsuhiko Shoyama

Masayuki Furuyama

要 旨

タービン発電機の大容量化による諸定数の変化が運転特性上に及ぼす影響を、主として温度上昇、機械的強度、系統安定度について検討し、諸運転特性についても事前検討によりじゅうぶん予測できることを示した。

1. 緒 言

タービン発電機の大容量化が進められるにつれ、個々の発電機の電力系統に及ぼす影響が大きくなっていく。一方、発電機自体としては、単一軸材の製作限界、電気的熱的機械的な問題から制限される限度内にて出力を増大させるため、冷却媒体として、水素ガス、液体を使用した直接冷却方式が採用されてきた。このようにして、電気装荷、磁気装荷を増大し、容量の割合にマシンサイズを小さくすることにより、特に異常運転時に、発電機はより過酷な条件で運転されることになる。このような情勢から、発電機の運転許容条件をより明確にする必要が生じてくる。具体的な許容条件は、個々の機械により異なるが、ここでは、固定子直接水冷却発電機を中心に、一般的な運転上の諸特性について述べる。

2. 定常運転時

定常運転時の負荷は、発電機の容量曲線 (Capability Curve) で制限されるべきである。図1は代表的な容量曲線である。容量曲線は、通常3個の部分から成り立っている。容量曲線の上部 (A-B) は、遅れ力率、強め励磁の領域であり、界磁電流が発電機容量の制限条件となる。したがってこの範囲での運転では、指針となる量は界磁電流値であり、界磁電流を定められた制限内で運転しなければならない。このA-Bの範囲に対しては、発電機の鉄心の飽和を考えなければ、ベクトル図より、図1の縦軸 (無効電力軸) 上で、進み側に発電機の短絡比 (飽和を考えない数値) をとった点を中心とした同心円状になるが、実際は飽和があるため、中心点が若干、図1にて下方にずれた同心円と類似した形となる。

図1のB-Cの範囲では、電機子電流が制限条件となり、電機子電流が、銘板記載電流値を越えないよう運転すべきである。B-Cの範囲は、当然のことながら、原点を中心とした同心円となる。発電機が定格回転速度のもとで、端子電圧が定格値の上下5%にわたって変化しても、B-Cの範囲においてB点から力率1.0の点までは、定格kVAで運転しても実用上支障ない (温度上昇、効率などは必ずしも規定値にはならないこともある) よう設計されているが、力率1.0の点からC点までは、定格値以下の電圧に対する許容kVAは、固定子鉄心端部に垂直に照射される漏れ磁束による加熱のため、運転力率により、定格kVAに1.0以下の係数をかけた値となる。この係数は、力率1.0の点では1.0であるが、進み力率0.95のC点では、 $[\text{運転電圧 (p.u.)}]^2$ という値となり、たとえば、進み力率0.95にて、3%電圧を下げた運転する場合には $0.97^2 = 0.94$ すなわち定格の94%kVAに制限せねばならない。

一般に定格電圧を5%以上越える高い電圧での運転は技術的に特に検討した後でないと許容されない。高い電圧での運転は、絶縁物の耐電圧の面からよりも、高磁束密度による鉄心の加熱、振

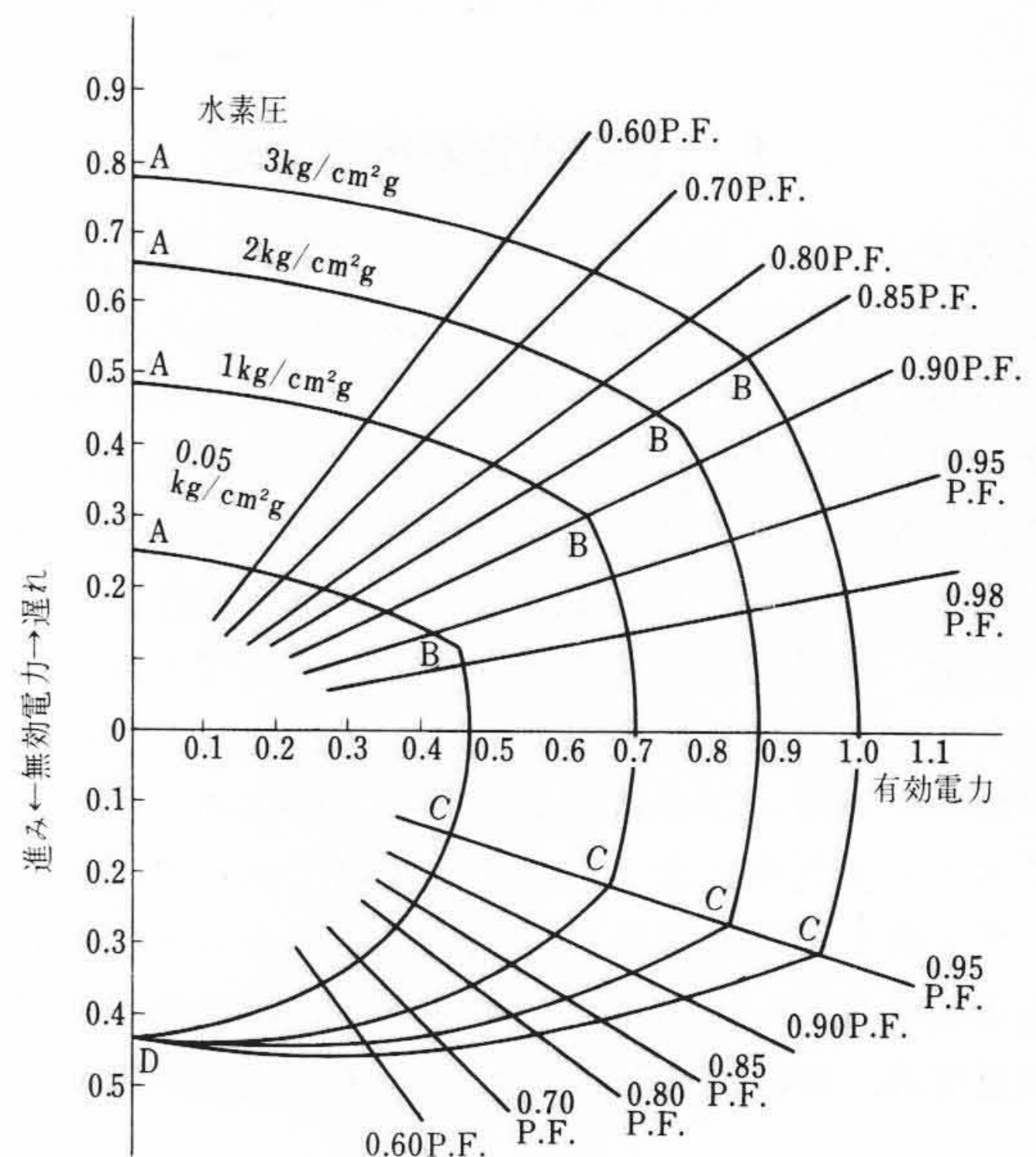


図1 代表的発電機容量曲線

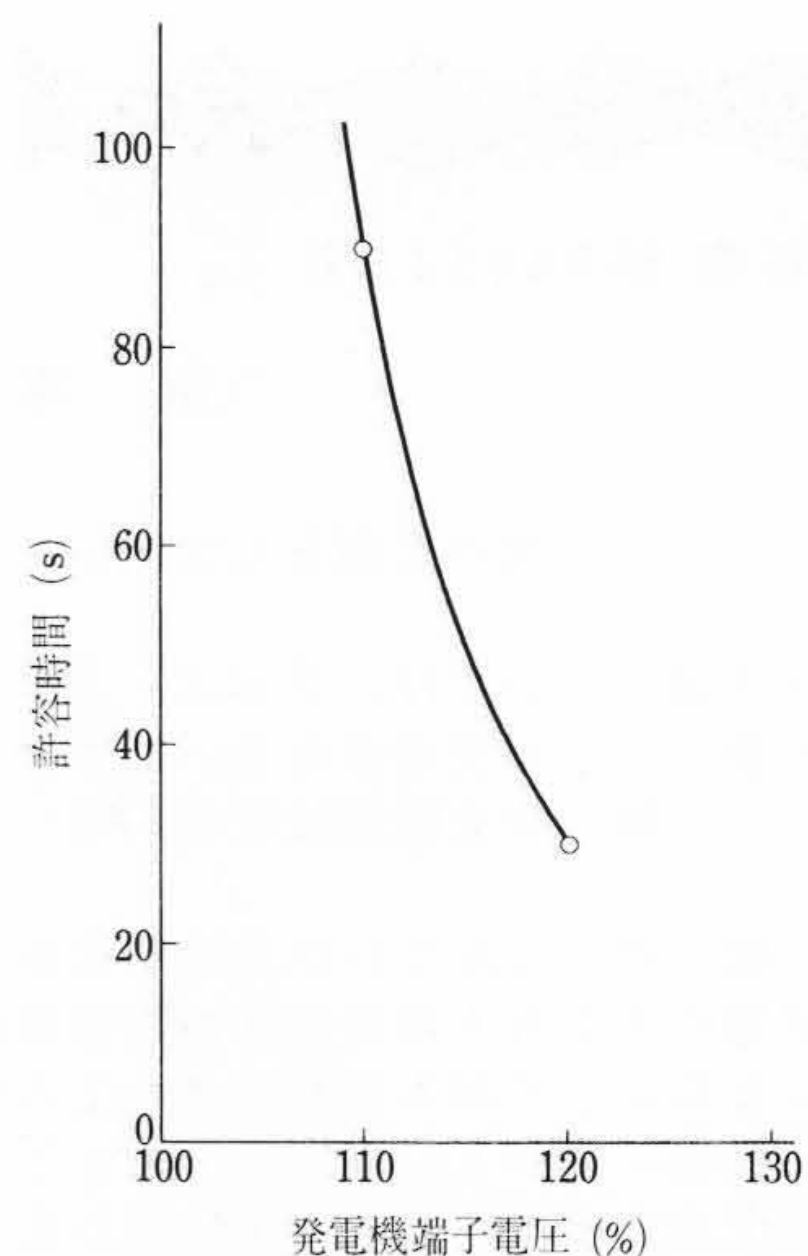


図2 発電機無負荷の場合の短時間許容過電圧曲線

動および界磁電流の増加の面から制限される。発電機が無負荷のときの短時間許容過電圧曲線の例は図2に示すとおりである。

次にC-Dの範囲は、発電機固定子鉄心端部の温度上昇と、系統安定度から制限される部分である。

コイルの温度上昇については、大容量機では、絶縁物の耐熱限度より、むしろコイルの熱のびなどから制限されるものであるか

* 日立製作所日立工場

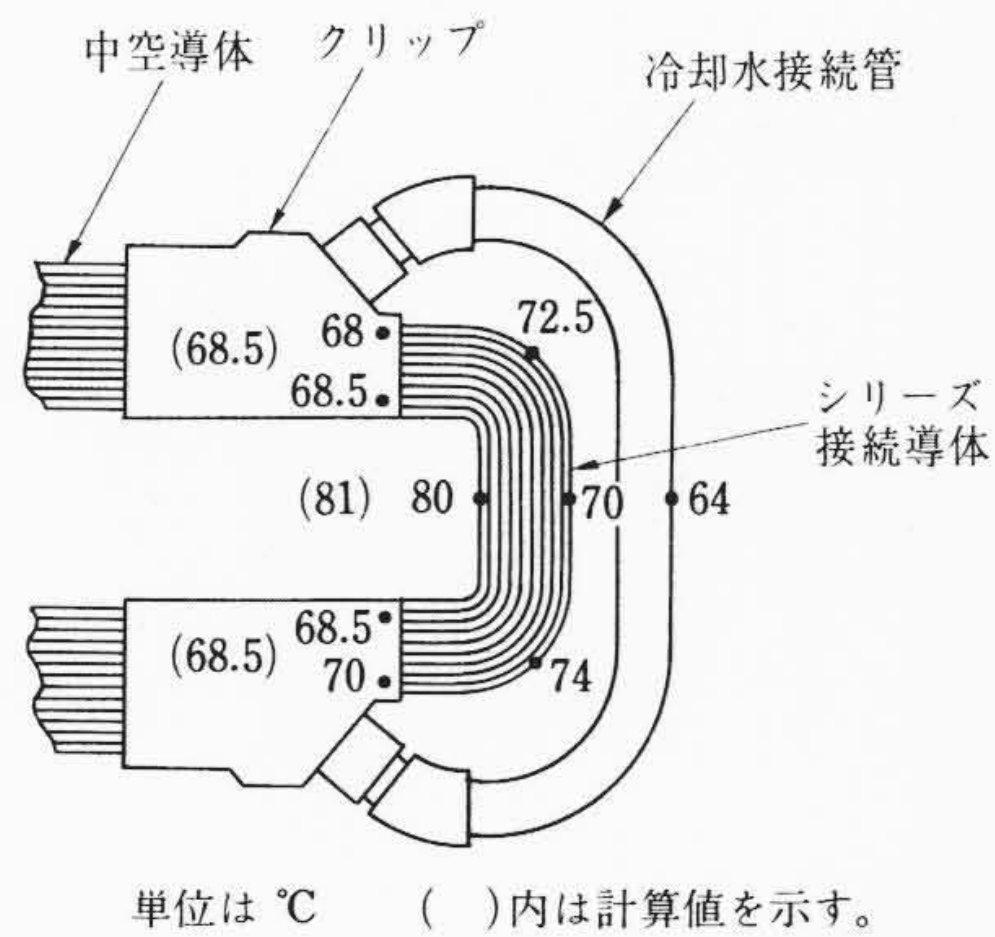


図3 固定子コイルシリーズ接続部の温度実測例

ら、JECなどの規格に定められた温度以内であっても、定格負荷時の温度より高い温度での運転は避けるべきである。また水冷却の発電機においては、コイルの温度は水の沸点から制限される。すなわち、水冷却固定子コイルの中空導体内を流れる水温と、導体の温度の差を $\Delta T(\text{deg})$ とすると、

$$\Delta T = \frac{dP}{kN_u} \quad (\text{deg})$$

ここで、 d ：導体中空孔の流体直径 (m)
 P ：導体中空孔面の単位面積あたりの損失 (W/m^2)
 k ：水の熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{deg}$)
 N_u ：水流のヌッセルト数 $0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$
 Re ：水流のレイノルズ数
 Pr ：水のプラントル数

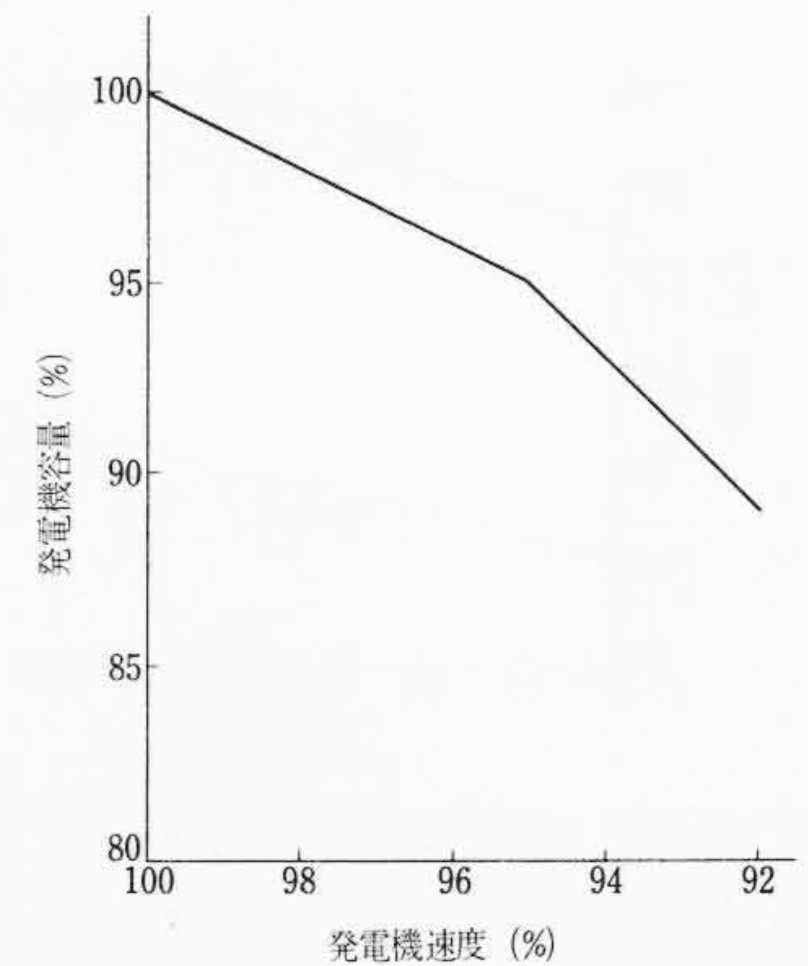
として求められ、通常 0.5deg 程度となる。したがって、固定子冷却水出口の水温を沸点以下に押えておけば、 ΔT は絶縁物の耐熱限度内に押えられる。ただし、水冷却コイルにても固定子コイル端部のシリーズ接続部は、構造上、電流の導通部と水流部とが別々になっており、ここは短い部分であるが、水冷却されない。しかし、図3に例を示すように、水に冷却されている部分との最大温度差は十数度であり、やはり水温を監視しておけばじゅうぶんである。

水冷却の発電機ではこのほか、水温上昇をより早く検知するための冷却水圧、水流の監視、冷却水の電導度の監視を常時行なっている。また水冷却の場合、万一の漏水を防ぐために、水素圧を冷却水圧より下げた運転は避けるべきである。

冷却水素ガスの温度は、コイル、鉄心などの温度に影響を及ぼすだけでなく、固定子フレームおよびエンドブラケットの温度に影響を及ぼし、軸受のアラインメントを変え、振動の原因となることがある。この軸受の変位量は、 10deg につき、約 0.1mm 程度になる場合があるので、冷ガス温度の設定は、基準温度 $\pm 2\text{deg}$ にすることが望ましく、普通、設定された温度を保つよう冷却水量の自動調整が行なわれる。

次に系統全体の過負荷などのため、系統周波数が定格より下がった場合、発電機としては、周波数が定格値の $\pm 5\%$ にわたって変化しても、定格力率、定格kVAで使用して実用上支障ないように設計されているが、次のような点に注意する必要がある。

- (1) 諸寸法のタービン翼の中には、回転速度が定格からはずれた場合共振に近づくものがある。
- (2) 周波数低下時も定格電圧を確保するには、磁束量を増さねばならないが、磁束の過飽和については、一般に変圧器のほうがつらい。しかし発電機についても、鉄心の過飽和のため、積層されていないフレーム部分などに磁束が通り、過熱するおそれがある。また、発電機の界磁電流も増すので、界磁巻



(固定子普通冷却機および固定子液体冷却機)
 図4 回転数低下の場合の発電機容量

表1 各種事故時の最大トルク、電流の簡易計算式

	事故条件	電気トルク [p.u]	電流 [p.u]
1	三相短絡	$\frac{1}{x_d''}$	$\frac{2}{x_d''}$
2	線間短絡	$\frac{3\sqrt{3}}{4x_d''}$	$\frac{\sqrt{3}}{x_d''}$
3	1線中性点間短絡	$\frac{3\sqrt{3}}{4(x_d'' + \frac{x_0}{2})}$	$\frac{6}{2x_d'' + x_0}$
4	2線中性点間短絡	$\frac{\sqrt{3}}{2x_d''} \frac{x_d'' + 3x_0}{x_d'' + 2x_0}$	$\frac{2\sqrt{3} \sqrt{x_d''^2 + x_d''x_0 + x_0^2}}{x_d''(x_d'' + 2x_0)}$
5	三相非位相投入	$\frac{3\sqrt{3}}{2(x_d'' + x_e)}$	$\frac{4}{x_d'' + x_0}$

x_e ：外部リアクタンス

線の温度をよく監視する必要がある。

- (3) ポンプなど発電所補機については、周波数変動について、タービン、発電機、変圧器より一般にかなり寛容であるが、過電流にならぬよう注意が必要である。

以上より発電機のみについて考える場合、固定子普通冷却あるいは水冷却の発電機については図4に示すように95%電圧までは周波数に比例的にkVAを下げるのが望ましく、それ以下では、周波数の自乗に比例してkVAを下げるべきである。

また、図1の容量曲線内であっても、負荷変動の激しい場合、あるいは、始動停止の激しい場合には、コイルのヒートサイクル、しゅう動による摩耗、各部材の低サイクル疲労などに特に考慮すべき場合があるから、建設時に運転条件を検討し、発電機の製作仕様に見合った運転をすることがたいせつである。

3. 短絡事故、短時間過負荷

送電系統の短絡事故など、短時間の異常条件は、発電機に種々の過負荷を及ぼす場合がある。この過負荷は、発電機の各部に温度上昇、過渡トルク、電磁力などの影響を及ぼすことになる。

3.1 諸系統事故における最大電流、トルク

諸系統事故時における過渡電流、過渡トルクの解析は、従来多くの文献に発表されているが、ここでは、ごく簡単に概略値を求める式を表1にまとめておく。表1の各式は、初期条件は無負荷定格電圧時で、過渡電流、トルクの減衰を無視し、投入位相を最も過酷な場合とし、電機子過渡成分を最大限含め $x_d''=x_2$ とし、また、抵抗値を無視したものであり、現実のものより若干大きな値となるが、大略的な比較には便利である。またこれらのトルクは、直流分、基本周波成分のほかには不平衡事故の場合には倍周波成分を含んでいるため、注意が必要である。

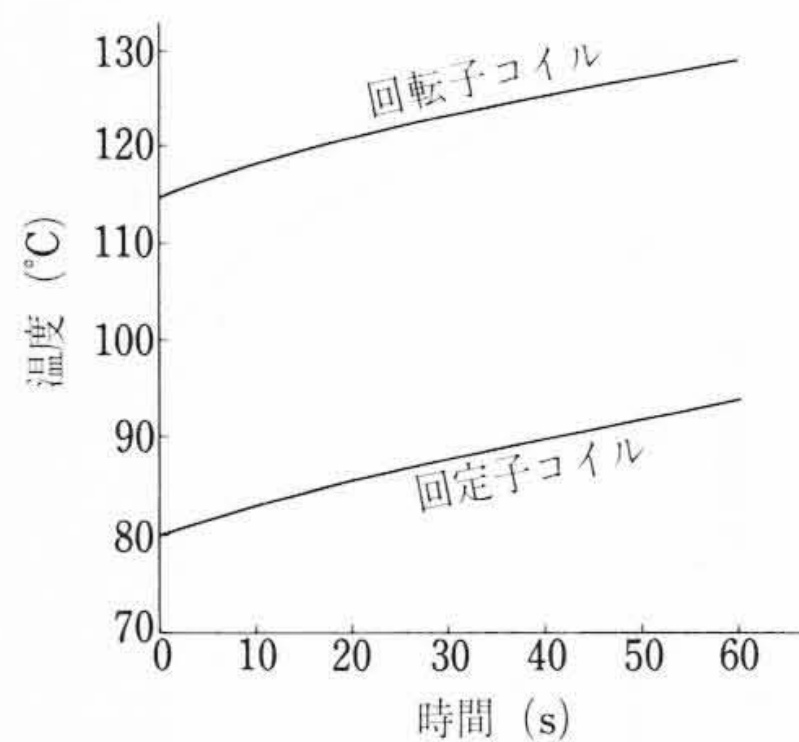


図5 固定子水冷却機にて130%過電流時の固定子、回転子コイルの最高温度部の温度応答の例

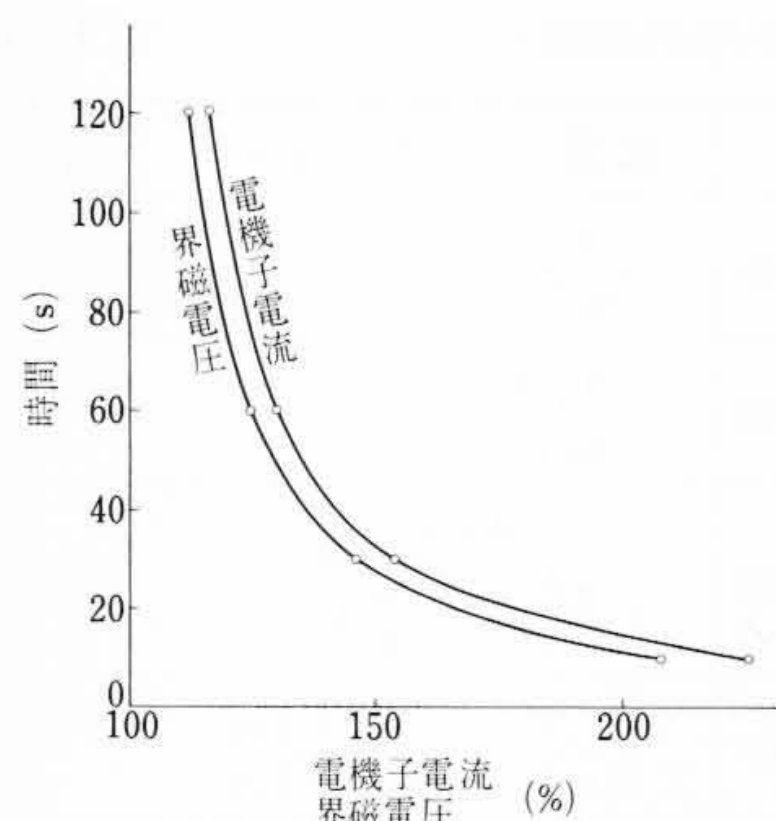


図6 ANSI, C50.13による短時間過負荷許容値

3.2 巻線温度の上昇

約1分間以内の短時間の巻線の温度上昇について考慮しなければならぬ点は、絶縁の熱劣化、熱膨張によるコイルの熱応力と機械的損傷、水冷却固定子コイルの冷却水の沸騰などである。図5は大容量機における130%過電流時の固定子コイルおよび回転子コイルの最高温度部分の温度と時間との関係の一例を示したものである。短時間過負荷の許容限度は、このような温度上昇とひん度から、寿命を考慮して決定すべきであり、ANSI規格C50.13-1965によれば、年2回以下の回数に対する許容過負荷として、図6に示すような値を与えている。

3.3 機械的強度

短絡事故時に発生する異常電流、異常トルクは、その値が大きいのみならず、トルクは振動成分を含んでいるため、回転子、固定子とも共振を考慮する必要がある。発電機の冷却方式の進歩により、容量の増加に従って、機械的な寸法を必ずしも上げることができないため、短絡などの事故時の機械的強度は過酷になる傾向にある。特に注意すべき点は次のような点である。

- (1) エアギャップに生ずる電気トルクは、発電機回転子からカップリングを通じて、タービン回転子に伝達されるが、大容量化に伴いタービン車室の数が増してくると、図7に示すように各部の軸トルクは、複雑な応答を示すことになる。各種の事故トルクに対する軸系各部のトルク、応力は電子計算機により比較的容易に計算され、常識的な事故条件とひん度のものについては、じゅうぶん耐えるように設計されている。しかし特に過酷な条件やひん度の多いものについては、各ケースにつき、カップリングの許容伝達トルク、ジャーナル材の低サイクル疲労強度を考慮する必要がある。タービンと発電機を、2個のGD²間に1個のねじりバネがある系に単純化して考えられる場合は、駆動電気トルクの周波数と、軸系の

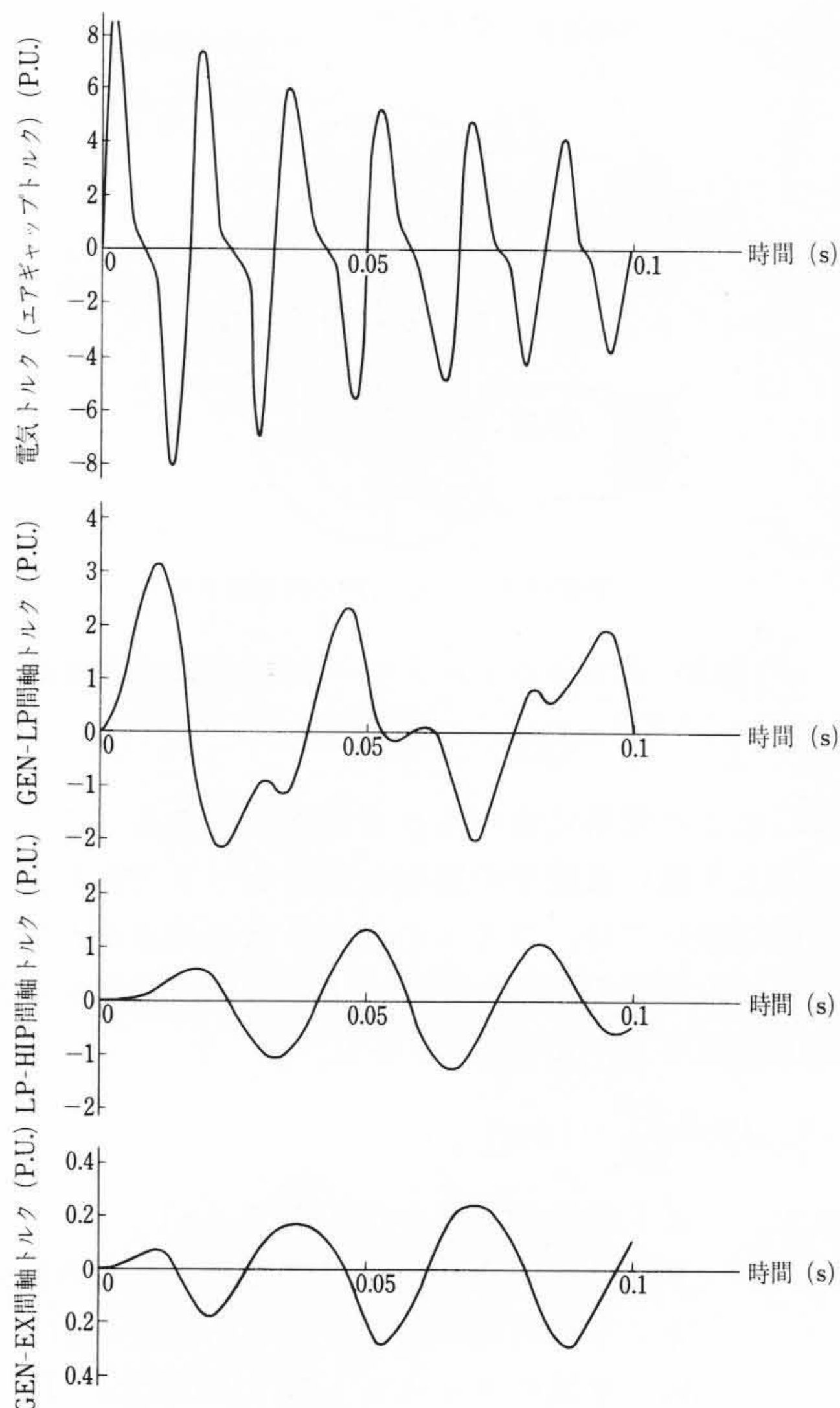


図7 単相線間短絡時の電気トルク（エアギャップトルク）と各部の軸トルク

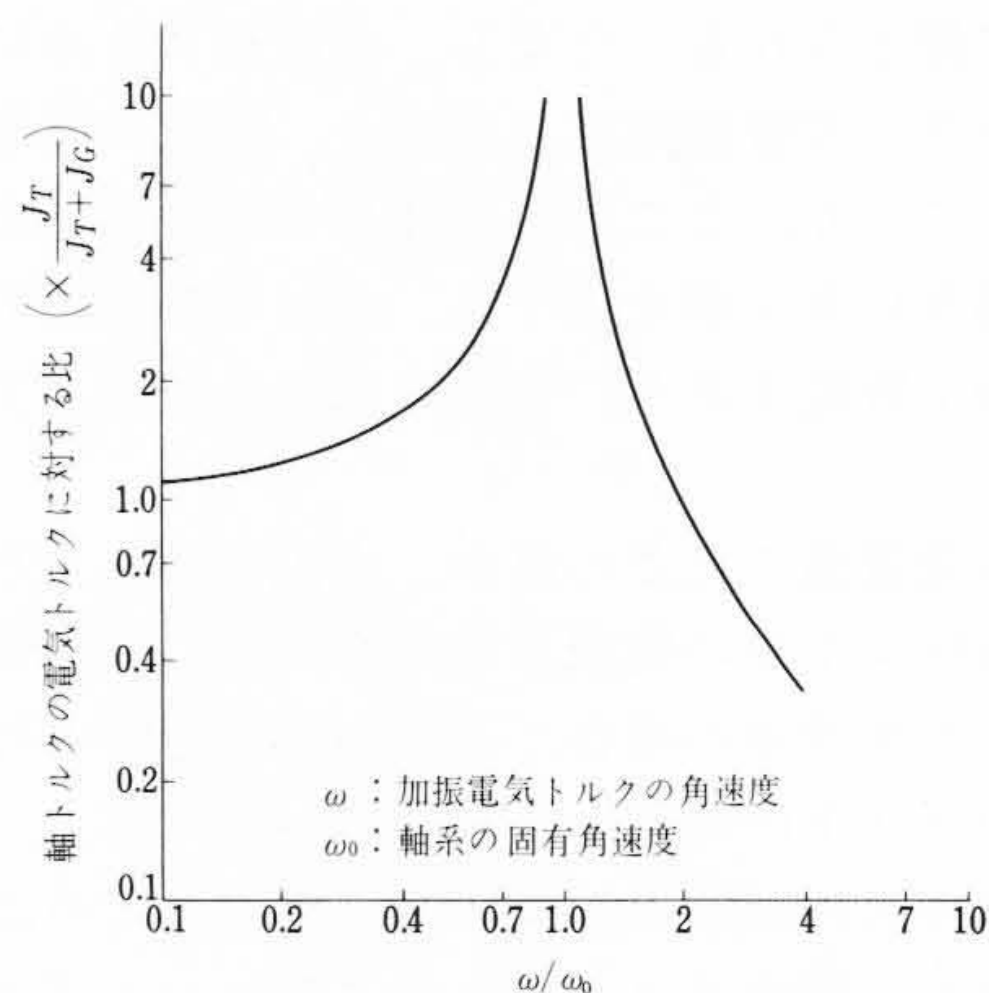


図8 軸伝達トルク（ダンピング無視）

固有振動周波数の関係から、軸トルクの電気トルクに対する倍数を図8から大略値を求めることができる。図8にて軸系の固有角速度 ω_0 は、

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{J_T + J_G}{J_T J_G}} \quad (\text{rad/s})$$

ここに、

J_T, J_G : タービン、発電機の慣性能率 ($\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2 / \text{rad}$)

k : タービン、発電機間のねじりバネ定数

($\text{kg} \cdot \text{m} / \text{rad}$)

として求められる。

- (2) 発電機の鉄心の倍周波振動が、そのままフレームに伝わらないように、鉄心はスプリングバーと称するバネ作用のある鋼製のはりにフレームからつられている。事故トルクは、このスプリングバーを通して基礎に伝達されるので、スプリン

グバーには振動的な力が加わる。この力に対し、鉄心—スプリングバー—固定子フレームのバネ系を考慮し、スプリングバーの応力を短絡条件、ひん度を考えて検討する必要がある。

(3) 短絡トルクは固定子フレームを回転させようとする力にもなる。この力は結局基礎でささえられるので、基礎の許容力を考慮する必要がある。今後、重量あたりの容量が増すにつれ、静荷重に対する動荷重の割合が増大すると考えられ、過酷な短絡条件に対しては考慮すべき問題である。

(4) 固定子コイル端部には、短絡大電流による大きな電磁力がかかる。日立製作所では大容量機に対し、固定子コイルの軸方向の熱のびに対しては、しゅう動することができ、円周方向、半径方向の電磁力に対して強固に保持する、固定子コイル端部特殊支持方式を採用している。実測データによれば、同一電磁力に対するコイル先端の変位量は、従来の支持方式に比較して、特殊支持方式のほうがはるかに小さくなっている。しかし、固定子端部の電磁力は、短絡時の機械的強度として検討すべき問題である。

(5) ターミナルブッシングは、電氣的絶縁のみならず、水素シールも行なっているため、短絡電流による電磁力でブッシングが倍周波振動するのに耐える必要がある。試験結果では、三相突発短絡電流に対してもじゅうぶん耐えることが確かめられている。

JECあるいはANSI規格にても、発電機は端子突発短絡に耐えることと規定されているが、この耐えるという意味は破損することがないということであり、短絡が発電機の寿命に悪影響を及ぼし、振動などにも影響を及ぼすことはありうることであるので短絡事故後、運転継続可能であっても、なんらかの異常を認めた場合、あるいは、異常が認められなくても、ある値以上の瞬時電流が流れたときは、製作者と連絡し、次回の定期点検時に重点的に点検するか、あるいは早急に点検すべきであることを検討することが望ましい。

4. 不平衡負荷

不平衡負荷がかかった場合、電機子電流の中に逆相分が含まれると、逆相電流は、回転子の回転方向と逆方向に回転する逆相磁界を発生する。逆相磁界は、回転子からみると2倍周波数で回転する磁界であるため、回転子表面にうず電流を生じ、回転子表面部分が加熱される。

回転子に照射される磁束は、回転子表面のうず電流により打ち消されるため、磁束は表面付近しか浸透せず、その浸透深さ δ は、次式により表わされ、概略この深さまでが集中的に加熱されることになる。

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu \omega}} \quad (\text{m})$$

ここで、 ρ : 回転子材の固有抵抗 (Ωm)
 μ : 回転子材の透磁率 (H/m)
 ω : 照射磁束の角速度、逆相磁束の場合基本角速度の2倍となる。(rad/s)

たとえば、磁性鋼の場合、通常、浸透深さは1cm以下であるが、ウェッジ材などについては、材質により種々異なる。

2倍周波の脈動電流は、回転子磁極および歯、ウェッジ、制動巻線、界磁巻線に発生する。回転子表面の電流分布はかご形誘導電動機の回転子の電流分布に類似しており、回転子表面を軸方向に流れ、回転子端部で周方向に流れてループをなす。この電流において特に加熱される場所は、回転子端部および磁極に設けられた剛性調整のためクロススロット端部付近である。界磁巻線も固定子側の逆相電流のアンペアターンに対応する回転子側アンペア

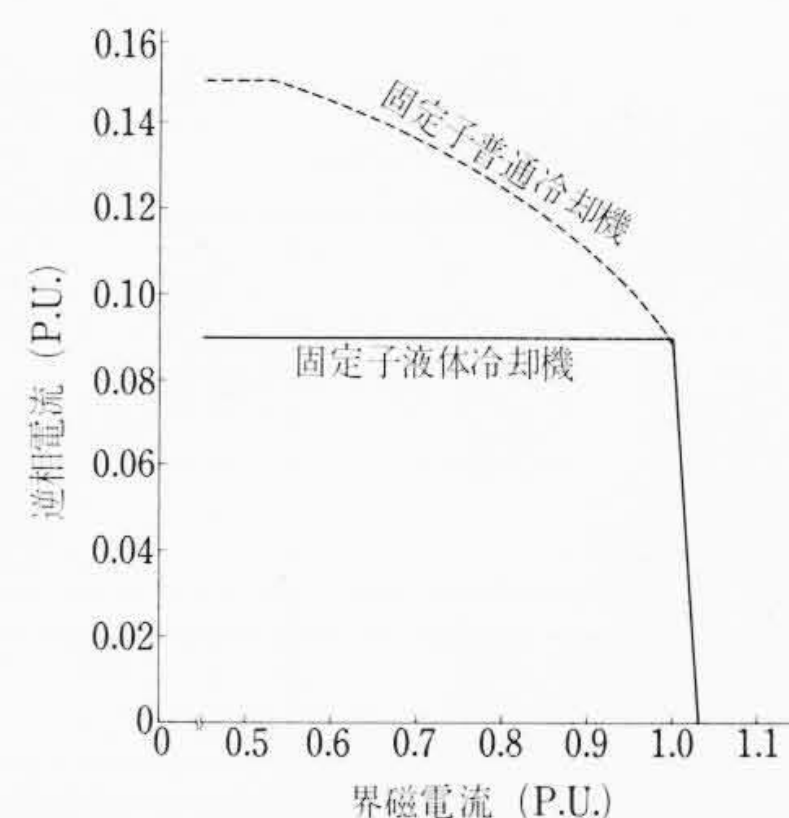


図9 連続不平衡負荷許容曲線

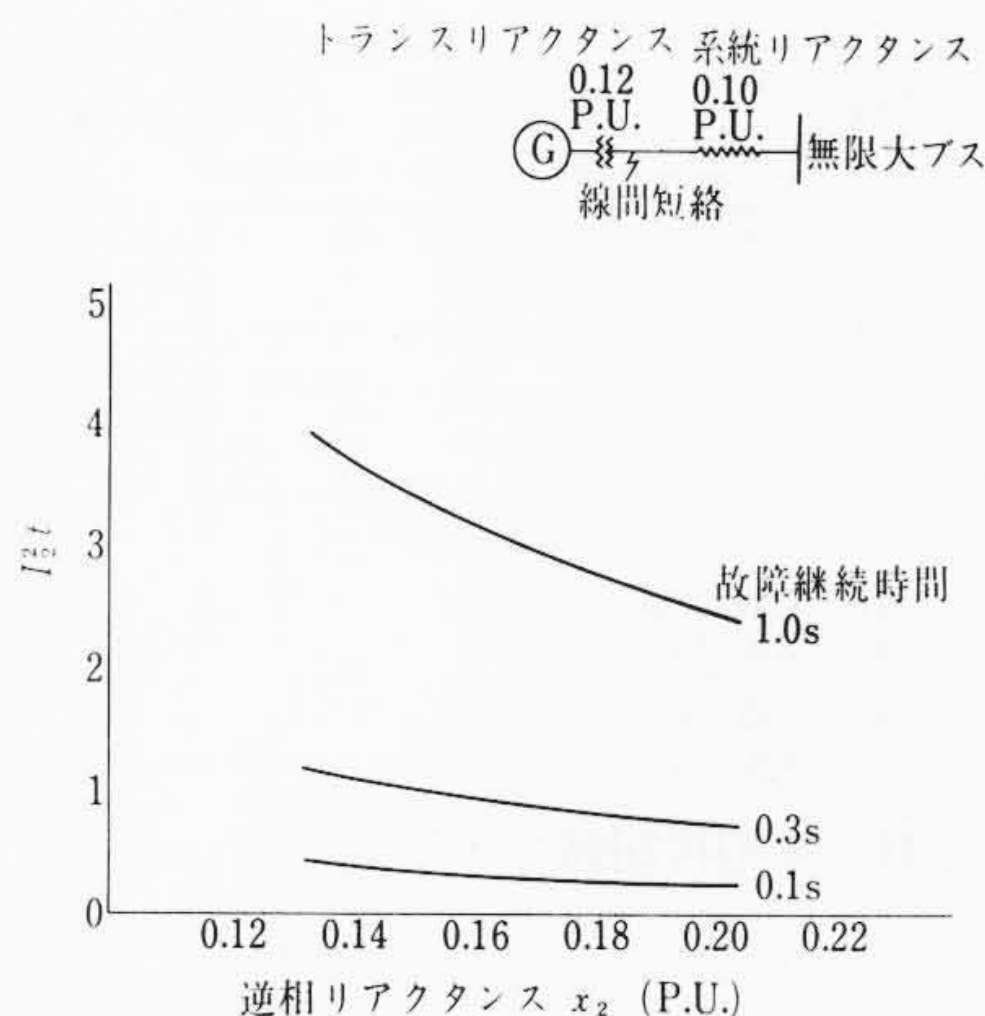


図10 系統事故時の事故継続時間、
発電機逆相リアクタンスと
 $I_2^2 t$ との関係

ターンのかなりの割合を分担するが、温度上昇は、回転子表面より一般に楽である。

逆相電流の値を制限するものは、主として回転子各部の高温時の機械的強度である。たとえば短時間許容限度としては、アルミ合金のウェッジ温度の限界を約 200°C 、特殊鋼のウェッジ温度の限界を約 300°C として、決定することができる。連続不平衡負荷運転の場合の許容温度は、当然低くとられるべきである。これらより決定された逆相電流許容値は機械により若干差があるが、一般的には、連続不平衡負荷では図9のようになる。短時間逆相負荷の場合は、回転子表面うず電流による各部温度は、その部分の熱容量により支配され、界磁巻線温度にはほとんどよらない。この限界は $I_2^2 t$ (I_2 は単位法で表わした逆相電流、 t は継続秒数)で表されるが、ANSIおよび日本の通例としては、空気または水素の普通冷却機では $I_2^2 t \leq 30$ とされている。しかし固定子を水、油などで直接冷却する場合は、固定子の電気装荷が著しく大きくなるため、回転子表面でのうず電流損密度も大きくなり、一般に $I_2^2 t \leq 10$ で制限される。しかし、 $I_2^2 t$ の制限値は一般にヨーロッパでは小さく、イギリスで500～600MW機にて $I_2^2 t \leq 3$ とされているようである。

実際の系統事故の場合、 $I_2^2 t$ の値がどの程度になるか、発電機の逆相リアクタンス x_2 、事故継続時間(しゃ断までの時間)を変えて計算したものが図10である。大容量機になって x_2 が增大するにつれ、事故時の $I_2^2 t$ が減少する傾向にあり、また通常の保護方式であれば、事故時の $I_2^2 t$ の値は制限値よりはるかに小さいものであることがわかる。

5. 単相再閉路

最近火力発電所の大容量化に伴い、電力系統の信頼性を上げるため、高速度単相再閉路式を火力発電所近辺で採用する傾向が強

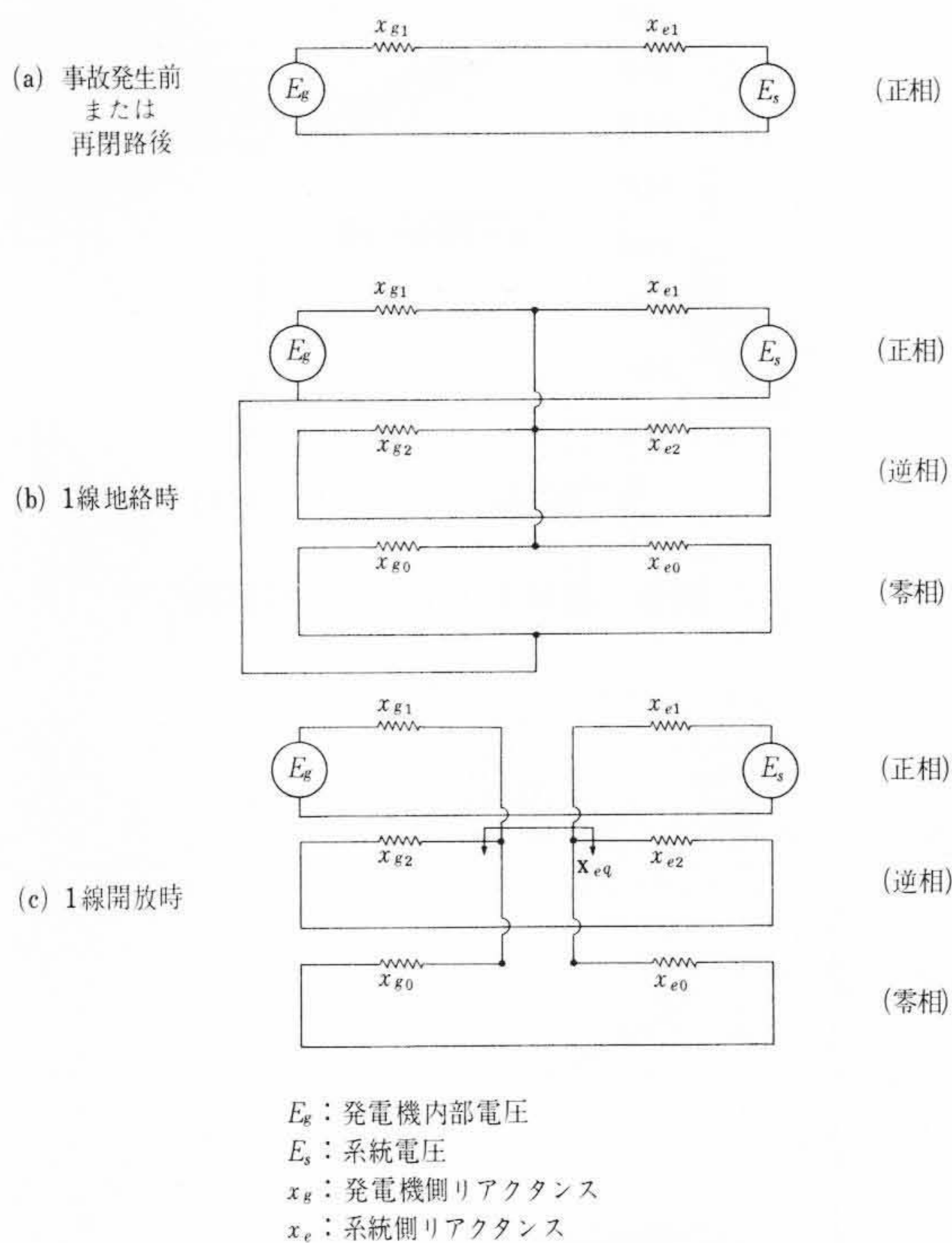


図11 単相再閉路時の等価回路

い。単相再閉路とは、三相送電線の一相に地絡事故が起こったとき、その地絡相のみ事故点の両端にてしゃ断し、高速度単相再閉路の場合、しゃ断後おおむね20サイクル程度の無電圧時間を経て再閉路する方式であり、1回線送電の場合でも、事故相しゃ断の間を通じて系統にある程度の電力を送り続けることができ、早く回復できる特長がある。水力の場合、一般に送電線が長いので、再閉路時の過渡安定度が主として問題であるが、火力では大容量系統に近く、系統インピーダンスが小さいことおよび機械的に水力より極限に近い設計としていることにより、再閉路時の過渡電流および過渡トルクによる発電機の機械的強度が問題となる。

単相再閉路は、通常(1線地絡)―(地絡相しゃ断)―(しゃ断相再閉路)のような過程で行なわれる。簡単のため1機―無限大系、1回線送電の場合を考えると、上記の各段階における等価回路は図11のようになる。

単相再閉路時の過渡電流、過渡トルクの発生原因は次の二つに分けて考えることができる。

(1) 図11(c)から(a)へと等価回路が変化するとき、

$$X_{eq} = \frac{X_0 X_2}{X_0 + X_2}$$

ただし、 $X_0 = x_{g0} + x_{e0}$

$$X_2 = x_{g2} + x_{e2}$$

が短絡される。

(2) 1線地絡、地絡相しゃ断、1線開放運転の過程にて、タービンから発電機に伝えられるトルクは急激に変化しない一方、発電機から系統に送られる電力が減少するため、発電機は加速され、発電機と系統間の相差角が開く。その相差角が開いた状態から再閉路により三相運転に移行するため、過渡電流、過渡トルクが発生する。

最も過酷な次過渡状態で考えると、 $x_d'' \approx x_2$ であるから、

$$X_2 = X_1$$

ただし、 $X_1 = x_{g1} + x_{e1}$

であり、このとき

$$k = \frac{X_{eq}}{X_1} = \frac{X_0}{X_0 + X_2}$$

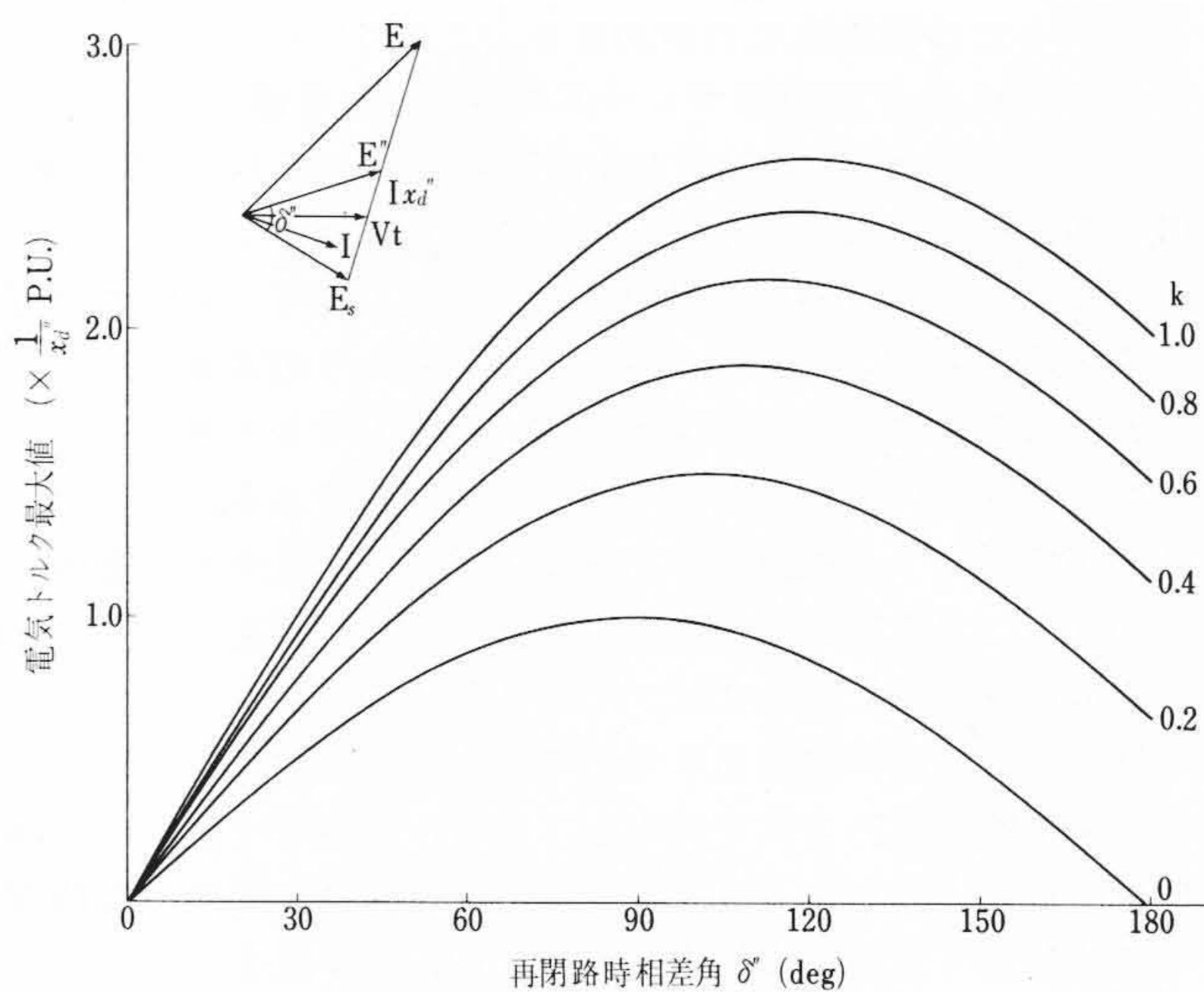


図12 単相再閉路時最大トルク

が、再閉路時に変化するリアクタンスの割合を表わすことになる。

以上のように k および再閉路時の相差角が再閉路時の異常現象に及ぼす要素になるが、再閉路直後の最大電気トルクの値 k および相差角 δ'' を変数として示したものが図12である⁽¹⁾。図12にて、縦軸は、系統側での三相短絡の場合の発電機電気トルク $1/X_d''$ (X_d'' は次過渡時の事故点までのリアクタンス)を単位としている。また、相差角 δ'' は、無限大系と発電機の次過渡リアクタンスの背後電圧 E'' との相差角であり(図12参照)、再閉路直後の次過渡時のトルクを求めるためこの角を使用する。図12は、 $E'' = E_s$ (系統電圧)を仮定するなど必ずしも、厳密ではないが概略の値を知るために簡便な図表である。

再閉路時の相差角は、安定度の制限から通常90度以下で考えるから、この範囲では系統インピーダンスが決まっていれば、できるだけ小さい相差角で再閉路することが望ましいことはいうまでもない。また、一部で行なわれているように、高インピーダンス接地系に単相再閉路方式を採用することは、発電機にとってより過酷であることがわかる。

日立製作所で開発されたコンピュータによるより厳密な解によれば、図13に示すように、1線開放―再閉路の各過程において、実系統における試験結果とよい一致をみている。

単相再閉路の発電機に及ぼす影響として考慮すべき点は、3.3に述べた事項と同様であるが、材料の疲労、累積被害が問題となる場合が多いので、再閉路の回数、成功および失敗(事故継続)の割合を予想し、発電機が受ける被害と、系統の信頼性をじゅうぶん考慮の上、再閉路条件を決定する必要がある。

6. 進相運転

超高压ケーブル送電線の増強などにより系統の充電容量が増大するに伴い、大容量タービン発電機を低励磁で運転することが行なわれる傾向にある。大容量タービン発電機の進相運転での問題点は、安定度低下と固定子鉄心端部の加熱である。低励磁運転により同期化力が減少することに基づく定態安定度の低下は、系統条件によるが、一般的には、即応性自動電圧調整器の進歩により、安定限界は著しく増大している。また固定子鉄心端部の加熱により進相運転限界が制限される傾向にある。固定子鉄心端部の加熱は、進相低励磁運転のため鉄心端部の漏れ磁束量が増大し、鉄心端部、鉄心押え板が誘起されたうず電流により加熱されるものである。

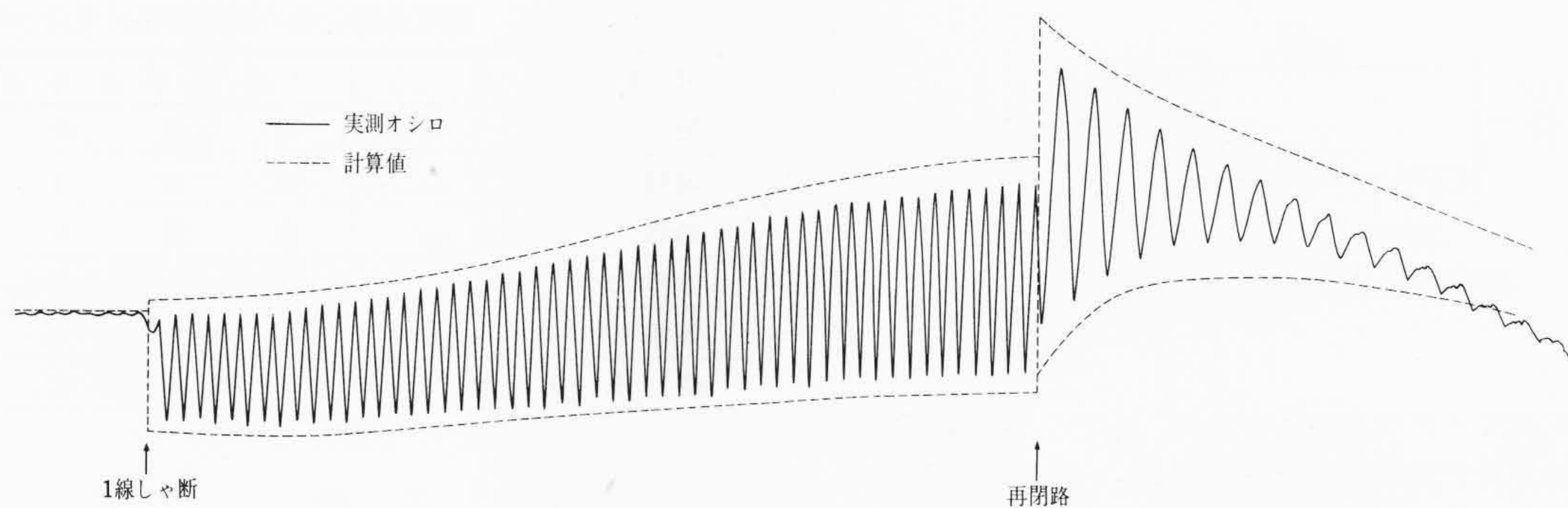


図13 単相再閉路時の電気トルク

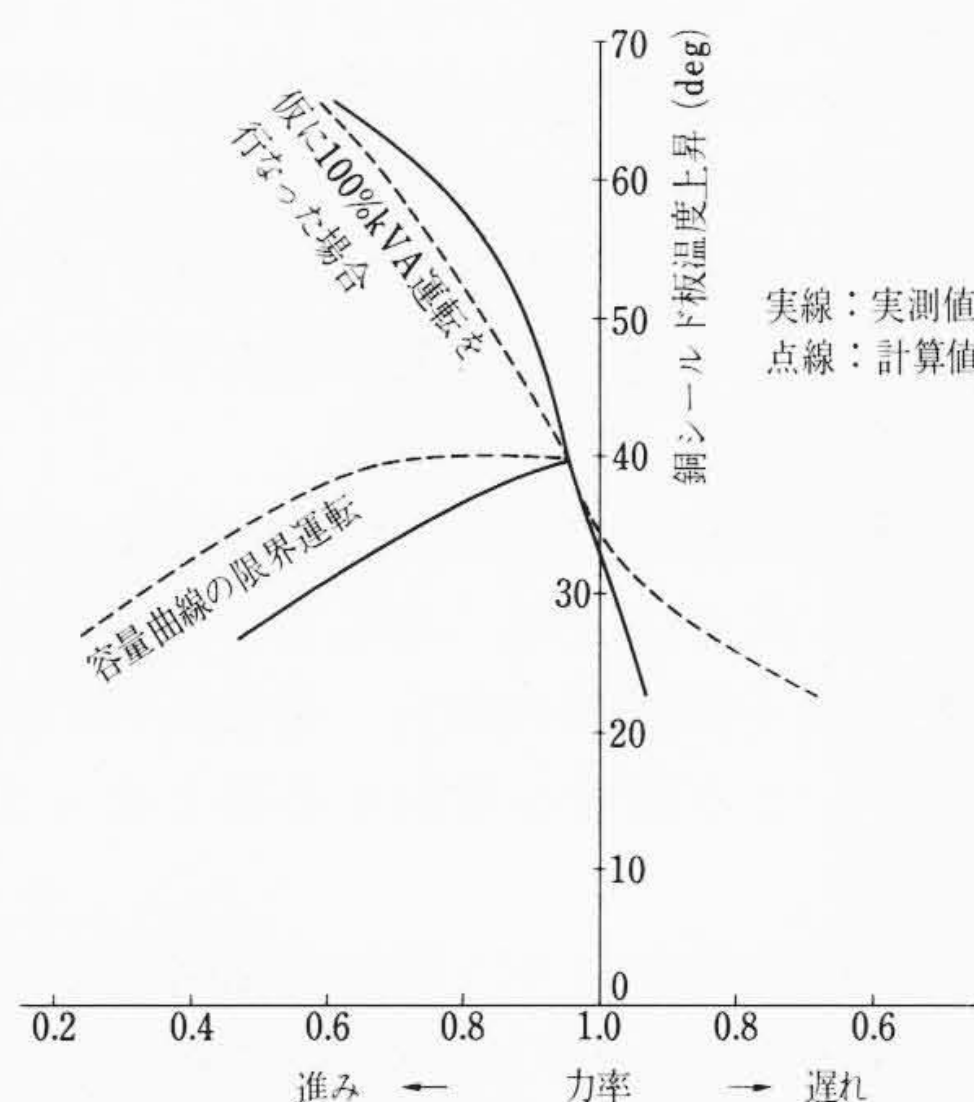


図14 進相運転時の鉄心押え板銅シールド板温度上昇

日立製作所ではすでに、進相運転時の温度上昇を精度よく予想できる理論的計算法を完成しており、容量曲線範囲内において、ANSI規格に規定された温度（普通水素冷却機 110°C 以下、導体直接冷却機 130°C 以下）内にじゅうぶんはいることを確認している⁽²⁾。実測と計算を比較した例は図14に示すとおりである。

進相運転時鉄心端部付近にて最も温度が高いのは一般に鉄心押え板内縁であり、鉄心押え板に銅シールド板を使用することは温度上昇を低く押えるために有効であり、またこのほか、鉄心端歯部にスリットを切ること、非磁性リテイニングリングを採用すること、電機子コイル端部支持部分、エンドフィンガ部などに非磁性材を使用すること、鉄心端部に段落しを行なうことなどが、過熱対策として有効である。

図14を見てもわかるように、容量曲線の限界での運転では、図1のC点にて最高温度を示し、C点からB点に移るにつれ鉄心端部温度は下がる。このことは、容量曲線上にて、鉄心端部等温度曲線が、無効電力軸上遅れ側に中心を持つ同心円状に近くなるというよく知られている関係と対応するものである。

7. 系統安定度

系統安定度は定常運転時に関する定態安定度（AVRを考慮したときの動態安定度も含む）と系統事故時などの過渡安定度に分けて考えることができる。

定態安定度に影響を与えるおもな項目としては、系統インピーダンス、発電機の短絡化、AVRがあげられるが⁽³⁾⁽⁴⁾、これらの影響の一例を容量曲線上に示したものが図15である。系統インピーダンスが増加すると安定限界はかなり狭くなるので、特に進相運転限界などを検討するときには、系統インピーダンスが最大となる場合を考慮する必要がある。短絡比は、発電機の冷却方式の進

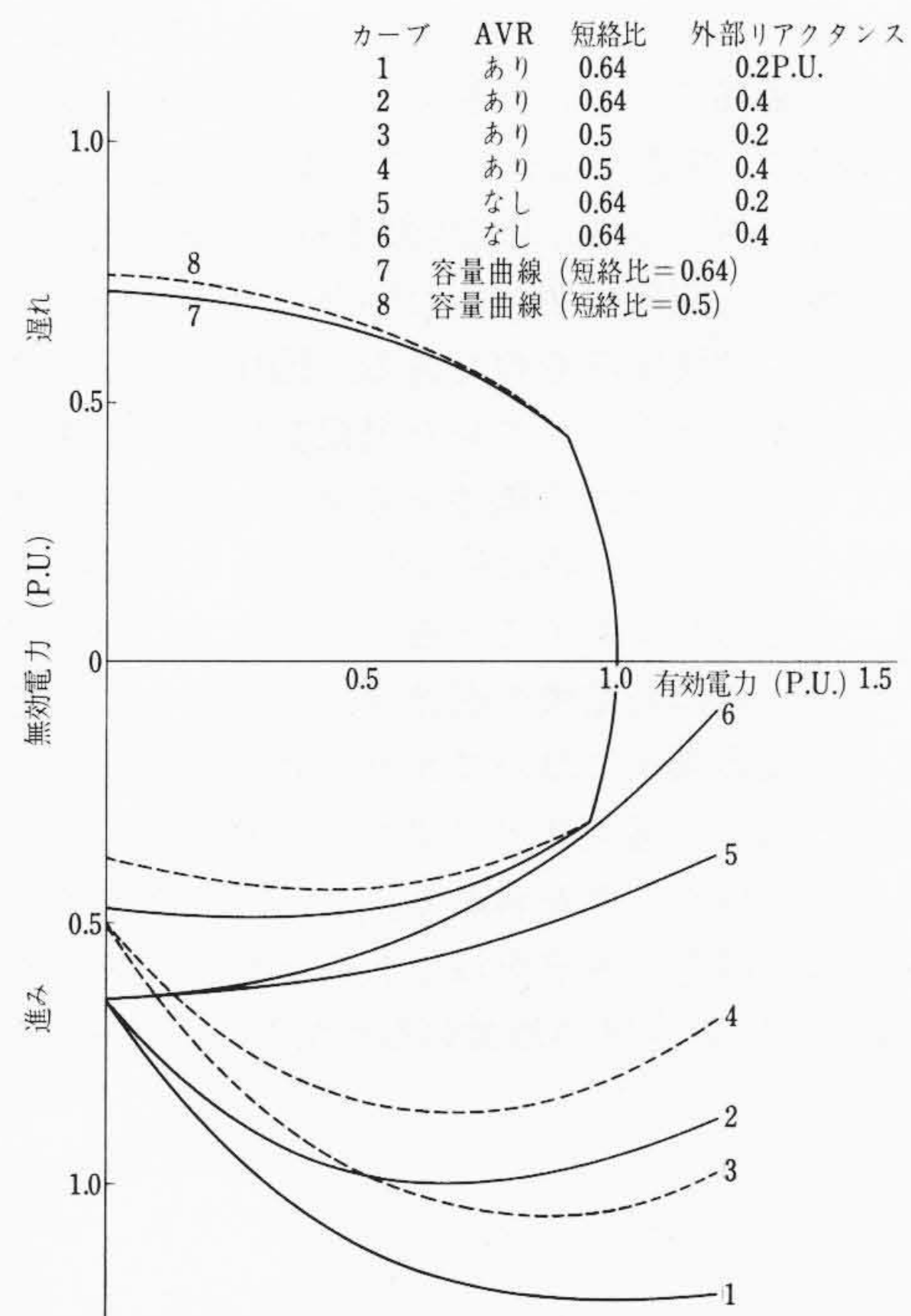


図15 AVRの有無、短絡比、外部リアクタンスと定態安定度との関係

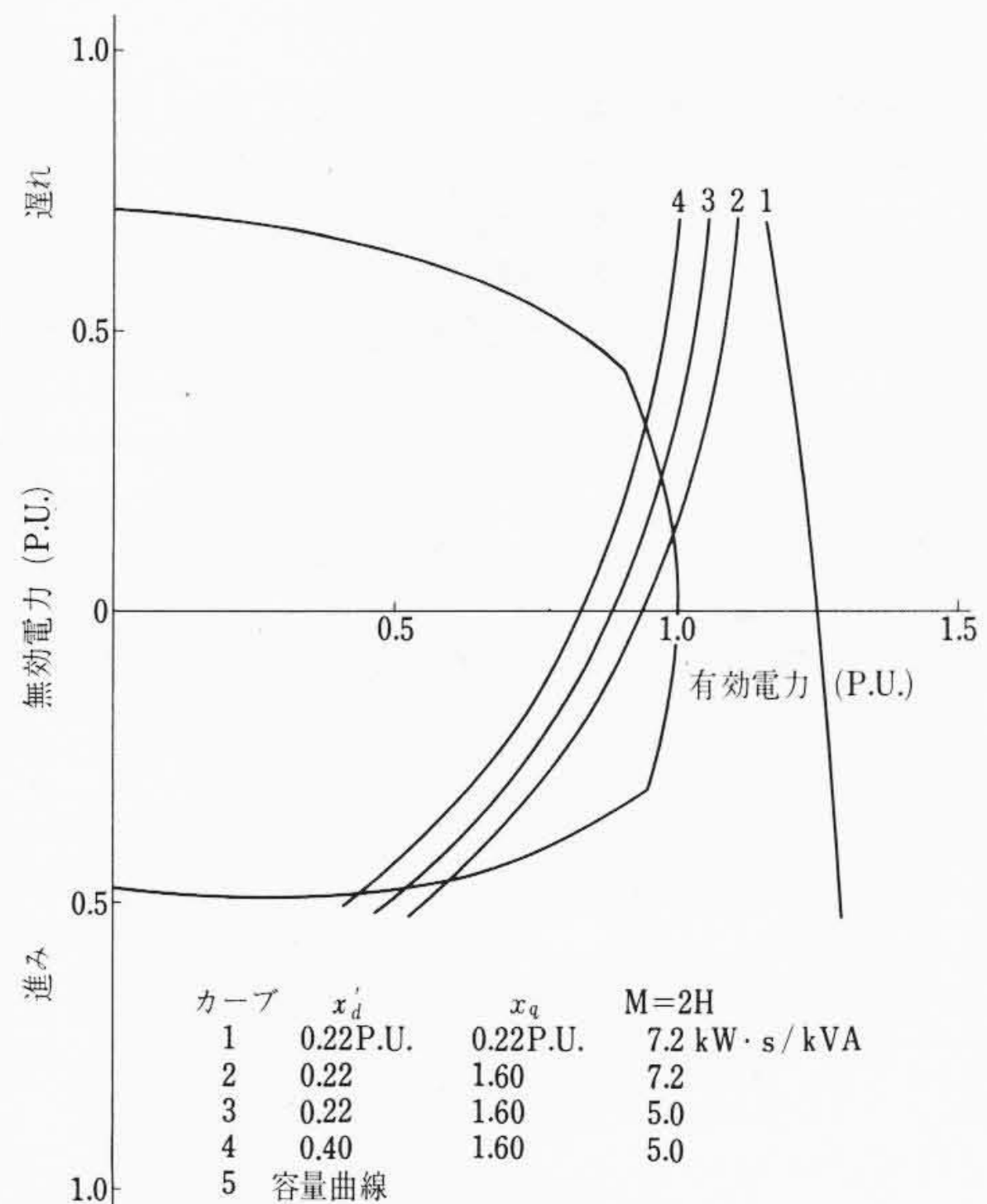


図16 発電機諸定数と過渡安定度との関係

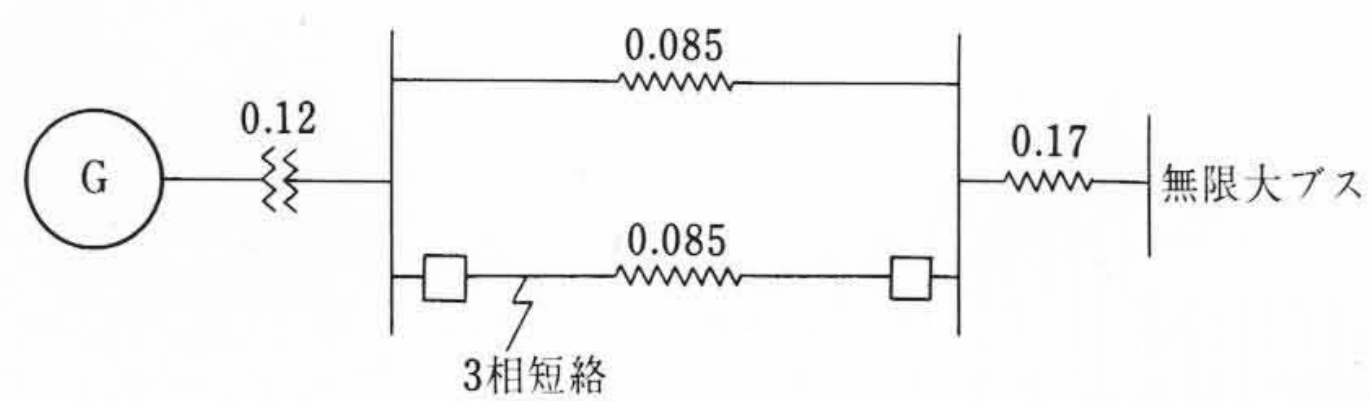


図 17 過渡安定度計算系統

表 2 発電機諸定数の運転特性に及ぼす影響

発電機定数	影響される運転特性
短絡比	定態安定度
同期リアクタンス x_d, x_q	定態安定度
過渡リアクタンス x_d'	過渡安定度
次過渡リアクタンス x_d'', x_q''	事故トルク, 事故電流, しゃ断器定格
逆相リアクタンス x_2	回転子表面加熱
慣性定数 M	過渡安定度, 過速度

歩とともに、マシンサイズ切りつめのため、小さくする傾向にあるが、これはやはり若干安定限界を狭くする。一方、AVRの進歩により、大幅に安定限界が広がっていることがわかる。

過渡安定度には、事故の種類、継続時間など系統条件が大きな影響を与えることは言うまでもないが、発電機のリアクタンス、慣性定数(タービンも含む)によりどのように安定限界がわかるかを示したのが図16である。計算条件は、実系統を簡略化した図17のような系統で、発電所出口にて1回線に三相短絡が生じ、0.1秒後事故回線を三相しゃ断、0.5秒間1回線運転を行ない、事故発生後0.6秒後事故回線再閉路した場合の再閉路後の安定性を初期負荷条件につき判別するものである。図16にてカーブ1、2は、従来交流計算盤で行なわれていた過渡突極性を考慮しない($x_q = x_d'$ とした)場合と、過渡突極性を考慮した場合の比較で、過渡突極性を無視することは、特に進相側でかなり楽観的な方向の誤差を生ずることを示したものである。カーブ2、3は慣性定数の影響、カーブ3、4は発電機の過渡リアクタンスの影響を示したものであるが、大容量化においてきりつめた設計を行なうことによる慣性定数の減少、過渡リアクタンスの増加に伴い過渡安定度は若干悪い方向に行くことがわかる。しかし、固定子コイル水冷却方式の採用は、固定子みぞを浅くしみぞもれリアクタンスを減少させ、 x_d' の減少、安定度の増加にもかなり効果があることがわかる。

8. 結 言

以上、タービン発電機の大容量化に伴う運転特性上考慮すべき諸点について述べた。冷却方式の進歩などによる電気装荷、磁気装荷の増大は、一般に運転特性を過酷な方向に移行させるが、初期過渡リアクタンス増大による過渡トルク、電流の減少、逆相リアクタンス増大による回転子表面加熱の減少、水冷却に伴う過渡リアクタンス減少による過渡安定度の増大など、上記の方向にある程度打ち消す方向に働く要素もある。

発電機の諸定数が運転特性に及ぼす項目のおもなものを表2に示した。以上述べられたことは、あくまで一般的な傾向であり、単機容量の増大に伴う信頼性の向上、運転条件の限界化のため個々のケースにつき、より精密な検討が必要となってくることは言うまでもない。

終わりに、実地試験において、種々ご指導ご協力いただいた各電力会社の関係各位に対し厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 有働：電学誌 84, 257 (昭 39-2)
- (2) 西, 川村, 奥田：日立評論 49, 325 (昭 42-3)
- (3) 田口, 高林, 奥田：日立評論 47, 1753 (昭 40-11)
- (4) 田口, 高林, 奥田：日立評論 47, 1903 (昭 40-12)

第34巻

日 立

第 4 号

目 次

・グラフ／岡山・山陽新幹線開通
・ルポ／海のカウボーイを育てる
／女性に奉仕して百年
・解説／機械と人のみごとな協力
／輝ける前進 日立製作所中央研究所

・インタビュー／創立百周年を迎えた上野の森の図書館
・家電コーナー／冷蔵庫はフリーザーで選ぶ時代です
・美術館めぐり／倉敷民芸館
・新製品紹介
・ホームサイエンス

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号 100
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田綿町3丁目1番地
郵便番号 101
振替口座東京 20018番