

直流送電における交流系故障時の逆変換器動作解析

Analysis of the Operation of Inverter in High Voltage Direct Current Transmission When Fault Occurs in AC Network

渡 部 篤 美* 高 林 乍 人**
Atsumi Watanabe Hayato Takabayashi

要 旨

直流送電において、交流系で故障が発生した場合の逆変換器の動作解析を行なった。3線短絡、2線地絡、1線地絡を対象とし、まず、定余裕角制御が行なわれているものとして定常運転限界を明らかにし、さらに、故障発生位相を考慮して、過渡的に避けることのできない転流失敗領域を求めた。

1. 緒 言

直流送電における逆変換器の制御方式としては、一般に定余裕角制御が行なわれている。これは、所要無効電力を極力制限しつつ、転流失敗を避けて安定な変換器動作を得ることを目的とするものであり、通常の負荷変動や電圧変動にはじゅうぶん追随することができる。しかしながら、交流系統で短絡や地絡のような故障が発生し、交流電圧が低下する場合を考えると、いかなる制御を行なっても、転流失敗を避けることのできない場合がある。

本論文では、計算によって、まず、定常運転限界を求め、次に故障発生位相を考慮して過渡的な転流失敗領域を明らかにする。さらに、シミュレータによる実験を行ない、計算値と実測値がほぼ合致することを示した。

2. 計算および実験の前提条件

本論文では次の条件のもとで計算および実験を行なっている。

- (1) 主変圧器は人—人結線で交流側が中性点直接接地であり、 Δ の三次巻線を持つものとする。
- (2) 交流系の故障としては、3線短絡、UV相2線地絡、U相1線地絡を考え、故障時には相電圧の大きさだけに変化し、その位相は変化しないものとする。
- (3) 順変換器は定電流制御を行っており、直流電流は定格値に設定されているものとする。逆変換器は、定余裕角制御を行っており、制御遅れはないものとする。
- (4) サイリスタのターンオフ時間は50 Hz系の電気角で表現して5度(約280 μ s)であるものとする。

以下、上記の条件のうち(2)、(3)に関連して、故障時の転流電圧および逆変換器の制御方式について説明し、さらにこの解析で、パラメータとして用いる転流リアクタンス(p. u. 値)の定義を行なう。

2.1 故障時の転流電圧

平常時の線間電圧すなわち転流電圧を $\sqrt{2} E_1 \sin \omega t$ とし、故障が発生すると、絶対値が k 倍($0 < k < 1$)となり、位相が φ だけ変化して、 $\sqrt{2} k E_1 \sin(\omega t + \varphi)$ になるものとする。

表1および図1は各種故障が発生し、相電圧が x 倍($0 < x < 1$)に低下した場合の各線間電圧について、 k と φ を求めた結果を示している。なお、故障時の位相は、故障前の同一線間電圧の位相を基準としている。

2.2 交流系故障時の逆変換器制御方式

定常的には、交流電圧と直流電流から計算して、余裕角 δ が規定値になるように制御角を決める方式をとる。また、各相ごとに制御を行ない、それぞれの相の転流電圧の大きさと位相に応じて余裕角

表1 故障時の線間電圧

故 線 種 類		線 間 電 圧		
		UV相	VW相	WU相
UVW相3線短絡	k	x	x	x
	φ	0	0	0
UV相2線地絡	k	x	k_0	k_0
	φ	0	φ_0	$-\varphi_0$
U相1線地絡	k	k_0	1	k_0
	φ	φ_0	0	$-\varphi_0$

注: $k_0 = \sqrt{x^2 + x + 1}$, $\varphi_0 = \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}}{2x+1} - 30^\circ$, x : 故障時の相電圧(p. u.)

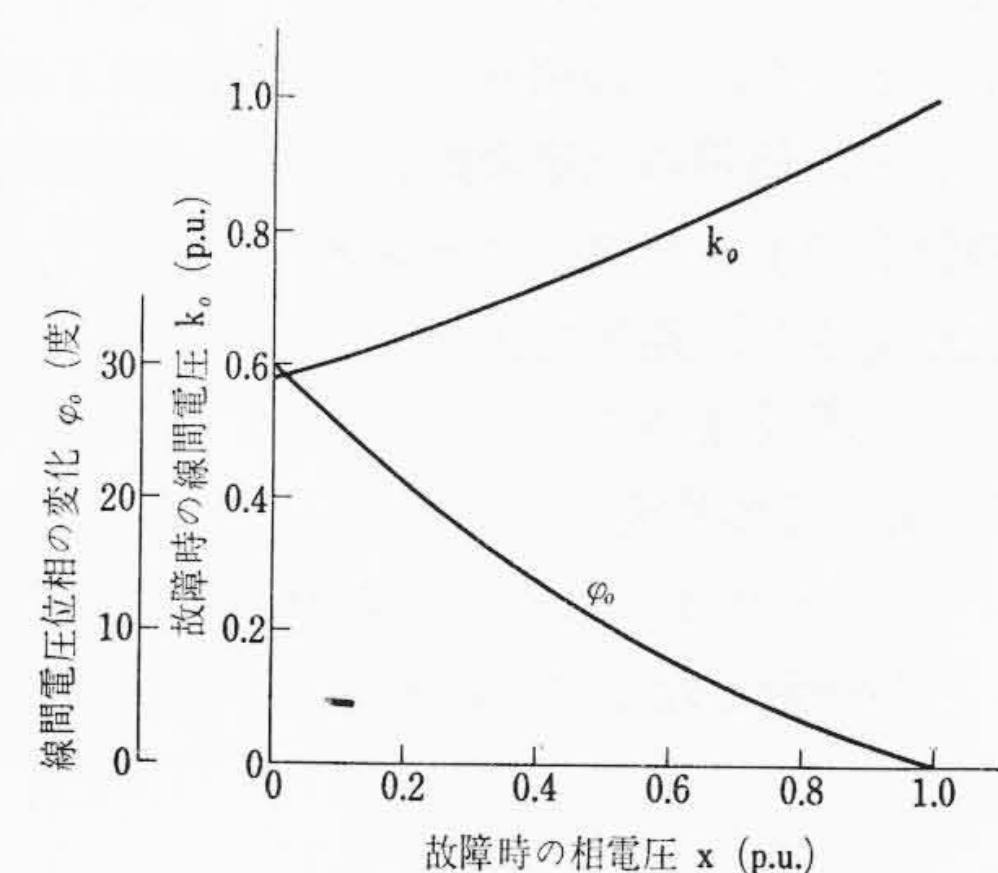


図1 不平衡故障時の線間電圧

δ を一定に保つ。あとで述べる他相転流の影響については、制御角を決める上記の計算には考慮しないものとする。

過渡的には、交流系で故障が発生した場合に、遅れ時間なくこれを検出し、直ちに必要な処置をとる。すなわち、時間的に余裕があれば故障時の転流電圧のもとで余裕角 δ が規定値になるように点弧パルスを発生させ、それが間に合わないときには、故障発生と同時に点弧パルスを発生させて、転流失敗をできる限り避ける方式をとるものとする。

2.3 転流リアクタンス(p. u. 値)の定義

定格直流電流 I_d が流れたときの変圧器直流側巻線電流として重なり角がゼロの場合の値 $\sqrt{\frac{2}{3}} I_d$ を用い、転流リアクタンスのp. u. 値 X を次のように定義する。

$$X = \omega L \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} I_d / \frac{1}{\sqrt{3}} E = \frac{\sqrt{2} \omega L I_d}{E} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ωL : 転流リアクタンス(変圧器のインピーダンス)

E : 変圧器直流側巻線無負荷線間電圧

である。実際には、重なり角が存在するから、変圧器直流側巻線電流は上記の値より小さくなるが、その差はわずかである。

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立研究所 工学博士

3. 転流失敗領域の計算

3.1 転流の関係式

図2のように転流が行なわれる場合、導通し始めたバルブに流れる電流を i_s とすれば、 i_s は線間短絡電流に等しく次式が成り立つ。

$$2L \frac{di_s}{dt} = \sqrt{2} k E \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\sqrt{2} k E \sin(\omega t + \varphi)$ ： 転流電圧（直流側巻線換算値）

ωL ： 転流リアクタンス

上式より i_s を求めると、

$$i_s = -\frac{kE}{\sqrt{2} \omega L} \cos(\omega t + \varphi) + C \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 C ： 積分定数

この i_s が直流電流 I_d に達した時点で転流が完了する。

3.2 定常運転限界

(2)式において、

$$\omega t + \varphi = 180^\circ - \gamma \text{ で } i_s = 0$$

$$\omega t + \varphi = 180^\circ - \delta \text{ で } i_s = I_d$$

とすると、次式が得られる。

$$\cos \delta - \cos \gamma = \frac{\sqrt{2} \omega L I_d}{kE} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 γ ： 制御進み角、 δ ： 転流余裕角である。

インバータの制御角 γ は、上式に従って δ ＝一定となるように決定されるから、転流電圧の低下幅が小さい場合（言いかえると、 k が1に近い場合）には、余裕角 δ をもって安定に動作する。ところが、電圧低下が大となり、余裕角 δ を一定に保つために制御角 γ が大きくなってくると、他相の転流の影響を受けて余裕角が小さくなっていく。その値がサイリスタのターン・オフ時間よりも小さくなれば、転流失敗が発生し、運転できなくなる。以下、各種故障時のインバータの運転限界を求める。

3.2.1 三相平衡故障の場合

電圧が低下し、 $\gamma > 60^\circ$ になると図3のように、他相の転流の影響を受けて、 δ が一定となるように制御していても電圧が k 倍と

なった場合の実際の余裕角 $\delta'(k)$ は次のようになる。

$$\delta'(k) = \delta - \{\gamma(k) - 60^\circ\} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 δ ： 平常時の余裕角

$\gamma(k)$ ： 転流電圧が k 倍($0 < k < 1$)に低下した場合の制御進み角

サイリスタのターン・オフ時間を δ_m とすれば、 $\delta'(k) \leq \delta_m$ となると転流失敗する。(5)式の $\delta'(k)$ を δ_m で置きかえ、(4)式と連立させると限界が求まり下式のようなになる。

$$k = \frac{\sqrt{2} \omega L I_d / E}{\cos \delta - \cos(\delta - \delta_m + 60^\circ)} \dots\dots\dots (6)$$

k が上記の値より小さくなると、余裕角不足で運転できなくなる。

3.2.2 不平衡故障の場合

この場合は、相電圧交点の位相すなわち転流電圧位相が変わるため他相の転流の影響は平衡故障の場合よりも複雑になる。したがって各相の転流余裕角をその直後に転流の行なわれる相の位相を考慮しながら求めることが必要である。ただし、図2のP側とN側は対称であるから、P側の三相についてのみ限界を求めればよい。

表2はU相1線地絡とUV相2線地絡の場合について、各相の転流の行なわれる限界を求めた結果を示したものである。U相1線地絡では $V_p \rightarrow W_p$ の転流が、UV相2線地絡では $W_p \rightarrow U_p$ の転流が最も過酷な条件となる。

不平衡故障の場合は、位相の変化 φ が k の関数となるため、三相平衡故障の場合のように容易に k の下限値の解析解を求めることはできないが、デジタル計算機を用いて k の値を順次小さくしながら繰り返し計算を行えば、簡単に k の下限値を求めることができる。

3.2.3 計算結果

(6)式および表2によって計算した k の下限値を示したのが図4である。

当然のことながら転流リアクタンスが大きいほど、また平常時の余裕角が小さいほど転流失敗しやすくなる。

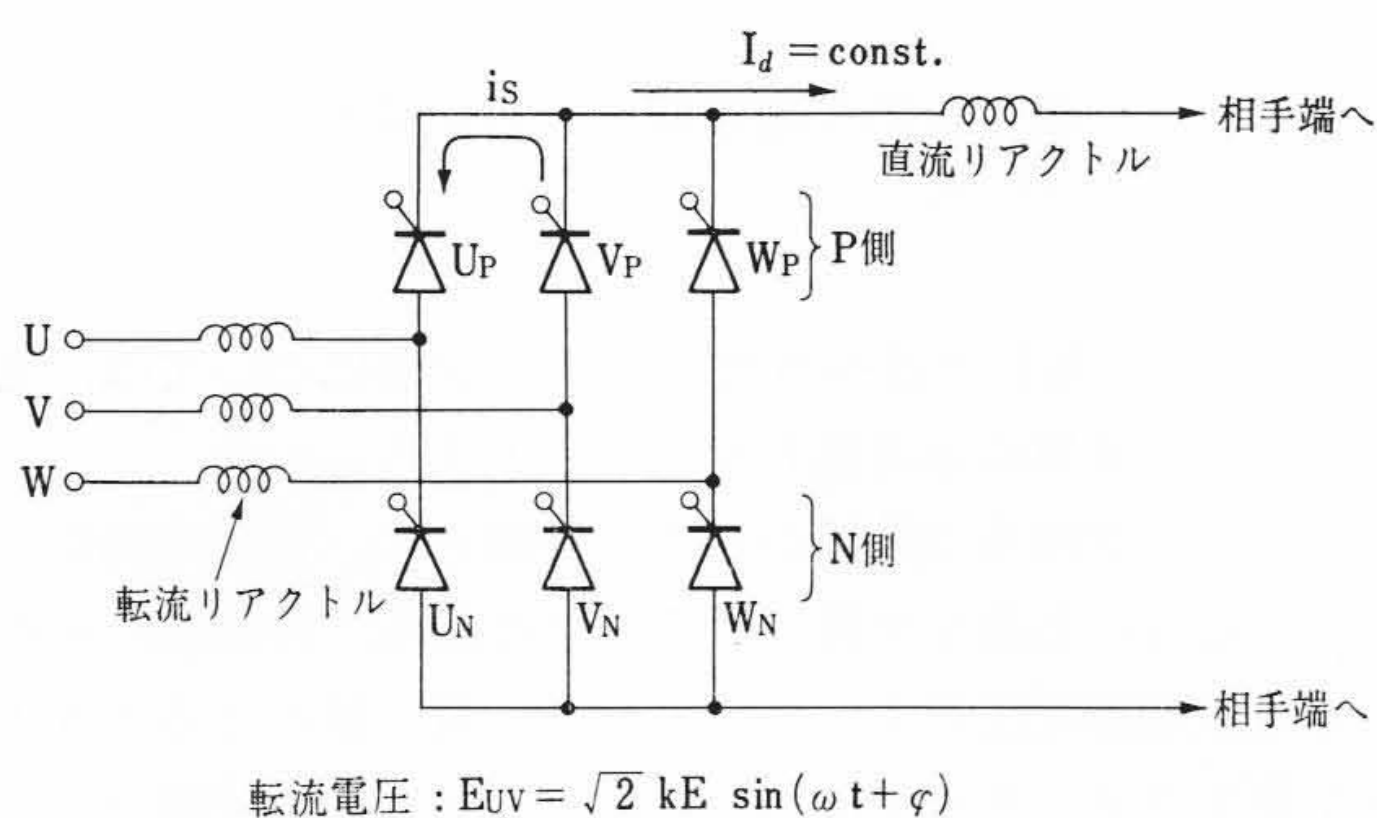


図2 転流の説明図

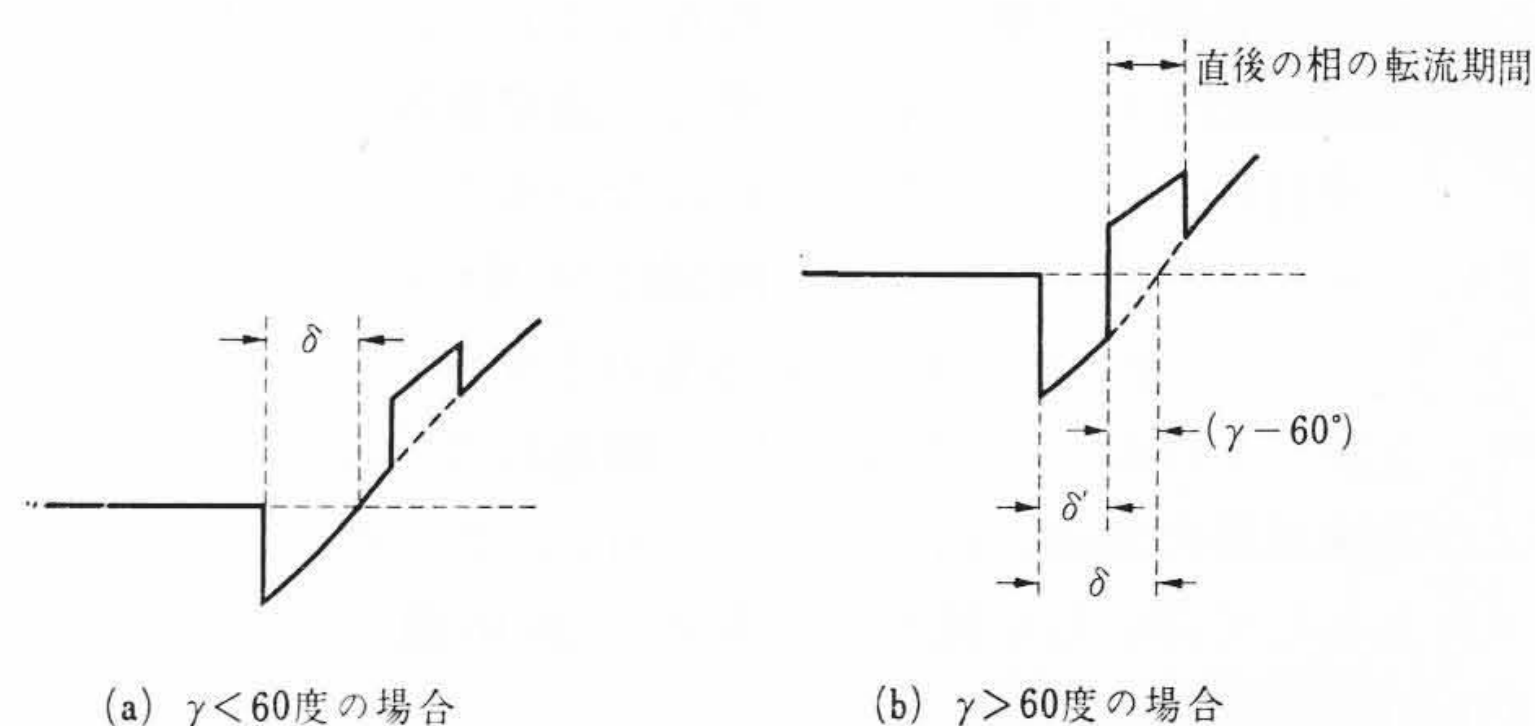


図3 他相転流の影響

表2 不平衡故障時の定常運転限界

転流	U相1φ-G			UV相2φ-G		
	$U_p \rightarrow V_p$	$V_p \rightarrow W_p$	$W_p \rightarrow U_p$	$U_p \rightarrow V_p$	$V_p \rightarrow W_p$	$W_p \rightarrow U_p$
上記転流の直後に 行なわれる転流	$W_N \rightarrow U_N$	$U_N \rightarrow V_N$	$V_N \rightarrow W_N$	$W_N \rightarrow U_N$	$U_N \rightarrow V_N$	$V_N \rightarrow W_N$
直後の相の転流の 影響を受ける条件	$\gamma(k_0) > 60^\circ + 2\varphi$	$\gamma(k_0) > 60^\circ - \varphi$	$\gamma(1) > 60^\circ - \varphi$	$\gamma(k_0) > 60^\circ + \varphi$	$\gamma(x) > 60^\circ + \varphi$	$\gamma(k_0) > 60^\circ - 2\varphi$
運転可能条件	$\delta - \{\gamma(k_0) - (60^\circ + 2\varphi)\} > \delta_m$	$\delta - \{\gamma(k_0) - (60^\circ - \varphi)\} > \delta_m$	$\delta - \{\gamma(1) - (60^\circ - \varphi)\} > \delta_m$	$\delta - \{\gamma(k_0) - (60^\circ + \varphi)\} > \delta_m$	$\delta - \{\gamma(x) - (60^\circ + \varphi)\} > \delta_m$	$\delta - \{\gamma(k_0) - (60^\circ - 2\varphi)\} > \delta_m$

注：1. $\gamma(1)$, $\gamma(k_0)$, $\gamma(x)$ はそれぞれ転流電圧が、1, k_0 , γ (p.u.) となった場合に余裕角 δ を規定値に保つための制御進み角である。

2. δ_m はサイリスタのターン・オフ・タイム電角で表わしたものの。

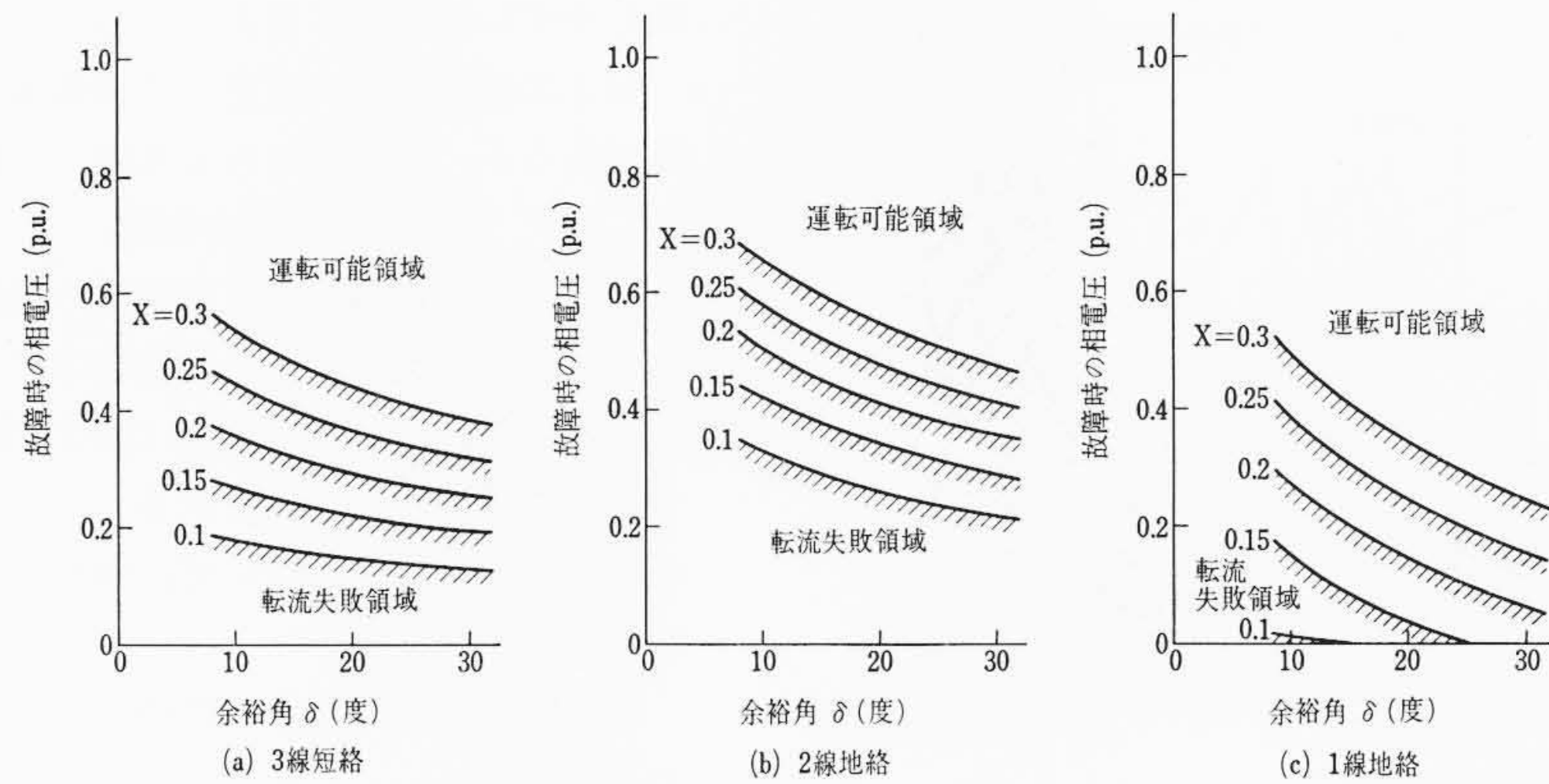


図4 交流系故障時の定常運転限界

三者を比較すると2線地絡が最も過酷な条件であり、転流リアクタンスを20%、余裕角を20度とすれば、故障時の相電圧が41%以下に低下すると運転できないことがわかる。

3.3 故障発生時の転流失敗領域（過渡時）

前節では、定常運転の限界を求めたが、過渡状態を考えると、転流失敗領域はさらに大きくなる。

まず、故障発生時も含めて直流電流を一定とし、他相転流の影響も考えないこととして、転流失敗領域を求め、次に、これらの影響を考慮した場合について説明する。

3.3.1 ゲート点弧以前に故障が発生する場合

この場合、転流は故障時の電圧 $\sqrt{2}kE \sin(\omega t + \varphi)$ によって行なわれる。サイリスタのターン・オフ時間に相当する電気角 δ_m に等しいだけの余裕角をもって転流を完了するためには、 $\omega t = \theta_1$ で転流を開始しなければならないものとする、 $\omega t = \theta_1$ 以降で故障が発生すると、故障発生後直ちに点弧パルス印加しても転流失敗を避けることができない。以下 θ_1 の値を求める。

(2)式において $\omega t = \theta_1$ で $i_s = 0$ として積分定数を求め、さらに、 $\omega t + \varphi = 180^\circ - \delta_m$ で $i_s = I_d$ になるとすると

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{\sqrt{2} \omega L I_d}{kE} - \cos \delta_m \right) - \varphi \quad (7)$$

(1)式により、転流リアクタンスとして p.u. 値 X を用いると上式は次のように書き換えることができる。

$$\theta_1 = \cos^{-1} (X/k - \cos \delta_m) - \varphi \quad (8)$$

3.3.2 転流開始後に故障が発生する場合

故障発生前の転流電圧は $\sqrt{2}E \sin \omega t$ であり、故障発生後は $\sqrt{2}kE \sin(\omega t + \varphi)$ なる電圧で転流が行なわれる。

$\omega t = \theta_2$ で故障が発生すると、余裕角 δ_m をもって転流が終了するものとして θ_2 の値を求める。

ゲート点弧時には、まだ故障は発生していないから、点弧位相すなわち制御角 γ は(4)式にて $k=1$ として求められ、次のようになる。

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\cos \delta + \frac{\sqrt{2} \omega L I_d}{E} \right) \quad (9)$$

(3)式において、 $k=1$ 、 $\varphi=0$ とし、 $\omega t = 180^\circ - \gamma$ で $i_s = 0$ とすると、積分定数 C が求まり、 $\gamma < \omega t < \theta_2$ における関係式は、

$$i_s = -\frac{E}{\sqrt{2} \omega L} \cos(\omega t - \cos \gamma) \quad (10)$$

となる。

$\omega t = \theta_2$ で故障が発生した時点における i_s の値は、

$$i_s = -\frac{E}{\sqrt{2} \omega L} (\cos \theta_2 - \cos \gamma) \quad (11)$$

これが、故障発生後の関係式の初期条件となる。上記の初期条件を(3)式に用いると故障発生後の i_s は、

$$i_s = -\frac{kE}{\sqrt{2} \omega L} \left\{ \cos(\omega t + \varphi) - \cos(\theta - \varphi) \right\} + \frac{E}{\sqrt{2} \omega L} (\cos \gamma - \cos \theta_2) \quad (12)$$

上式で、 $\omega t + \varphi = 180^\circ - \delta_m$ で、 $i_s = I_d$ とし、(8)式の関係を用いると、 θ_2 が次のように求まる。

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{k \cos \delta_m - \cos \delta}{\sqrt{1 - 2k' \cos \varphi + k'^2}} + \zeta \quad (13)$$

ただし、 $\zeta = \tan^{-1} \frac{k \sin \varphi}{1 - k \cos \varphi}$

$\omega t = \theta_2$ 以前に故障が発生すると、故障時の低い電圧で転流する期間が長くなり、重なり角の増加により、余裕角が δ_m より小さくなり転流失敗する。

3.3.3 転流完了後に故障が発生する場合

転流完了後に不平衡故障が発生し、相電圧交点の移動により、逆電圧時間が小さくなると、転流失敗が発生する。

転流失敗限界は表1および図1に求めた相電圧交点の変化 φ を用いて、

$$\delta - \varphi = \delta_m \quad (14)$$

で表わすことができる。

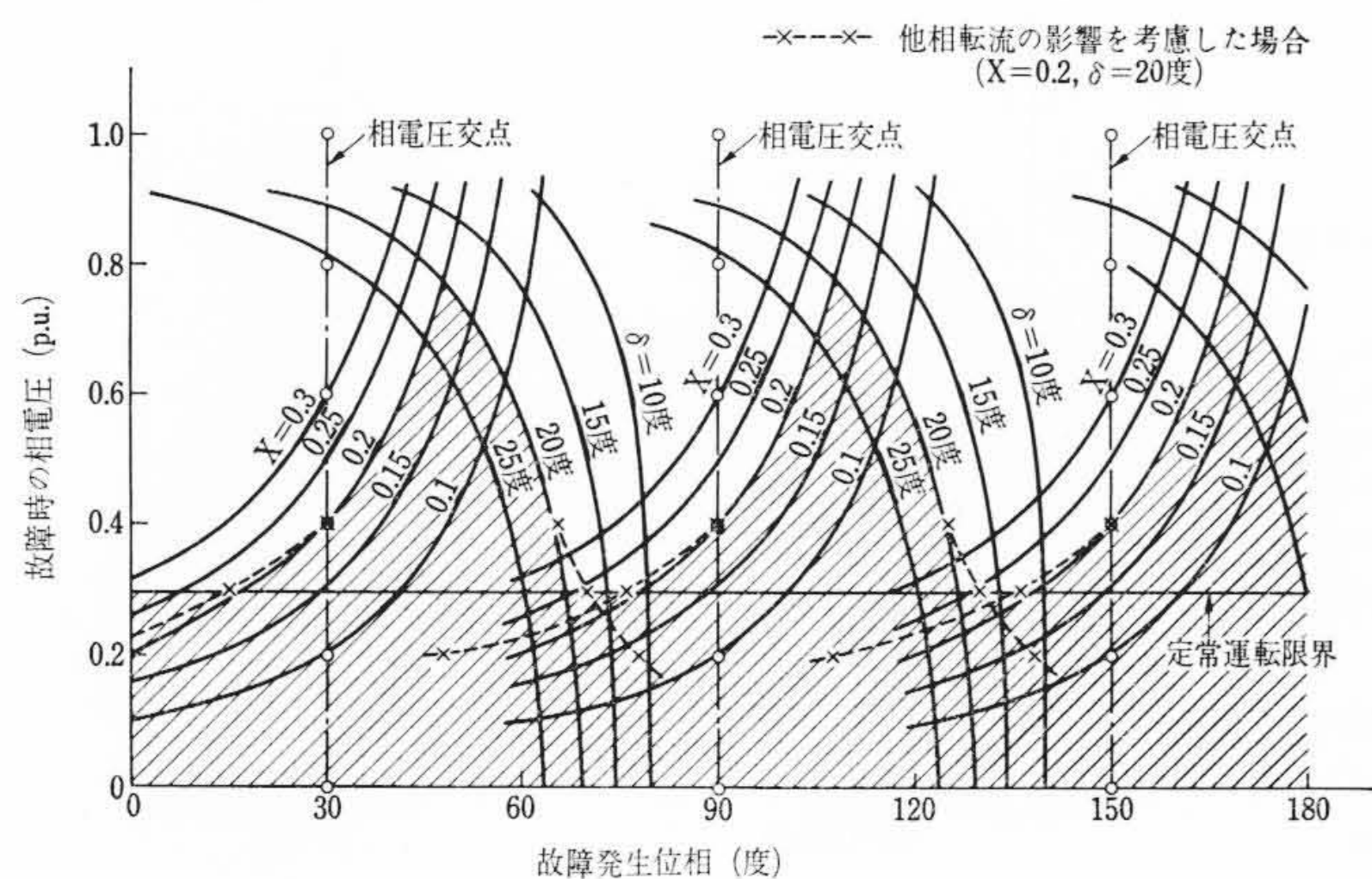
3.3.4 計算結果

(8)、(13)および(14)式より計算した転流失敗領域を示すと図5(a)~(c)のようになる。(a)は3線短絡に対する領域であり、(b)は2線地絡、(c)は1線地絡の場合を示している。いずれも、表1に示した各相電圧の変化を考慮しながら求めたものである。

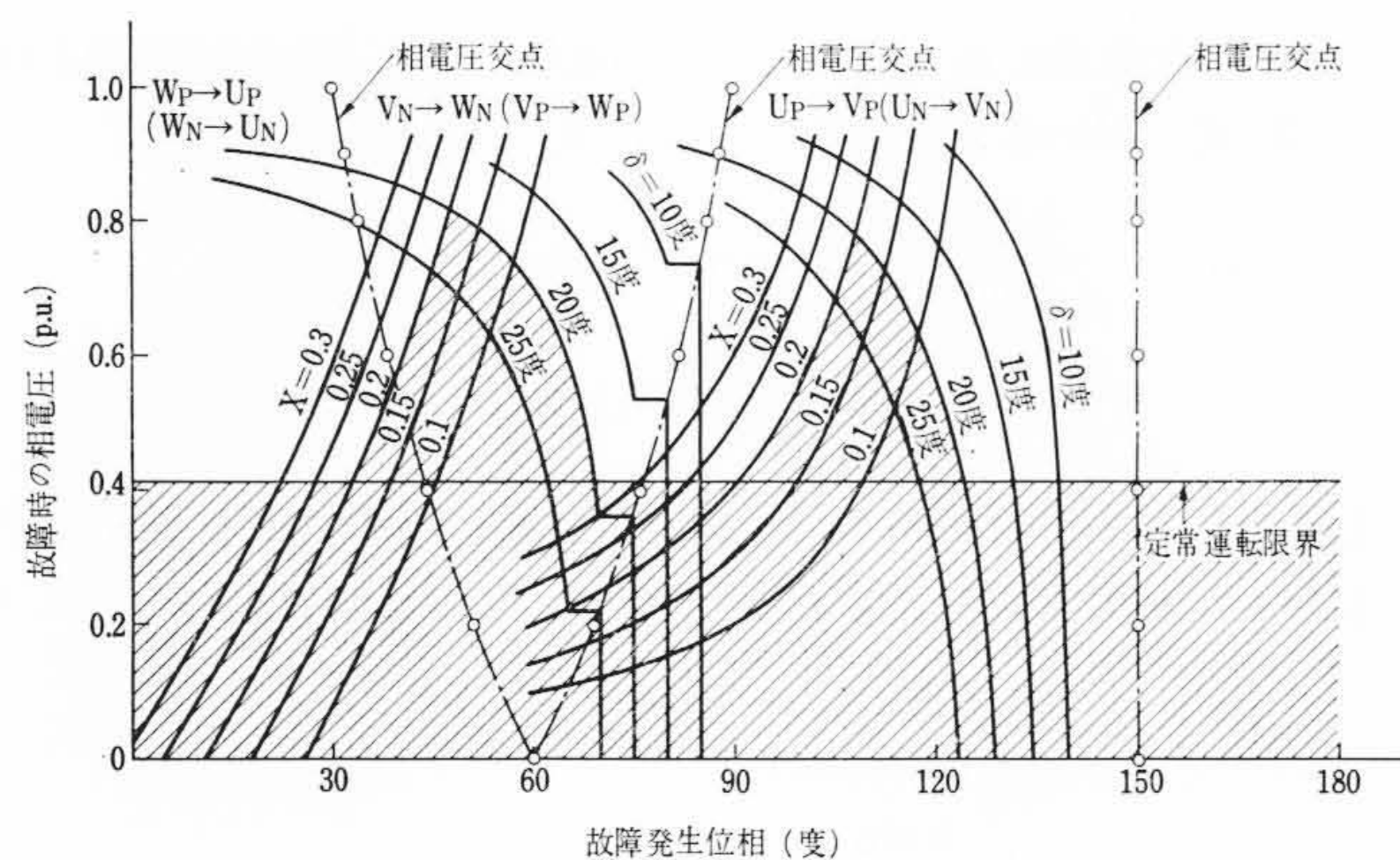
(8)式、(13)式からわかるように、転流開始前に故障が発生する場合の転流失敗領域は、転流リアクタンス X (p.u. 値) をパラメータにとって表現でき、転流開始後に故障が発生する場合は、転流リアクタンスの値にかかわらず、平常時の余裕角 δ をパラメータとして表現される。

上図の斜線部分は $X=0.2$ 、 $\delta=20$ 度とした場合の転流失敗領域を示している。同図中には図3より求めた定常運転限界もあわせて記入してある。

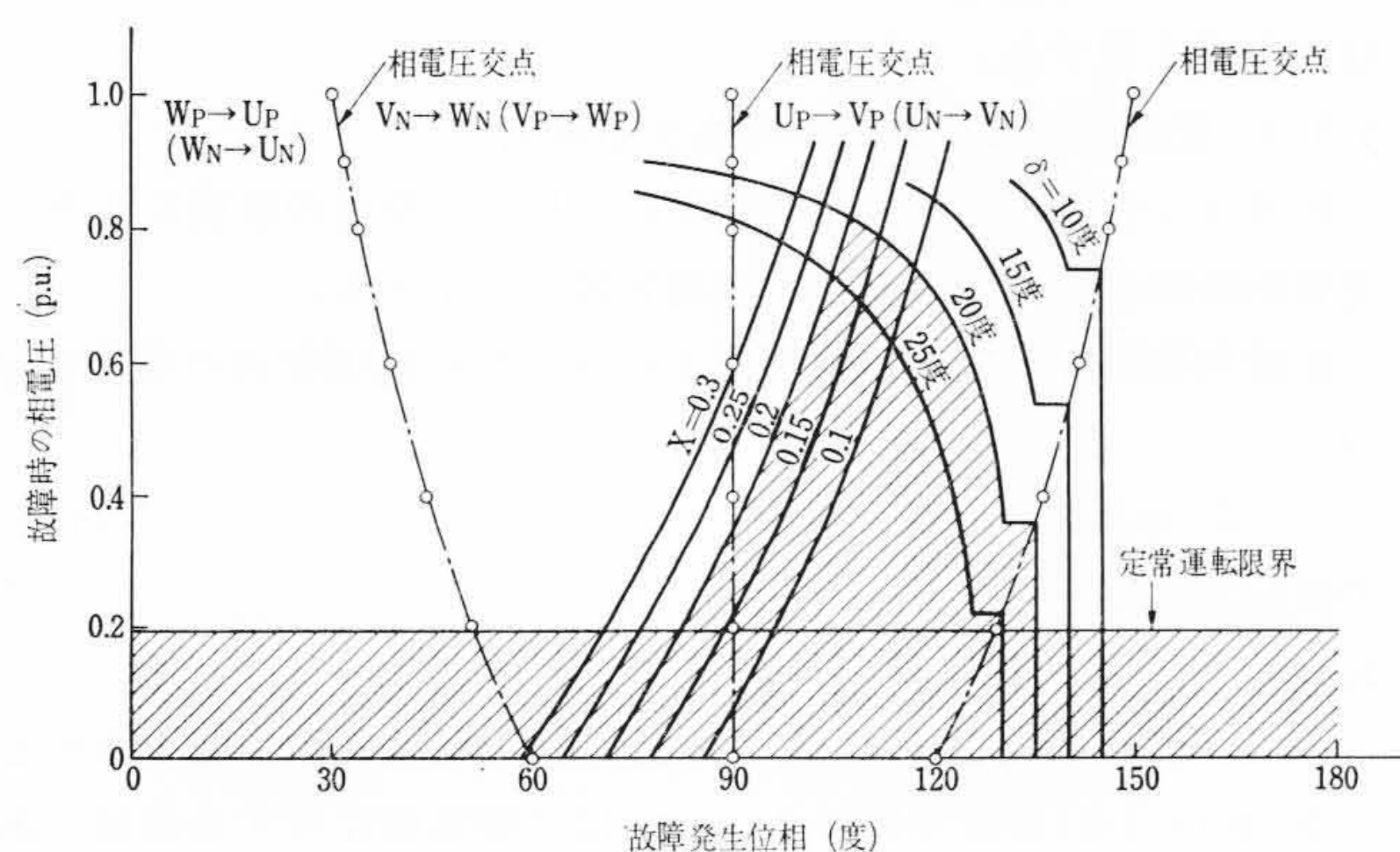
1線地絡の場合には、転流電圧の低下は少ないから、一般に非常に軽い故障であると考えられているが、過渡状態を考えると、位相の変化があるため、故障発生位相によっては3線短絡よりも転流失敗しやすいことがわかる。2線地絡で、転流電圧の最も小さくなる $U \rightarrow V$ 相の転流よりも $V \rightarrow W$ 相の転流のほうが転流失



(a) 3 線 短 絡 時



(b) 2 線 地 絡 時



(c) 1 線 地 絡 時

図5 過渡的な転流失敗領域 (計算値)

敗しやすいのも同じ理由による。

以上は直流電流の変動や他相転流の影響を無視して計算した結果であるが、以下これらを考慮した場合について考えてみよう。

3.3.5 直流電流変動の影響

故障発生時における直流電流の過渡変動は、直流リアクトルの大きさや定電流制御系の特性などによって異なる。直流電流の増加幅がわかれば、その影響は図5(a)~(c)を補正することにより簡単に求めることができるし、その影響はあまり大きくないから、個々の具体例について、おおよその増加幅を見込んで考察すればよい。

本節では、この補正法について説明し、具体例については次章で述べる。

まず、転流開始前に故障が発生する場合を考える。

転流が完了する時点における直流電流が、 $(1+I_1)$ 倍に増加しているものとすれば、転流失敗限界は(7)式の I_d の代わりに、 $(1+I_1)I_d$ を用いることによって求められる。すなわち、転流リアクタンス X が $(1+I_1)X$ になるものとして考えればよい。図5(a)~(c)からわかるように、交流電圧の低下幅を一定とすると、転流失敗領域は、転流リアクタンスの変化に対してほぼ等間隔で変化しているから、 $(1+I_1)X$ に対する値は比例部分法により容易に求めることができる。

次に、転流開始後に故障が発生する場合は、パラメータである余裕角 δ が変化するものと考えて、 X の変化の場合と同様にして補正すればよい。 δ の変化は(9)式において、 r を一定 (定常値) とし、直流電流が $(1+I_2)I_d$ となったとして求めればよい。

3.3.6 他相転流の影響

直後に転流の行なわれる相の制御角の影響を3.2の場合と同様に求めればよいわけであるが、転流リアクタンスが同じでも、平常時の余裕角が異なると転流失敗領域もかわってくるため、パラメータのとり方が複雑になる。したがって、図5(a)~(c)にこの影響を取り入れるのは得策ではない。下に示すように、その影響は小さいから過渡時の転流失敗領域は、他相転流の影響は受けないものとして求めてよい。

転流リアクタンス $X=0.2$ 余裕角 $\delta=20$ 度とし、他相転流の影響による余裕角の減少分だけ δ_m が大きくなるものとして表2に従って、 δ_m を補正して求めた結果を図5中の点線で表記した。定常運転可能範囲では、ほとんど影響ないことがわかる。なお、1線、2線地絡の場合には、上記範囲では全く影響がない。

4. シミュレータによる試験結果

4.1 模擬試験系統

シミュレータにより図6に示すような系統を構成し、交流系統で故障を発生させて電圧低下率、故障発生位相と、転流失敗限界の関

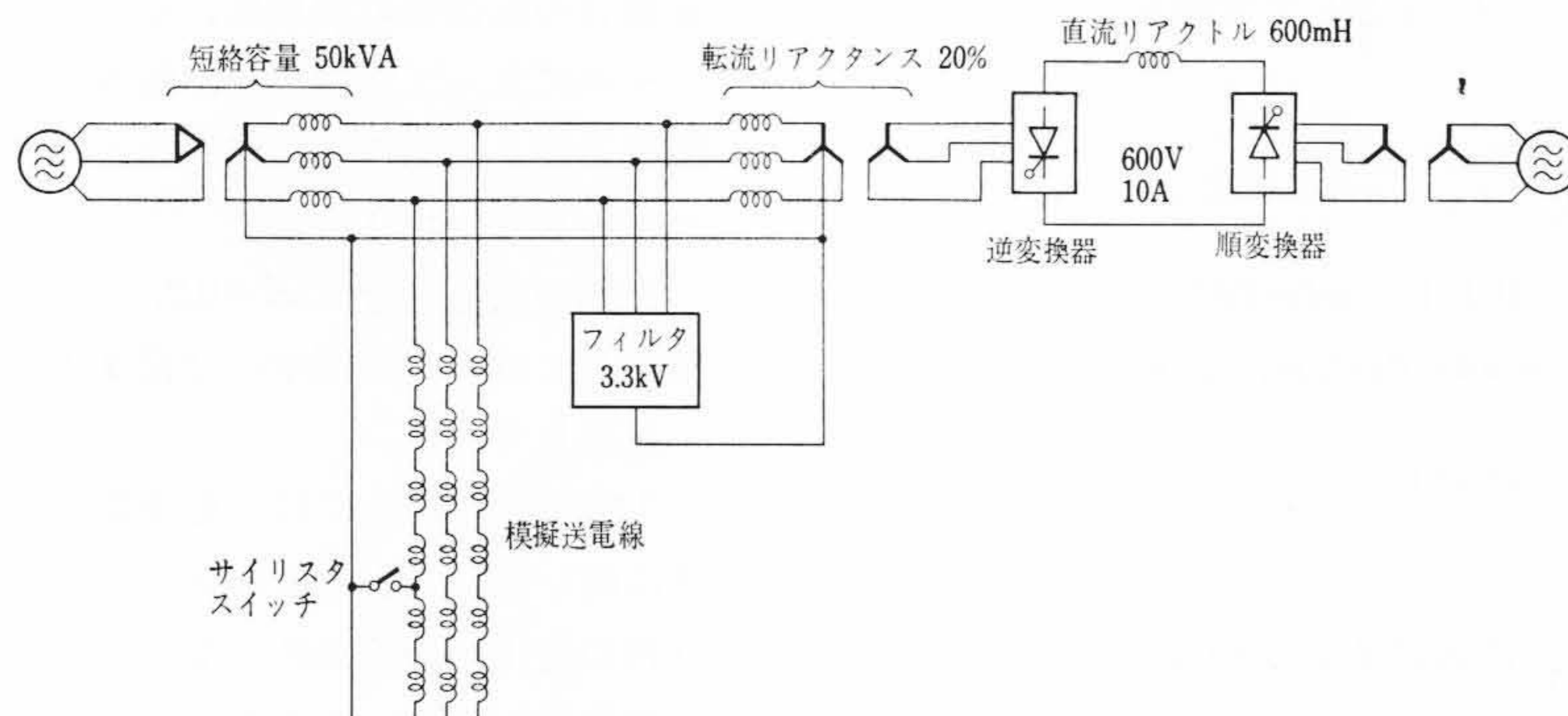


図6 試験系統図

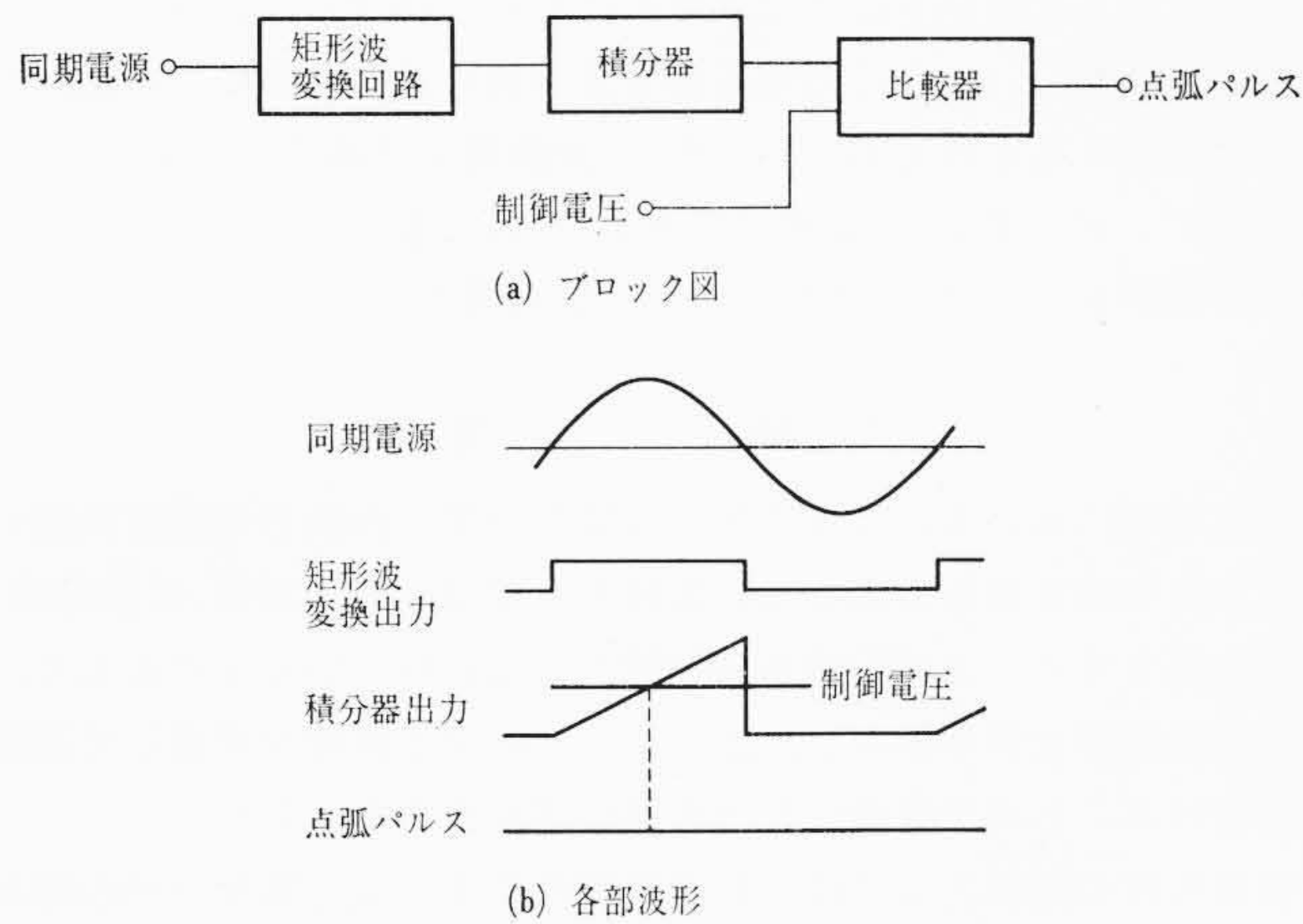


図7 パルス移相制御回路 (APPS)

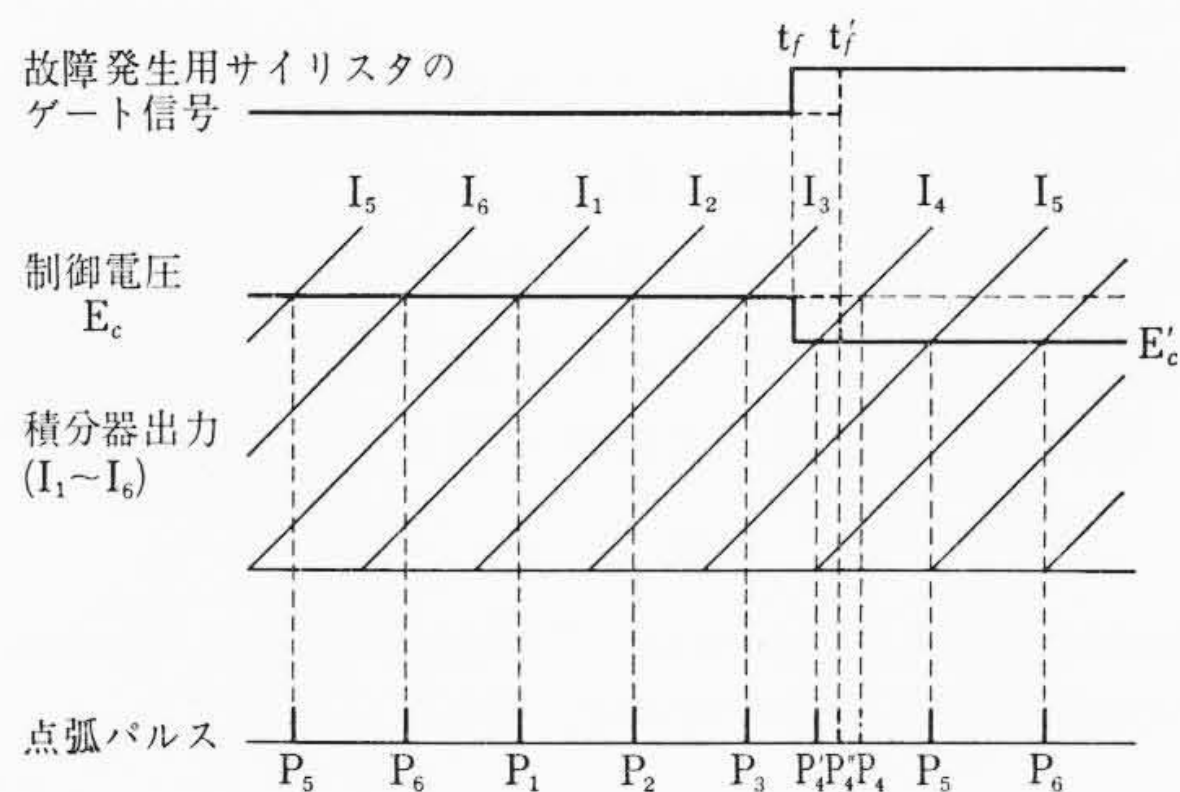


図8 故障発生時の制御方式

係を明らかにした。

故障の発生は、点弧位相を自由に調整できるサイリスタ・スイッチによって行なわれ、電圧低下率は故障位置を変えることによって変化する。

変換器容量は 6 kW (600 V , 10 A)、交流系の短絡容量は変換器容量の約 8 倍の 50 kVA であるとした。交流系のフィルタは、第 5 , 7 , 11 , 13 次高調波を吸収する分路および第 15 次以上の高調波を吸収するハイパスの分路より成っており、変換器容量の約 60% の 3.3 kVA の無効電力を供給する。

模擬送電線としては、大地のインピーダンスを考慮するべきであるが、ここでは、計算値との対比を容易にするために、このインピーダンスをゼロにしている。

4.2 制御方式

本シミュレータでは図7に示すようなパルス移相制御回路（以下 APPS と略記する）を用いている。この APPS によると同図(b)からわかるように、点弧位相は、制御電圧 E_c に比例して変化する。

本試験では、制御遅れゼロとして転流失敗領域を求めるために、図8のような制御方式をとった。すなわち、故障発生用のサイリスタにゲートが印加されると同時に制御電圧 E_c を瞬時に E'_c に変化させる。いま制御電圧が E_c のときの制御進み角を $\gamma(E_c)$ 、 E'_c のときのそれを $\gamma(E'_c)$ とする。点弧パルス P_3 が発生した直後 t_f の時点で故障が発生したとすると、点弧パルスは、 P_4 の位置から $(E_c - E'_c)$ に相当するだけ進んで P'_4 の位置で発生し、 $\gamma(E'_c)$ が得られる。もし、故障が P_4 の時点よりも遅れて t'_f のような時点で発生すると、故障発生と同時に点弧パルス P''_4 が得られることになる。したがって、故障中の交流電圧低下時の定余裕角制御による制御角が $\gamma(E'_c)$ よりも小さい故障に対して、故障発生と同時に点弧パルスを発生さ

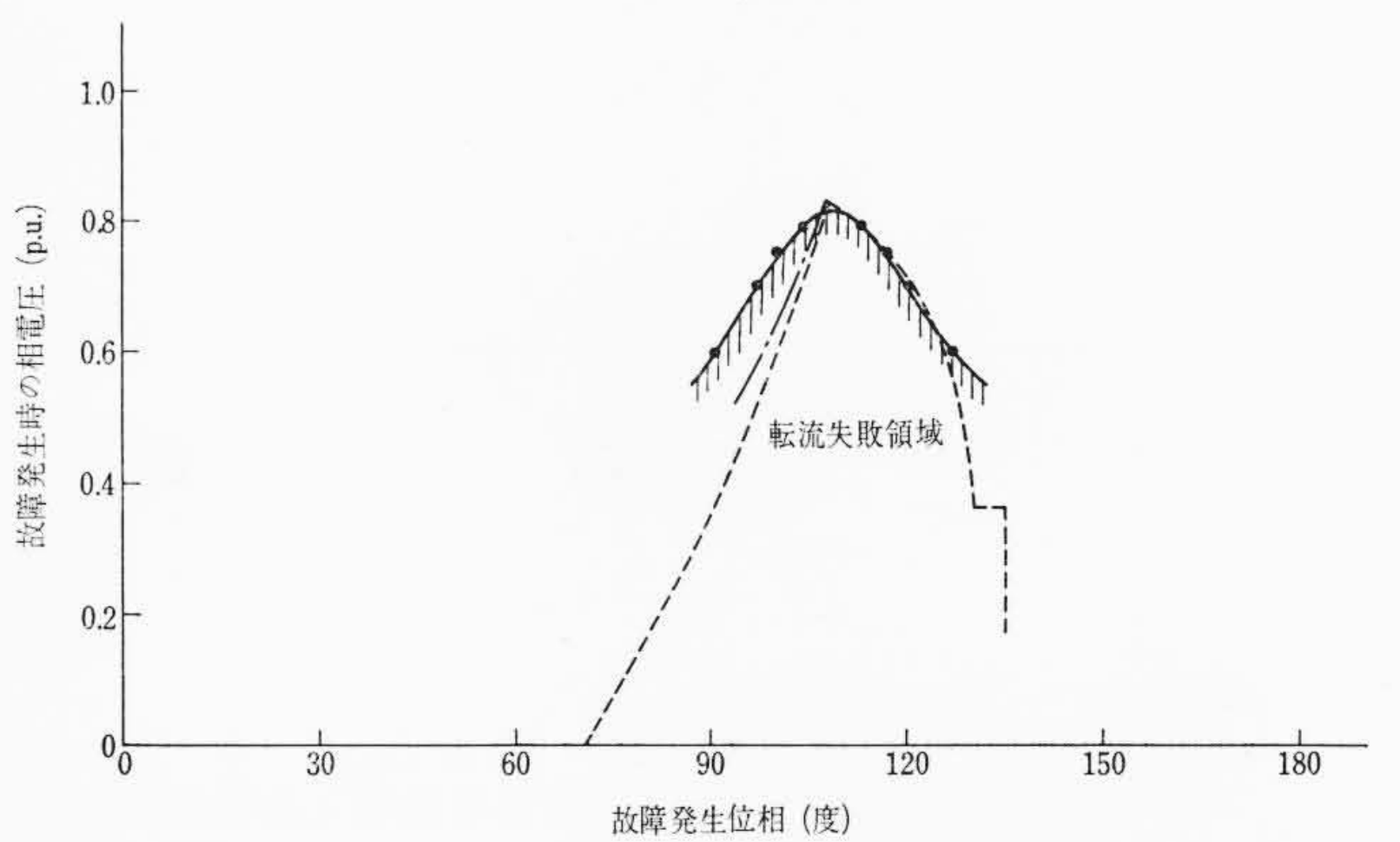
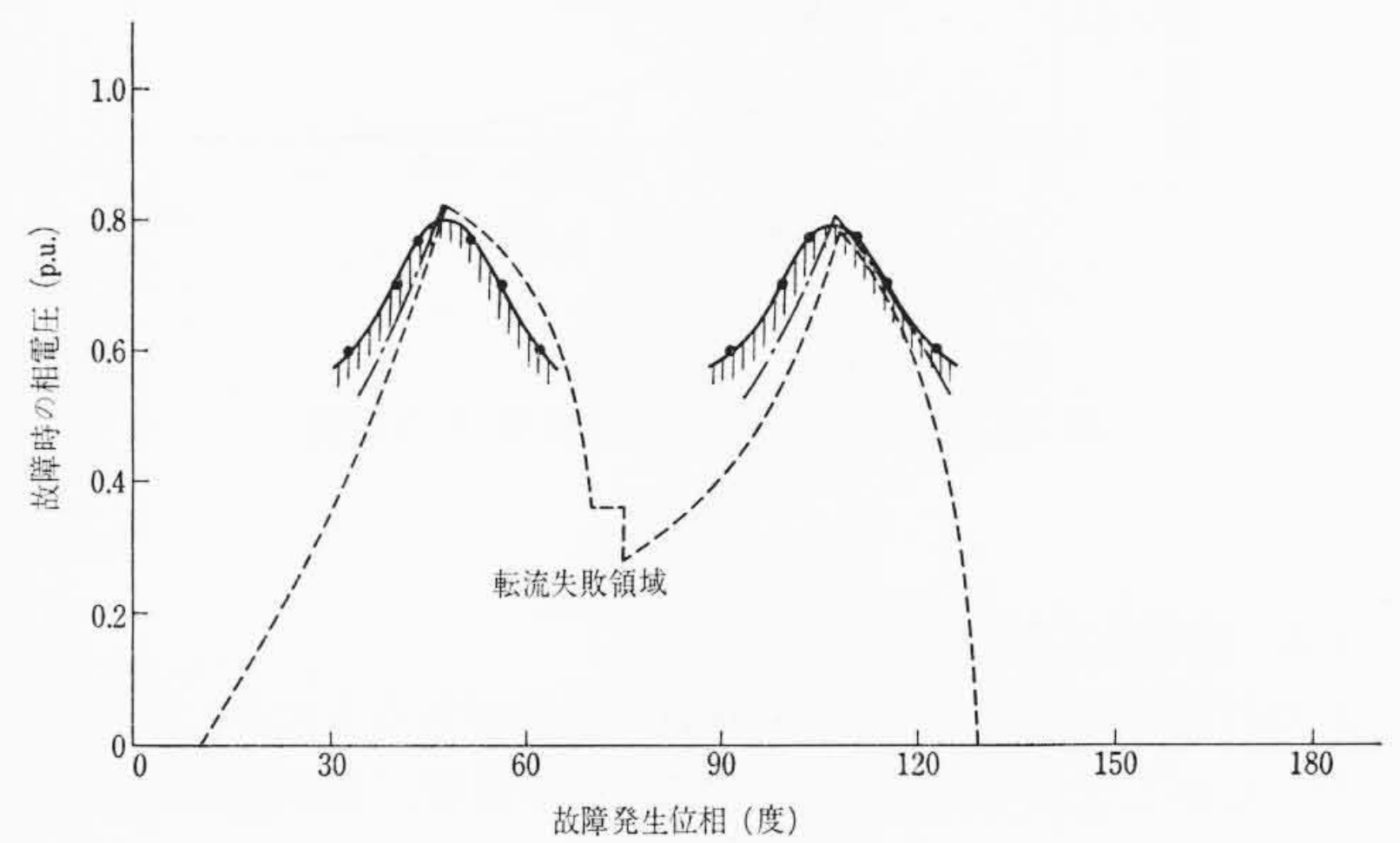
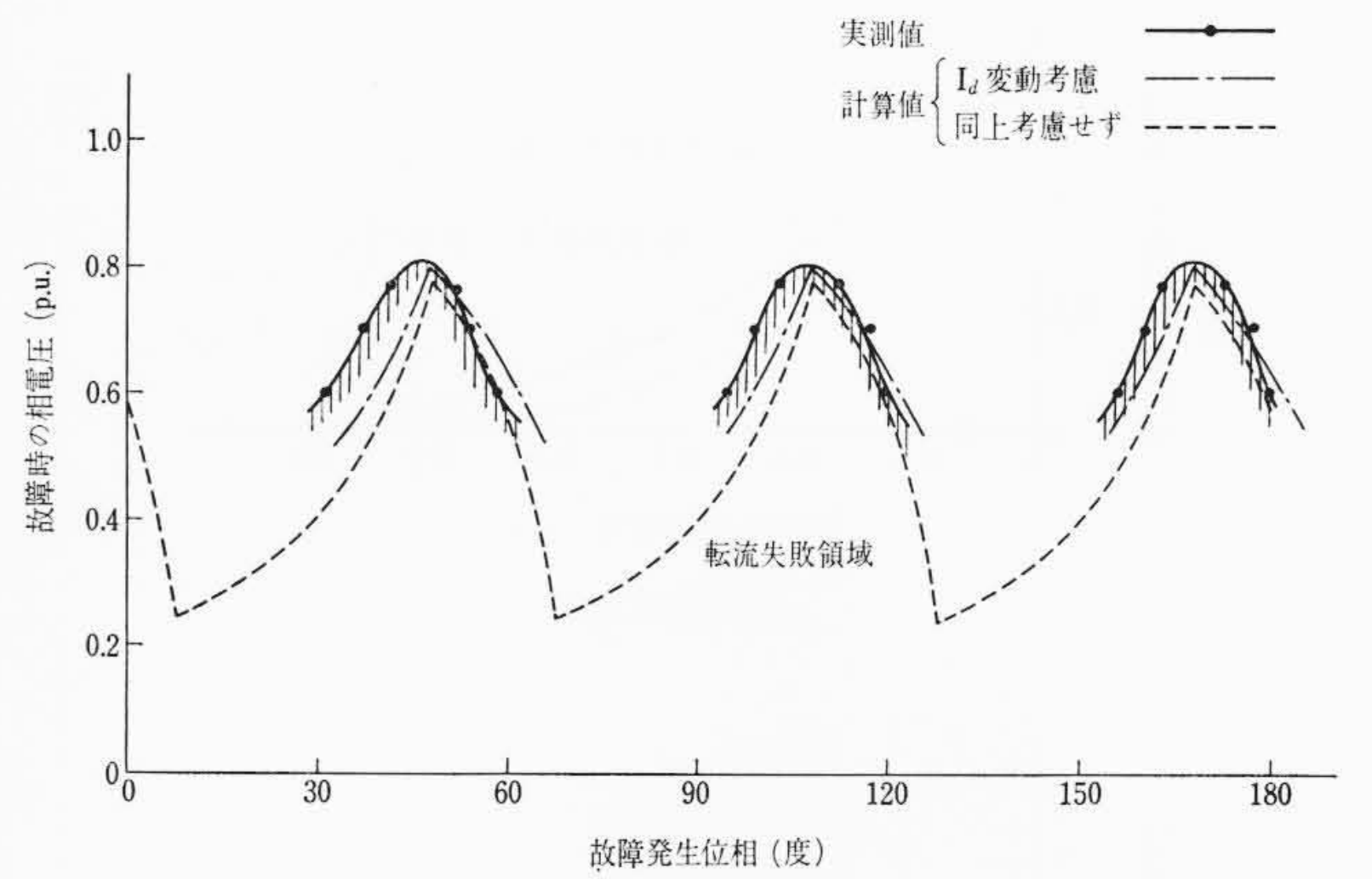


図9 過渡的な転流失敗領域 (測定値)

せても避けることのできない転流失敗領域を求めることができる。これが、前節で求めた計算値と対応することは明らかである。

4.3 試験結果、計算値との比較

シミュレータを用い、 $\gamma(E'_c) = 60$ 度として(前節参照)測定した転流失敗領域を示すと図9(a)~(c)のようになる。同図中に一点鎖線で示してあるのが、図5(a)~(c)の計算値を直流電流変動分を考慮して補正した転流失敗領域である。

故障発生用サイリスタ・スイッチの容量の関係で故障時の相電圧が 60% 以下になる場合については実験できなかったが、計算値とほぼ合致する実測結果が得られた。

計算に用いた直流電流の過渡的な増加分としては、図10に示す実験結果を用いた。これは転流失敗限界付近で故障を発生させ、転流完了時における直流電流の増加分を測定したものである。

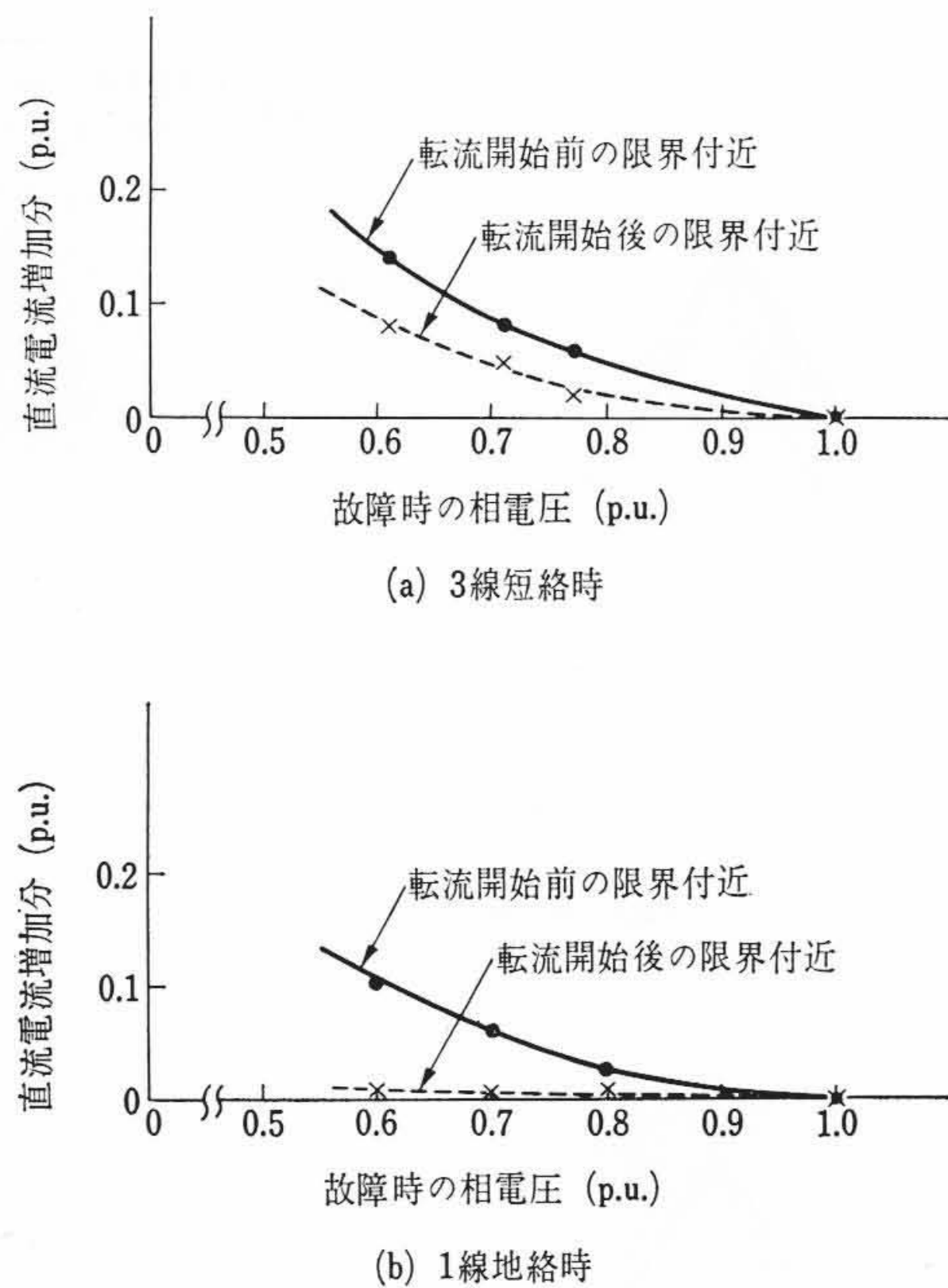


図10 交流系故障時の直流電流の増加

4.4 波形ひずみの影響

3. の計算はすべて交流系の電圧は正弦波であるものとして進められた。しかしながら、フィルタのL、Cの影響、変換器電流の影響

などのため、故障発生時には過渡的に波形がひずみ、正弦波からはずれる。図9(a)~(c)の実測値と計算値の差はおもにこの波形ひずみに起因するものである。しかし、変換器を計画するにあたり、変圧器のインピーダンス(転流リアクタンス)、余裕角などを決定するための資料としては、正弦波による計算結果でじゅうぶんであろう。

5. 結 言

直流送電において、交流系統で故障が発生した場合の逆変換器の転流失敗領域を明らかにした。故障としては、3線短絡、2線地絡、1線地絡を考え、まず定余裕角制御が行なわれているものとして、定常運転限界を明らかにし、さらに、故障発生位相を考慮して過渡的に避けることのできない転流失敗領域を明らかにした。

転流失敗の原因としては、転流電圧の低下による重なり角の増加のほかに、不平衡故障時には転流電圧位相の変化による余裕角の不足が大きく影響している。転流電圧の低下幅の小さい1線地絡の場合、故障発生位相によっては3線短絡よりも転流失敗しやすいのはこのためである。

なお、過渡的な転流失敗領域はかなり広範囲にわたっているが、これはいわゆる瞬時転流失敗であり、1サイクルで回復できる性質のものであるから、交流系統に及ぼす影響はわずかであろう。

終わりに臨み、ご指導いただいた日立製作所日立研究所、奥田主管研究員、横山主任研究員、天野主任研究員に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) Adamson and Hingorani: "High Voltage Direct Current Transmission" (Garraway, 1960)

Vol. 53

日立評論

No. 8

目 次

■ 論 文

- ・45 kG 鞍形超電導マグネット
- ・新系列中容量耐圧防爆形三相誘導電動機と防爆試験設備
- ・軸ねじり振幅を考慮した自動制御系
- ・調質圧延機の自動制御
- ・サイクロコンバータ方式サイリスタモータ
- ・水素液化装置
- ・高圧遠心圧縮機
- ・かご形誘導電動機のロータインピーダンス

- ・超高圧OFケーブルの誘電特性に関する二、三の考察
- ・22 kV 発電所主幹ケーブルの内部強制水冷

■ 最近のテレビ受信機特集

- ・新形テレビの開発
- ・広角(110度)偏向トランジスタテレビ受信機の開発
- ・音声多重テレビ受信機の開発
- ・スルーホールメッキプリント回路板の開発と実用化
- ・UHFチューナ新選局機構の開発
- ・110度偏向カラー受像管

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錦町3丁目1番地

郵便番号 101

振替口座 東京 20018番