

# 誘導電動機 の速度制御方式

神 崎 勇 二\*

(昭和35年 9月28日受理)

## 1. ま え が き

筆者は先に“誘導電動機<sup>(1)</sup>の速度制御方式に関する考案”と題して、2～3の改良方式<sup>(2)(3)</sup>を提案した。この他にも、ほぼ同じような方式が提案されている。ここでは、従来の方式およびこれらの新しい方式についてその原理を簡単に述べ、各方式の間の比較検討を行った結果について述べることにする。

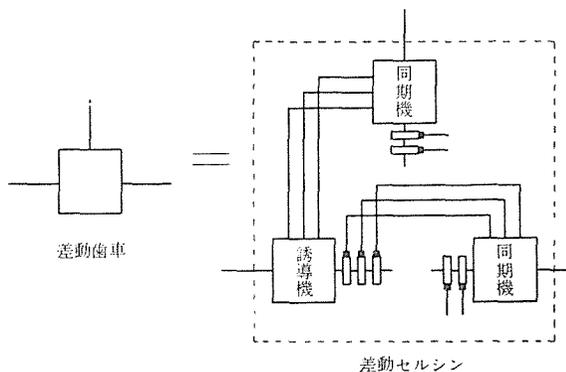
## 2. 差 動 歯 車

差動歯車は周知のように、自動車の後車軸の駆動に使用され、エンジンの動力を後車軸へ伝達すると同時に自動車の曲線通過を容易にしている。

ところで、この差動歯車には三つの軸（エンジンにつながる軸および左右の車輪につながる軸）があり、任意の1軸より他の2軸へ、または任意の2軸より残りの第3の軸へ動力を伝達することができる。しかも、左右の軸（車輪につながる軸）の動力の比は、いかなる場合においても常にその軸の回転数に比例している。

第3章、第5章に述べる改良方式は、差動歯車のこの性質を利用したものである。

また、差動歯車を電氣的に、すなわち電気機械でおきかえれば、第1図に示すように



第1図 差 動 セ ル シ ン

\* 電気工学教室，助教授

誘導機 1 個，同期機 2 個をもって構成された差動セルシンとなる。

第 4 章に述べる方式は，この差動セルシンを用いた方式を簡略化したものである。

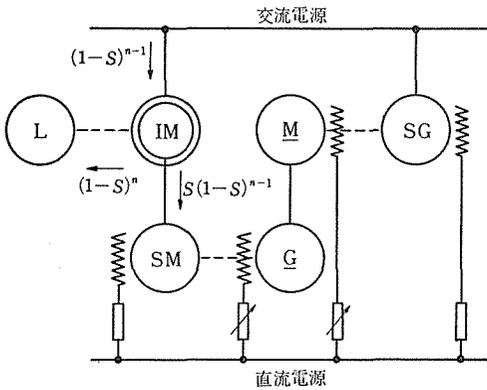
### 3. 差動歯車を用いたセルピウス方式

従来のセルピウス方式(第 2 図)は，誘導電動機の 2 次電力を電動発電機，直流電動機，同期発電機を通して電源へ返還している。(これらの補助機械として他の種の機器を用いた方式がある.)

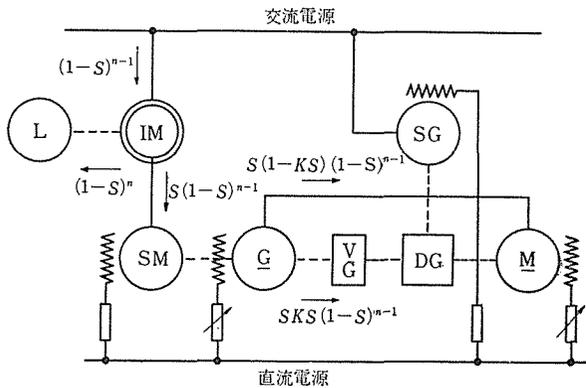
したがって，誘導電動機の同期速度における定格出力を基準の値 1 とすれば，誘導電動機のすべりが  $s$  であるときの 1 次入力，機械的出力，2 次電力はそれぞれ  $(1-s)^{n-1}$ ， $(1-s)^n$ ， $s(1-s)^{n-1}$  となる。ただし， $n$  はここでは 1 より大きな正数で， $n=1$  が定トルクの出力， $n=3$  が 2 乗トルクの出力を表わす。

これより，電動発電機，直流電動機，同期発電機の出力は  $s(1-s)^{n-1}$  で表わされることになる。

ここで第 3 図に示すように，同期電動機の有する機械的動力を差動歯車を通して直に同期発電機へ伝達するにすれば，直流発電機，直流電動機はその分だけ容量が小さくてよいことになる。



第 2 図 従来のセルピウス方式



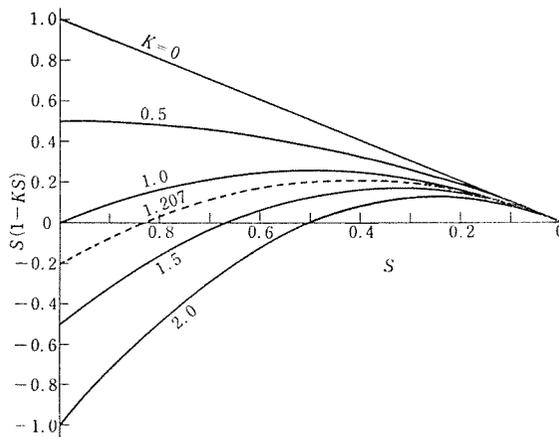
第 3 図 差動歯車を用いたセルピウス方式

第3図において、DGが差動歯車であり、VGは変速歯車(歯数比一定)である。

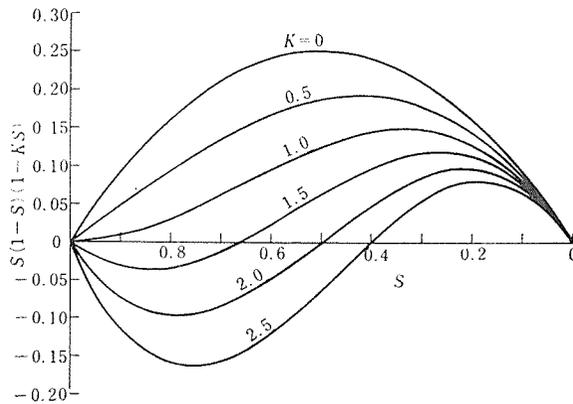
差動歯車の直流発電機側の軸と直流電動機側の軸の回転数の比が  $ks : (1 - ks)$  であるとすれば、直流発電機側の軸より差動歯車に入る動力は  $ks^2(1 - s)^{n-1}$  となり、直流電動機側の軸より入る動力は  $s(1 - s)^{n-1}(1 - ks)$  となる。ただし  $k$  は変速歯車の歯数比を変えることによって変るところの定数で、同期発電機、同期電動機の極数、差動歯車内部のドライブピニオンとクラウンギヤの歯数比にも関係するものである。

同期発電機へ伝達される動力は、左右の軸より入った動力の和で  $s(1 - s)^{n-1}$  となる。

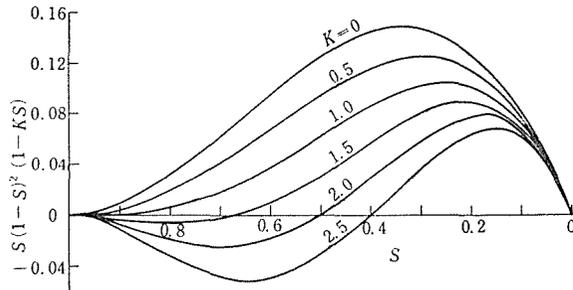
以上に述べたことより直流発電機、直流電動機の出力は  $s(1 - s)^{n-1}(1 - ks)$  で表



第 4 図



第 5 図



第 6 図

わされることになり、従来の方式に比べ小容量の機械でよいようになる。

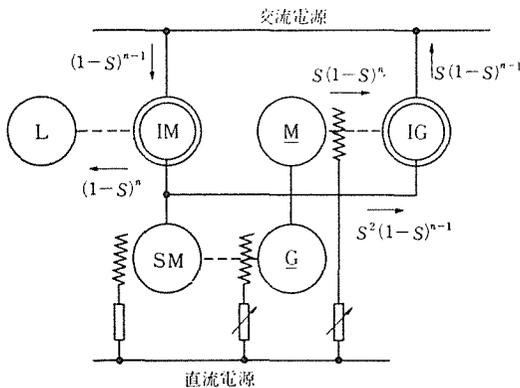
$s(1-s)^{n-1}(1-ks)$  を  $n=1, 2, 3$  について示せば第 4 図, 第 5 図, 第 6 図のようになり,  $k$  を一定にした場合,  $s(1-s)^{n-1}(1-ks)$  の最大値がその  $k$  における直流発電機, 直流電動機の容量ということになる。

$k=0$  が第 2 図に示す従来のセルビウス方式の場合に相当する。

たとえば  $n=1$  の場合には,  $k=1.2071$  にとれば直流発電機, 直流電動機の容量は従来の方式の 20.7% で  $s=1 \sim 0$  の速度制御が行えることになる。ただしこの場合  $s > 0.828$  においては直流発電機と直流電動機の動作が逆になる。

#### 4. 2 次励磁誘導発電機を用いたセルビウス方式

第 3 図の差動歯車を第 1 図に示す差動セルシンにおきかえ, 不要な機械をとり除けば, 第 7 図に示すように非常に簡単で経済的な方式が得られる。



第 7 図 2 次励磁誘導発電機を用いたセルビウス方式

第 7 図においては, 同期電動機と直流発電機を補助の機械として用いているが, これらを変圧器と金属整流器におきかえてもよい。さらに, 同期電動機, 直流発電機, 直流電動機の 3 者をシユラージ電動機等の交流整流子電動機におきかえることもできる。

さて, この場合の同期電動機, 直流発電機, 直流電動機の出力は  $s(1-s)^n$  すなわち, 第 4 図, 第

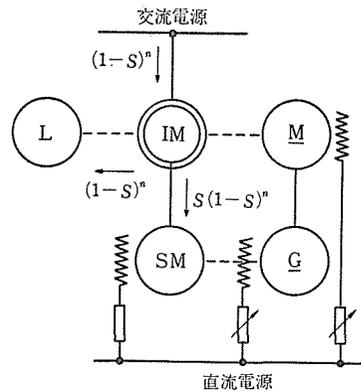
5 図, 第 6 図の  $k = 1$  で表わされる. したがって  $n = 1$  を例にとれば, 直流発電機, 直流電動機の 2 者が従来の方式の 25% の容量でよいことになる.

誘導発電機の出力は第 2 図の同期発電機と同じである.

### 5. 差動歯車を用いたクレーマ方式

従来のクレーマ方式(第 8 図)においては誘導電動機の 2 次電力を補助の機械で機械的動力に変え, 誘導電動機の軸へ返還している. 補助機械としては, 第 8 図に示す同期電動機, 直流発電機, 直流電動機の組合せ以外に可変比変圧器と金属整流器を用いた方式, 交流整流子電動機を用いた方式などがある.

第 8 図の場合においても,  $s = 0$  における誘導電動機の定格出力を基準の値 1 とすれば, 誘導電動機の 1 次入力, 機械的出力, 2 次電力はそれぞれ  $(1 - s)^n$ ,  $(1 - s)^{n+1}$ ,  $s(1 - s)^n$  となり,  $s(1 - s)^n$  の 2 次電力が同期電動機, 直流発電機, 直流電動機を通して誘導電動機の軸へ機械的動力となって帰ってくる. したがって 負荷へ伝達される全動力は  $(1 - s)^n$  となる.



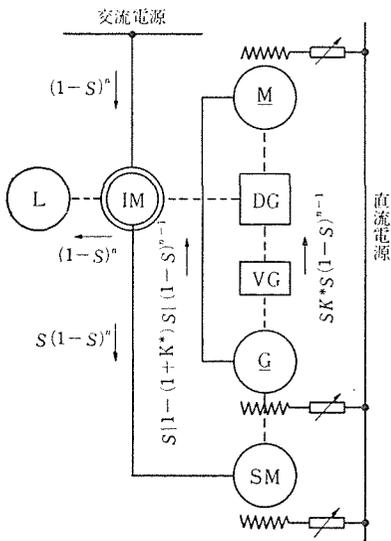
第 8 図 従来のクレーマ方式

これより, 同期電動機, 直流発電機, 直流電動機の出力は  $s(1 - s)^n$  で表わされることになる. なおこの方式では  $n$  は 0 より大きな正数で  $n = 0$  で定出力,  $n = 1, 3$  でそれぞれ定トルク, 2 乗トルクの特徴を示す.

クレーマ方式においても, 同期電動機の有する動力を差動歯車を通して誘導電動機の軸へ伝達するようにすれば直流発電機, 直流電動機の容量を小さくすることができる.

すなわち, 第 9 図に示すように 機械を結合し, 差動歯車の直流発電機側の軸と, 直流電動機側の軸の回転数の比を  $k^*s : \{1 - (1 + k^*)s\}$  とすれば, 直流発電機, 直流電動機の出力は  $s(1 - s)^{n-1} \{1 - (1 + k^*)s\}$  で表わされる.

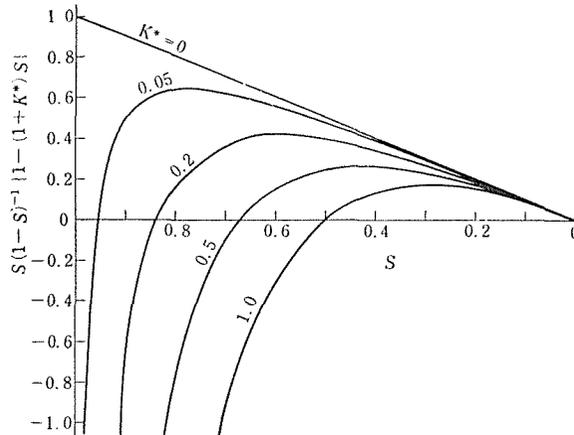
$k^*$  については  $k$  と同じようなことがいえるが,  $k^*$  は同期電動機と誘導電動機の極数に関



第 9 図 差動歯車を用いたクレーマ方式

係する点が  $k$  と異なるだけである。

$s(1-s)^{n-1}\{1-(1+k^*)s\}$  を  $n=0$  の場合について示せば第10図となり、 $n=$



第 10 図

1, 2, 3 の場合については、 $s(1-s)^{n-1}(1-ks)$  を示す第4図、第5図、第6図において  $k=1+k^*$  とおけばよい。いずれの場合も  $k^*=0$  が第8図の従来のクレーマ方式に相当する。

$k^*=0$  の場合の最大値を超えないような  $k^*$  の範囲またはすべりの範囲では、従来の方式に比べ直流発電機、直流電動機の容量が小さくてよいことになる。

差動歯車を用いた方式では、 $n=0$  の場合  $s=1$  まで速度を制御しようとするれば直流発電機、直流電動機の出力は無限大になる。

したがって限られた容量では  $s=1$  まで制御することは不可能で、直流発電機と直流電動機の容量で制御範囲が決定される。

たとえば  $k^*=0.5$  とすれば、直流発電機、直流電動機の出力の正の最大値(容量)が 0.27 となり、これと同じ負の値  $-0.27$  に対するすべり  $s=0.73$  まで制御できることになる。このときの同期電動機の容量は 0.73 である。

## 6. 各方式の比較

以上に述べたセルピウス、クレーマの各方式について、誘導電動機の  $s=0$  における定格出力を基準の値 1 として、 $s=1\sim 0$  の範囲にわたって速度制御を行う場合の各機械の容量および全設備の容量を示せば第1表、第2表となる。

ただし、第1表、第2表は第2図、第3図、第7図、第8図、第9図に示すように、直流電動機と電動発電機を用いた場合で、第2図、第7図、第8図において電動発電機

第 1 表

方式		機 械	IM	SM	<u>G</u>	<u>M</u>	SG IG	設備容量
従来の セルビウス 方式	$n = 1$		1	1	1	1	1	5
	$n = 2$		1	1	0.25	0.25	0.25	2.75
	$n = 3$		1	1	0.148	0.148	0.148	2.444
DG形 セルビウス 方式	$n = 1$		1	1	0.207	0.207	1	3.414
	$k=1.207$							
	$n = 2$		1	1	0.096	0.096	0.25	2.442
	$k=2.0$							
	$n = 3$		1	1	0.063	0.063	0.148	2.274
	$k=2.75$							
IG形 セルビウス 方式	$n = 1$		1	1	0.25	0.25	1	3.5
	$n = 2$		1	1	0.148	0.148	0.25	2.546
	$n = 3$		1	1	0.105	0.105	0.148	2.358

第 2 表

方式		機 械	IM	SM	<u>G</u>	<u>M</u>	設備容量
従来の クレーマ 方式	$n = 0$		1	1	1	1	4
	$n = 1$		1	1	0.25	0.25	2.5
	$n = 2$		1	1	0.148	0.148	2.296
	$n = 3$		1	1	0.105	0.105	2.210
DG形 クレーマ 方式	$n = 0$		1	—	—	—	—
	$n = 1$		1	1	0.207	0.207	2.414
	$k^*=0.207$						
	$n = 2$		1	1	0.096	0.096	2.192
	$n = 3$		1	1	0.063	0.063	2.126
	$k^*=1.75$						

のかわりに変圧器と金属整流器等を用いても設備容量に変わりはない。なお、表中に DG 形とあるのは差動歯車を用いた方式を表わし、IG 形とあるのは 2 次励磁誘導発電機を用いた方式であることを表わすものである。

第 2 図、第 7 図、第 8 図において補助機械にシュラゲ電動機等の交流整流子電動機 (CM) を用いれば第 3 表に示すようになる。

これらの表より知られるように、改良諸方式はいずれも従来の方式に比べ小さな設備容量ですむようになっている。

第 3 表

方式	機 械		IM	CM	SG IG	設備容量
	$n$	$n$				
従来の セルビウス 方式	$n = 1$		1	1	1	3
	$n = 2$		1	1	0.25	2.25
	$n = 3$		1	1	0.148	2.148
IG形 セルビウス 方式	$n = 1$		1	1	1	3
	$n = 2$		1	1	0.25	2.25
	$n = 3$		1	1	0.148	2.148
従来の クレーマ 方式	$n = 0$		1	1	/	2
	$n = 1$		1	1		2
	$n = 2$		1	1		2
	$n = 3$		1	1		2

しかし、差動歯車を用いる方式においては、差動歯車が必要であり、差動歯車を中心として多くの機械が機械的に結合される。したがって騒音も大きい等の欠点がある。さらに可変比変圧器、金属整流器等の静止形交直変換装置が使用できない、交流整流子電動機を使用できないという欠点もある。

今後、広く使用されるのは2次励磁誘導発電機を用いたセルビウス方式と従来のクレーマ方式であると思われる。この両者について比較すれば、設備容量の点ではクレーマ方式がすぐれており、しかも補助機械の容量を大にすれば  $n < 1$  の出力をも出すことができるという利点がある。

しかし、負荷に結合される機械について見れば、2次励磁誘導発電機を用いたセルビウス方式の方は誘導電動機のみであるが、クレーマ方式では誘導電動機の他に直流電動機または交流整流子電動機が結合される。

整流作用に問題の多いこれらの機械が環境の悪い負荷の近くにあって運転されることは、保守点検および災害防止上好ましくない場合もある。このような場合には2次励磁誘導発電機を用いたセルビウス方式の方が有利であろう。

## 7. む す び

従来、負荷の速度を広範囲に制御する場合にはほとんどワードレオナード方式が用いられ、大形の風胴(2乗トルク特性)の駆動にセルビウス方式が使用される位であった。

ここに提案する改良形セルビウス方式は、設備容量が小さくワードレオナード方式より経済的である。また、定トルク特性、2乗トルク特性を出すことのできるクレーマ方式<sup>(2)(3)</sup>はさらに小容量である。

これらの新しい方式が今後広く使用されるようになることを期待する次第である。

最後に、終始ご協力下さった中村浩氏、歯車を製作して下さいました機械工場の方々、およ

び卒業研究として実験を行っていただいた奥村正昭, 春原邦夫, 中村富家, 山崎善文の諸氏に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- (1) 神崎: 電気学会雑誌 第80巻 1281~1287 (昭35).
- (2) 小林: OHM 第44巻 1445~1450 (昭32).
- (3) 柴田: 昭和35年 電気四学会連合大会 講演論文集 613.

## Summary

### Speed Control Systems of Induction Motors

Yuji KOZAKI

(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering)

This paper proposes improved secondary excited speed control systems of wound rotor type induction motors.

These new systems consist of the following three parts:

- (1) Scherbius system using differential gear.
- (2) Scherbius system using secondary excited induction generator.
- (3) Krämer system using differential gear.

A distinct feature of these new systems over ordinary systems is that the secondary electric power of induction motor is separated into two parts and transmitted to the electric power source or to the shaft of the induction motor.

These new systems have a merit that capacities of part of auxiliary apparatus are decreased greatly.