

電力拖動特殊問題

(放大機控制系統)

蘇聯專家阿·依·舒金編著

交通大學工業企業電氣化教研組譯

1956

電力拖動特殊問題

(放大機控制系統)

蘇聯專家阿·依·舒金編著

交通大學工業企業電氣化教研組譯

1 9 5 6

本書是蘇聯專家阿·依·舒金(А. И. Шукин)同於 1956 年在交通大學講課時所用的講義，可作為工業電氣化專業本科學生學習時的主要參考書。本書由孝誠同志翻譯，未經專家最後校閱，如有譯錯之處由譯負責。

交通大學工業企業電氣化教研室

一九五六年五

目 錄

電機放大機控制系統工作的鎮定及其反饋·····	1
電動放大機控制系統鎮定的必要性·····	1
系統中的反饋·····	7
帶有切斷的電壓反饋·····	10
帶有切斷的電壓反饋系統底制動和反向工作狀態·····	14
對於帶有電壓切斷控制的總的評價·····	18
帶有電流切斷的反饋·····	18
帶有電流切斷反饋的制動和反向工作情況·····	20
對於帶有電流切斷控制的總的評價·····	22
帶有互相切斷 (совмещенная отсечка) 的控制·····	24
在相互切斷情況下的制動和反向·····	29
相互切斷控制的特點·····	31
分列切斷 (отдельная отсечка) 控制 ·····	32
在分列切斷中的制動及反向工作狀態·····	35
對分裂切斷控制的一般評價·····	36
發電機的串續勵磁控制·····	38
電動機的串續勵磁控制·····	45
過渡歷程的強勵程度·····	49

第二章 電機放大機控制系統元件的選擇	52
2-1 一般性的意見	52
2-2 發電機和電動機	52
2-3 勵磁機	53
2-4 放大機	54
2-5 整流器	56
2-6 鎮定變壓器	57
2-7 控制變壓器	58
2-8 控制迴路中電阻的計算	61
2-9 電機放大機控制的電力拖動特性的計算	66
2-10 關於電機放大機控制系統的過渡歷程	78
2-11 關於電機放大機控制系統中 ΣMY 的某些工作特點	85

電力拖動特殊問題

電機放大機控制系統

第一章 電機放大機控制系統工作的鎮定及其反饋

1-1 電機放大機控制系統鎮定的必要性

在缺乏鎮定的電機放大機控制系統中，當系統開始工作的時候，發電機的電壓，主迴路中的電流以及電動機的轉速可能發生不穩定的振盪，並且振幅可以漸漸增大，從而導致整個系統工作不穩定。

當系統自行激勵着的時候，發電機電壓的不斷增長也可以引起工作不穩定。

除了這些振盪以外，也可能發生一種振幅漸漸衰減的振盪。這種振盪雖然不如前者那樣危險，但是他却惡化了系統的工作。

在所有這些情況下，爲了改善系統的工作情況，我們常常採用各種鎮定裝置來使得系統穩定。

這裏，讓我們提出一個電機放大機控制系統來研究一下。圖 1 是這個系統的原理圖。

發電機 F 供電給一個或者幾個工作電動機 $1A, 2A \dots$ 等。我們用電機放大機 $9MY$ 來調整發電機的勵磁電流。以改變發電機的電壓和電動機的轉速。

放大機具有四個勵磁繞組。繞組 1 是參據繞組。他被接在可反向的迴路中。藉接觸器 B 及 H 的觸頭，他可以接到直流電源的正

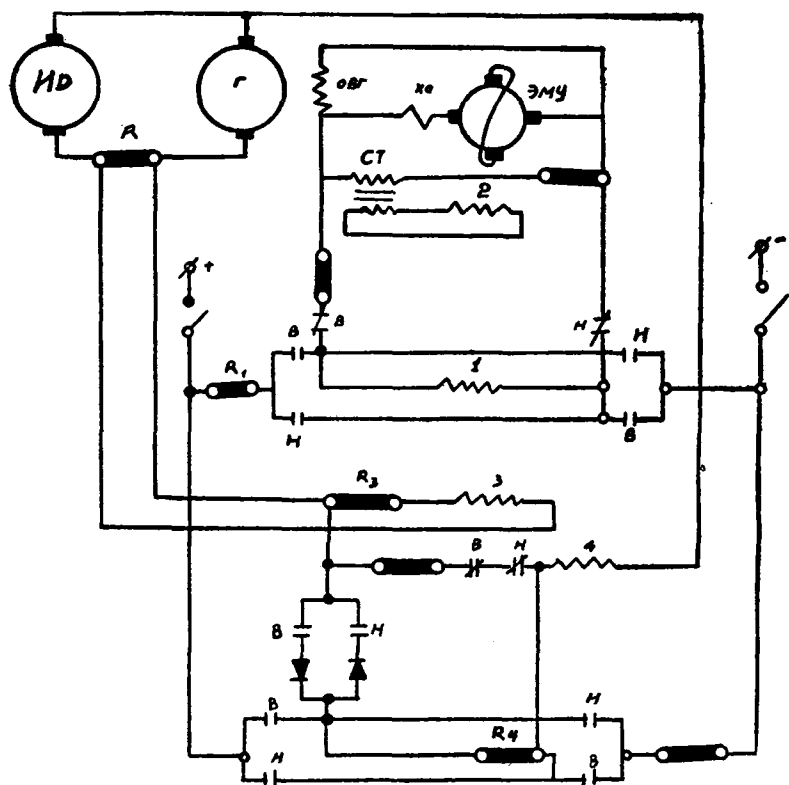


圖 1

或負的極性上去。

這個繞組決定了放大機和發電機的極性，因而也決定了工作電動機的旋轉方向。

繞組 2 被用作鎮定繞組。他被接在鎮定變壓器 CT 的次級迴路中，而變壓器的初級繞組則被接到放大機的輸出電壓上去。

這個繞組的作用強度和 $3MY$ 的電壓改變率成比例，也就是跟放大機輸出電壓的一次導數成正比。

當放大機電壓急疾地升高的時候，這個繞組產生削弱放大機磁勢的作用。這樣即保證了拖動系統的工作穩定而安寧。

限流繞組 3 被跨在主迴路中電阻的兩端上，他起着電流負反饋的作用。

在這個繞組影響之下，當起動，制動以及反向時，電機主迴路中的電流就受到了限制。

繞組 4 被用作電壓負反饋繞組，他被跨接在發電機電壓和比較電壓之差數上去，而這個比較電壓是從外來電源供電的電位計底部電阻上取下來的。

只有當發電機電壓超過比較電壓的時候，繞組 4 才開始起去磁作用。反之流到繞組去的電流將被固體整流器所阻止住，而接觸器 B 或者 H 的接通就決定了那一個整流器在阻止着電流的流通。

因為繞組 4 的去磁磁勢是和發電機電壓及比較電壓之差值成比例，所以這個繞組被用來限制發電機的電壓。

在繞組 4 與繞組 1 的磁勢大致相均衡的時候，發電機的電壓停在一定值上，因而工作電動機的轉速亦為之決定了。

當系統開始啟動時，接觸器 B 或 H 被接通，因而參據繞組 1 把放大機激勵了起來。

發電機的電壓開始增長；同時，發電機及工作電動機的主迴路電流也跟隨着增長起來。

於是拖動系統即加速起來。在這個過程中，電流繞組 3 及鎮定繞組 2 限制着 $\mathcal{M}$ 勵磁迴路中的電流。

此時，繞組 4 不起任何作用，因為發電機電壓還沒有達到比較電壓的數值。

在拖動系統加速的這段時期內，發電機電壓增長着。過了一些

時候，發電機電壓升高到比較電壓的數值，然後超過了這個數值。

在這個情況下，繞組 4 開始起作用。他的去磁作用漸漸地增強起來。

當繞組 4 和繞組 1 的磁勢相比較着的時候，發電機電壓的增長將被抑制住，而他的數值將相當於已給定了的穩態電壓。

所以，比較電壓等於規定了的發電機電壓及在繞組 4 中電壓降之差數。

一般在電壓切斷系統中，參數是這樣選擇的，即當 10—15% 發電機額定電壓加在放大機電壓繞組上的時候，該繞組中的磁勢足以全部抵消參據繞組的磁勢而使放大機的電壓為零*。

我們正在研究着的電機放大機控制系統具有所謂挖土機型狀的特性(圖 2)。這種特性使發電機的電壓以及電動機的轉速在圖 2 的 *ac* 段上維持常數幾乎不變，但當負載力矩再增加的時候，發電機電壓和電動機轉速即開始急驟地下降(圖 2 中 *cb* 段)。

這樣的特性是由繞組 3 和 4 的反饋來保證的。

當負載力矩增加因而發電機的電壓略有低落時，繞組 4 的去磁作用隨着繞組 3 的去磁作用的增加而減少。由於這個原因，發電機電壓的降落較為緩慢。

當發電機電壓降落到比較電壓數值時，繞組 4 中的去磁電流等於零，這樣，在該繞組中磁勢減小的過程即中止了。

此後，繞組 3 充分地減弱着放大機的磁勢，因而發電機電壓和工作電動機的轉速就急疾地下降了。

因為在發電機電壓升高到比較電壓值以前，電動機的加速是在

* 參閱 А. Т. Блажкин: Электромашинное автоматическое управление приводами на металлургических предприятиях 1954 俄文版 113 頁。

電機主迴路電流幾乎不變的情形下進行的，這就保證了電動機強烈的啓動和反向過程。

要停止工作電動機，可以開斷接觸器 B 及 H 。這時原閉觸頭 B 及 H 閉合，線路被接成自減磁狀態。

此時，由於繞組 4 被跨接於發電機的電壓上，則在該繞組中流着去磁電流，而其值與發電機的電壓成比例。這種情形有助於削弱由剩磁而引起的發電機電勢。

除此以外，控制繞組 1 以去磁的極性方向接到 $9MY$ 的電壓兩端，這也加速了消去放大機磁勢的過程。

電機放大機控制系統的趨向於振盪在很大程度上與系統的放大係數及拖動系統的參數有關。

如果系統具有很大的放大係數而接入系統中的元件及某些裝置具有很大的慣量，那末在系統中常會發生過調整以及強烈的振盪。這可能導致整個系統的工作不穩定。

讓我們現在來研究一下圖 1 的系統在沒有鎮定繞組 2 時的工作情況。假設在拖動系統工作着的某一個時刻裏負載力矩增加了，此時電機主迴路中的電流也增大了，接着電流繞組 3 也強烈地削弱着放大機的磁勢，這將帶有一些時延地降低着發電機的電壓。

因此，工作電動機的轉速也將下降。這時部份負載力矩將由拖動系統中運動元件的動能所負擔，因而在電機主迴路中的電流將顯著地減小下來。隨着而來的是繞組 3 中的去磁電流也將減小。

繞組 3 中電流的減小將引起放大機電壓急速地升高。而這將使發電機的電壓以及電機主迴路中的電流帶有一些時延地增加起來。

如果放大機和發電機勵磁系統的時間常數比較大，那末繞組 3 發出的減弱主迴路電流的信號將延時送達，這樣主迴路中的電流可

能超過前一次的衝激電流。

在放大係數很高而某些環節的慣量很大的系統中，接續下去的振盪可能帶有漸形增大的振幅。

這種不穩定的工作狀態是可以利用減小放大係數及減低拖動系統的機械慣量和發電機及放大機的電磁慣量來消除掉的。

但是減小放大係數是不適當的並且也不是任何時候都可以的。因為這種做法跟應用放大機的思想有矛盾，並且這種做法要求加大控制迴路中的功率。

減少拖動系統的機械慣量同樣也不是任何時候都可以的，因為這將牽涉到系統中機件的尺寸及其結構形狀的改變。

降低放大機及發電機的電磁慣量同樣也是不可能的，因為這些慣量是早已被計算以及構造上的參數所決定了的。

爲了要鎮定系統的工作，常常採用減小放大機電壓增加率的方法，這種方法是將放大機的一個繞組經過變壓器或電容器接到放大機的輸出端上。

這個鎮定繞組是這樣聯接的，即當 $9MY$ 的電壓增加時，他削弱着電壓的增加，從而對系統的工作起了鎮定的作用。

$9MY$ 輸出端的電壓愈是升高得快，則鎮定繞組的去磁作用也愈是強烈，因而放大機較爲寧靜地接待着來自控制迴路的信號，於是系統的工作情況也變得更爲穩定和安寧了。

在圖 1 所示的系統中，繞組 2 起着鎮定的作用。這個繞組被接在鎮定變壓器的次級迴路中，而放大機的電壓則加到變壓器的初級繞組上去。

除去鎮定繞組和鎮定變壓器以外，在電機放大機控制系統中，廣爲採用着各種反饋。

1-2 系統中的反饋

在電機放大機控制系統中，經常採用着負反饋，而正反饋的應用則是極為稀少的。

正確的引入各種反饋有助於系統的工作穩定並且從根本上改善着工作特性。

反饋按被傳遞量的特徵來分，有電壓及電流反饋兩種；按作用原理來分，則有帶切斷及不帶切斷兩種。

在許多電機放大機控制系統中，時常要求工作電動機在低速運轉時能穩定地工作。但是這却常被放大機和發電機的剩磁電壓和他們的非線性特性所妨礙着。

人們常常利用電壓負反饋來消除這些因素並減少他們對電力拖動的影響。

當電動機的負載增加時，電壓負反饋的安匝數增加了。這種安匝數的增加在電動機轉速不高時影響尤甚。

這種由負載通過反饋而起的影響，可以引起拖動機械特性硬度的顯著降低。

爲了消除這個現象，人們採用了電流正反饋。這種正反饋抵償着電壓負反饋的安匝在負載變動時的增長。

在電機放大機控制系統中特別是在過渡歷程工作狀態時，在電機的電樞迴路中，可能發生很大的衝擊電流。這衝擊電流使得電機過載及換向惡化並使傳動鍊及被傳動機械底某些元件受到過度的應力及撞擊。

了爲自動地調整及限制電機主迴路中電流的變化，我們常常採用電流負反饋。

在圖 1 所示的電機放大機控制系統中，除去參據及鎮定繞組之外，還有起着發電機電壓負反饋作用的繞組 4 以及起着電機主迴路中電流正反饋作用的繞組 3。

電壓負反饋是帶有切斷的，因為只有當發電機電壓高於取自電阻 R_4 的比較電壓時，在繞組 4 中才有電流流過。而當發電機電壓降低到比較電壓以下的數值時，繞組 4 的作用即被切斷了。

在反饋中採用切斷的目的是在於獲得所需要的特性並把他加以改善。

現在讓我們在假定發電機電壓反饋(繞組 4)不帶切斷的情況下來看圖 1 所示系統的工作情況。

因為 $\Theta M V$ 的合成總磁勢不太大，故在初步近似簡化中，可令各控制繞組的合成磁勢為零。

其次，當發電機電壓變得緩慢時，可以認為鎮定繞組 2 不起作用，因為電壓的一次導數趨近於零。

現在，估計到繞組 3 中的去磁電流和電機主迴路中的電流 i 成正比而繞組 4 中的去磁電流與發電機電壓 u_2 成比例，則在參據繞組 1 中的控制電流 i_1 不變的情況下，可以寫出下列式子

$$i_1 W_1 - K_3 i - K_4 u_2 = 0$$

這裏 $i_1 W_1$ ——參據繞組的磁勢，在控制電流不變的情況下，為一恆值。

$K_3 i$ ——繞組 3 的磁勢，他與主迴路的電流成正比。

$K_4 u_2$ ——繞組 4 的磁勢，他與發電機的電壓成正比。

根據上面式子可以得到

$$u_2 = \frac{i_1 W_1 - K_3 i}{K_4}$$

不難見到，在這種情況下，發電機電壓的變化與電機主迴路中的電流成線性關係。這個關係可以用圖 2 中的直線 ab 來表示。

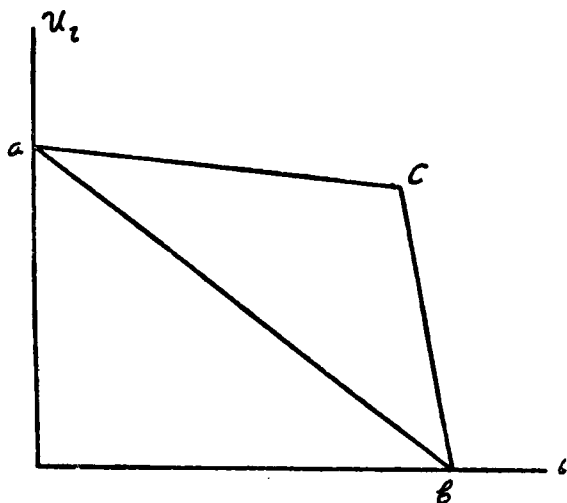


圖 2

當電機主迴路中電流增大時，發電機電壓下降很烈，而當電流達到 2—2,5 倍額定值時，發電機電壓變為零了。

因為工作電動機的轉速與發電機電壓大致成比例，而並勵電動機的轉矩與自己主迴路中的電流成正比關係，則電動機的機械特性 $n = f(M)$ 和發電機的外特性相似。

這類電動機特性在大多數電力拖動中是不宜採用的，因為在負載增加時，轉速降落得很大，被拖動機械的生產率也降低了，此外加速和反向過程也進行得緩慢了。

爲了提高拖動系統工作的效果，必須改善機械特性。

最根本的改進辦法是引入電流或電壓切斷到反饋中去。

1-3 帶有切斷的電壓反饋

爲了得到帶有切斷的電壓反饋， $9MY$ 的電壓繞組可以按照圖 3 所示聯接。

在這種聯接之下，發電機電壓一直在跟取自比較電阻 $4C$ 的電壓比較着。

在拖動系統向前加速時，接觸器 B 動作，於是電機放大機繞組 OH 的供電迴路 1—2—3—4—5 通了。

因爲靠了半導體 $B1$ ，電流僅以一個方向流動，而他的數值則決定於電壓差 $\Delta u_1 - \Delta u_2$ 以及接入該迴路中元件的電阻數值。這些元件包括有：繞組 OH ，半導體 $B1$ 及電阻 $1C$ $4C$ 的一部份。

電流在迴路中只能在 $\Delta u_1 > \Delta u_2$ 的時候流動。在這種情況下，電壓繞組 OH 削弱着放大機的磁勢。反之，當 Δu_1 降低到比較電壓的數值時，該繞組的作用即被截止了。

在反向運行時，接觸器 H 通電而半導體 $B2$ 被接入迴路，於是繞組的極性改變了。

在掣動時，藉原閉觸頭 B 及 H 之助繞組 OH 被跨接到發電機的電樞上去，協助發電機自減磁。

在拖動系統的加速過程中，電壓繞組的作用可以分爲二個階段來看。

一開始加速直到電壓 Δu_1 超過比較電壓爲止，繞組 OH 沒有去磁作用；在電壓 Δu_1 超過比較電壓以後，電壓繞組開始對放大機起去磁作用。

$\Delta u_1 \approx \Delta u_2$ 是這二個階段的分界線。在這個時候，發生了電壓切斷的作用。

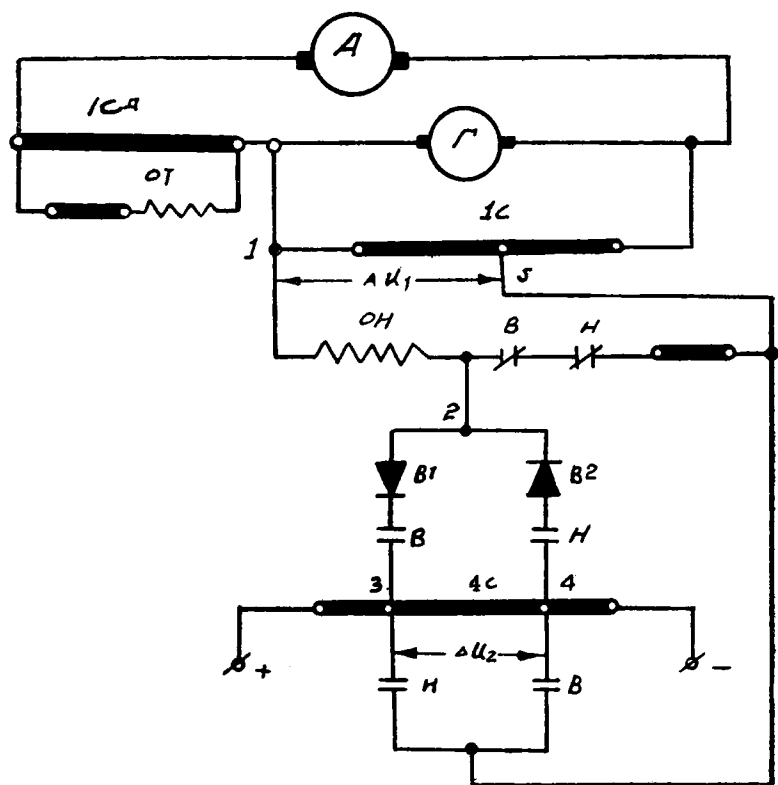


圖 3

在圖 4 中以曲線闡明了 $\mathcal{M}Y$ 三個繞組的作用。這三個繞組是：參據繞組，電流繞組和帶有切斷的電壓繞組，他們各自產生的磁勢為 F_{os} , F_{oT} 及 F_{oH} 。

在這些繞組綜合的作用下，產生了電機放大機的合成總磁勢 F_{pes} ，這磁勢的變化曲線也表示在同一圖上。

在加速的第一階段，沒有電流流過電壓繞組，故 $\mathcal{M}Y$ 的合成總磁勢等於二個磁勢之差 $F_{pes} = F_{os} - F_{oT}$ ；但在第二階段中，電壓繞

組起作用了，電機放大機的合成總磁勢為 $F_{pe3} = F_{o3} - E_{oT} - F_{oH}$ 。

因此放大機輸出端電壓大致將按照曲線 u_y 變動，而發電機的勵磁電流則按照曲線 I_{B2} 變動。

不帶切斷的電流繞組檢測電機主迴路中的電流並且限制電流超過給定的數值。如果在電機主迴路中的電流由於某些原因增長起來超過了給定的數值，那末繞組 OT 的去磁作用也同時增大起來，這樣一來就使放大機的合成總磁勢減少了，因此，放大機的輸出電壓降低了，發電機電壓的增長將變得更緩慢些，而電機主迴路中的電流即減

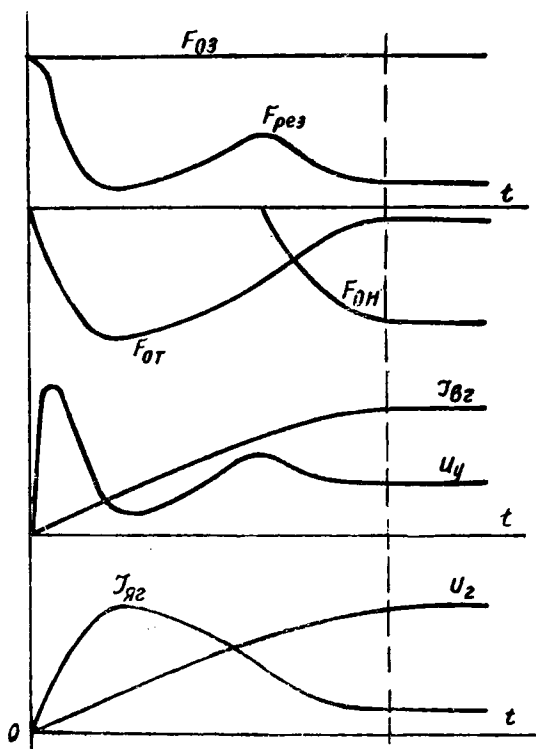


圖 4