

143737

水輪发电机的 非对称状态

苏联 Г. Н. 傑尔-加查良著



电力工业出版社

293

2443

水輪发电机的 非对称状态

苏联 Г. Н. 傑尔-加查良著

傅 敬 熙譯

電力工業出版社

本書敘述了水輪發電機非對稱運行狀態的試驗與理論的研究結果，也敘述了聯
路水力發電廠與動力系統的輸電干擾非全相運行試驗的主要結果。

書中提出了關於在非對稱運行狀態中確定水輪發電機的容許負荷和使水力發電
廠與系統相聯的輸電線路轉換為長時間非全相運行的建議。

本書供從事水輪發電機運行的工程技術人員參考，也可作為動力學院學生的參
考書。

Г. Н. ТЕР-ГАЗАРЯН

НЕСИММЕТРИЧНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1956

水輪發電機的非對稱狀態

根據蘇聯國立動力出版社 1956 年莫斯科版翻譯

傅 敬 熙譯

740D271

電力工業出版社出版（北京東黃門外觀音廟）

北京市書刊出版業營業許可證出字第082号

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 1/32 開本 * 4 綉印張 * 97 千字 * 定價 第10類 0.65 元

1958 年 2 月北京第 1 版

1958 年 2 月北京第 1 次印刷 (0001—1,200 冊)

序 言

随着动力系统的發展及傳輸容量的增長，輸電綫路即使短時間停電也會給國民經濟帶來重大的損失。因此，提高供電的可靠性和不間斷地供電成為十分迫切的問題，它引起了許多研究人員的重視。

可以从兩方面來解決這問題。第一是改善現有設備型式的特性，提高它們運行的可靠性，以及創制新的設備。現代的快速動作遮斷器、高頻繼電保護裝置及其他等等是這一方面的例子。其次是研究和制訂出动力系统現有設備的新的運行條件和方法。於是，就產生了以自同期的方法將同期電機投入並列運行以及應用單相自動重合閘的意見。如所周知，單相自動重合閘是從這樣的事實出發的，即所有短路故障約有一半是可以自行消除的，因此，在故障和重合閘的條件下（通常重合閘實際上是在一剎那間完成的），正常的輸電得以繼續。

上面所指的兩種方法各有其優缺點。第一種是基本的，但費用較大；它仍有必要改善運行方式。第二種通常是比較便宜的解決方法，易於在動力系統中實現，但同時也無疑地，它並不能代替完善的設備。動力系統的運行經驗證明，將上述兩種方法結合起來是適宜的。

本文介紹在進一步擴大動力系統中長時間非全相運行的使用範圍方面的研究結果，也就是以加強上述第二種方法來提高供電可靠性的研究結果。

如所周知，在有穩定性單相故障時，重合閘不成功後，單相自動重合閘裝置將兩非故障相與故障相一起跳開。根據電站部中央

电工試驗所在 40 个动力系統中收集的 5 年內 (1946—1950 年) 的平均数, 需害性断开 220—154、110 及 35 千伏綫路的次数 (如所週知, 这种性質的断开往往是能够重合閘的) 各相应佔总断开次数的 66、52 及 41%。根据 1950 年的資料, 非需害性断开时, 自动重合閘动作成功的机会, 对 220—154 千伏綫路而言为 48%, 110 千伏綫路为 42% 及 35 千伏綫路为 39%。由此可見, 約为所有断开次数的三分之一重合閘不成功。根据同一資料, 这些断开次数中的 70% 是屬於單相故障。因此, 所有断开次数的 20% 是稳定性單相故障。显然, 如果在这些情况下, 只断开故障的一相来代替断开三相, 並在消除故障期間改以兩相送电, 則可大大減少事故性送电不足及提高供电的可靠性。

在几乎有半世紀的三相輸电的运行實踐中, 都未曾想使这个意見付諸实现, 因为人們認定的規律是, 整个輸电系統及其各个元件: 發电机、負荷及其他等, 只可能在对称状态下运行。严重的非对称現象被認為是事故, 要求立刻使之局部化, 並改变为对称运行, 或在不可能改变为对称时即停止送电。

近来, 根据电站部技术司及科学研究所統計的反映苏联动力系統运行經驗的很多材料, 詳細地分析了这一情况。根据这一分析和研究的結果, 在苏联首次証实了有可能並且实际上实现了在三相輸电綫中当一相有稳定性故障时改为長時間按兩相运行。

苏联的專家們: И. А. 塞罗米亞脫尼柯夫、B. И. 雅斯尼柯夫、B. И. 罗岑別尔格、Л. Е. 涅布拉脫及 Г. И. 勒沙科夫斯基的著作, 首先打破了上面所指的根深蒂固的偏見, 获得了斯大林獎金。运行經驗証实了在單側电源的綫路上首先应用非全相运行的良好效果。它的进一步的及重要的發展是研究在联絡發电厂与系統的干綫上轉为長時間非全相运行的可能性。正是这一决定展开了显著提高輸电可靠性的远景。但是, 它牽涉到發电机必須在定子电流極不对称的情况下長期运行。

其实, 电机制造厂把長時間容許的逆序电流值不管發电机負荷多大都限制为定子額定电流的 5% 是沒有充分根据的。这一限

制大大地減少了非全相运行的应用范围，並且一般在最重要的場合——自水电厂引出的大容量輸電綫上，就沒有可能利用非全相运行，因为此时發電机的非对称度將大大超过 5%。

在国外的文献中，对三相同期电机在定子長時間極不对称情况下的运行問題尚未予以充分注意。同期發電机的非对称状态主要是苏联的学者：B. И. 伊万諾夫、И. А. 塞罗米亞脫尼柯夫等人研究的。首先是在 И. А. 塞罗米亞脫尼柯夫的著作中指出了制造厂限制發電机非对称运行是毫無根据的。可參看 1941 年 № 21—22 “电站” 雜誌中 И. А. 塞罗米亞脫尼柯夫所著“發電机容許的非对称值的求法”一文。

但是，上述作者們的研究沒有全面闡明在非对称負荷下与水輪發電机运行有关的所有复杂的問題。需要补充研究由於逆序电流的磁場使水輪發電机轉子發热的問題，在發電机非对称負荷下引起的容許机械应力和振动的問題以及其他等問題。此外，還要求更仔細地以試驗来考查利用同期电机長時間非对称运行的可能性。在 1941—1942 年期間，根据 И. А. 塞罗米亞脫尼柯夫的創議，曾組織了首次水輪發電机非对称运行的試驗。但当时沒有充分研究安排这种試驗的方法，而研究人員又缺乏仪器来記錄發電机非对称运行时所發生的現象。因此，这些首批的試驗沒有得出全部能表示所研究問題的特点的真实数据，試驗必須繼續。但是，当时存在着三相同期电机不允許在非对称状态下进行長時間运行試驗的意見，使得組織进一步的研究有很大困难，因而試驗就暫時中止。

1948 年，电站部技术处委託梯比利斯水力發電建筑工程研究所对水輪發電机进行这一項工作。1953 年，此項工作已基本上完成。

对所有容量自 1000 至 72000 瓩的立式和臥式、悬垂型和傘型、用軸向輻流式、轉槳式及水斗式水輪机驅動的，水輪机体为鑄制、电鋸、整體及分塊的，裝有阻尼綫捲和沒有阻尼綫捲的水輪發電机都进行了長時間非对称运行的研究工作。因此，实际上所有在水电厂运行中可能遇到的各种主要型式的發電机及整个机組，

包括所有尺寸最大和容量最大的水輪發電機在內，都已進行了研究。這就能夠作出一系列關於逆序電流的磁場影響水輪發電機運行的綜合性結論。

在一篇短的論文里不可能敘述所有現有的關於同期電機非對稱運行及自水電廠引出的輸電干綫長時間非全相運行的材料。因此，我們主要只討論上面所指的、原先未曾闡明的水輪發電機非對稱運行的問題，並介紹在自水電廠引出的大容量輸電綫上所作長時間非全相運行的試驗結果，以及在事故條件下利用這些運行情況的例子。

作者對在進行試驗時動力系統的工作人員及試驗工作的同事們所給予的重大幫助表示謝意，同時對技術科學碩士 И. П. 克留契柯夫的十分仔細地整理原稿付印一節表示衷心的感謝。

作 者

目 錄

序言

第一章 同期發電机的非对称状态及其在动力系统中的

应用的概述..... 7

§ 1. 动力系统中長時間非对称运行的問題..... 7

§ 2. 联络电厂与系统的线路在非全相运行时的非对称極限.....10

§ 3. 水輪發電机的非对称状态.....14

第二章 根据轉子發热的条件限制定子非对称电流的試

驗研究結果.....16

§ 4. 前言.....16

§ 5. 在額定对称状态中水輪發電机励磁錢捲的溫升試驗資料.....17

§ 6. 用試驗求附加溫升的方法.....21

§ 7. 励磁錢捲由於轉子內产生附加損失而引起的溫升試驗資料.....22

第三章 根据水輪發電机結構各部件机械强度的条件研

究定子容許的非对称电流的結果.....28

§ 8. 概論.....28

§ 9. 水輪發電机活性鋼緊固裝置的結構型式.....30

§ 10. 在对称状态下加於活性鋼緊固楔条上的主力..... 31

§ 11. 在对称状态下加於楔条上的附加力..... 39

§ 12. 在对称状态下,加於活性鋼緊固楔条上的合力.....45

§ 13. 水輪發電机各部分固有振動頻率的試驗資料.....47

§ 14. 小容量水輪發電机長時間非对称运行的試驗.....51

§ 15. 中容量水輪發電机長時間非对称运行的試驗.....54

§ 16. 大型水輪發電机長時間非对称运行的試驗.....57

§ 17. 在非对称状态下作用於活性鋼緊固楔条上的附加力.....64

第四章 研究动力系统中水輪發電机長時間非对称运行 的試驗	65
§ 18 概論	65
§ 19. 輸電綫路非全相运行的試驗結果	68
§ 20. 在事故条件下,水力发电厂輸电干綫非全相运行的利用	73
第五章 活性鋼緊固楔条中因磁極引力及活性鋼發热不 均匀而产生的力的計算方法	75
§ 21. 楔条中因磁極引力而产生的力	75
§ 22. 楔条中因活性鋼發热不均匀而产生的力	84
第六章 励磁綫捲为單軸式的發電机在非对称負荷时的力矩	87
§ 23. 正序和逆序电流与电压所形成的功率	87
§ 24. 在非对称負荷下求轉子为單軸式綫捲的發電机力矩的算式	88
§ 25. 对称分量法在有轉子为單軸式綫捲的發電机的回路中的 应用	91
§ 26. 在非对称負荷下,轉子为單軸式綫捲的發電机的力矩公式 的分析	96
§ 27. 無阻尼綫捲的同期發電机在非对称状态下,当其端接上有 逆序正弦波电压时的力矩	101
§ 28. 有微横阻尼綫捲的同期發電机在非对称状态下,当其端接 上有逆序正弦波电压时的力矩	107
§ 29. 無阻尼綫捲的同期發電机在非对称状态下,当有逆序正弦 波电流时的力矩	112
結束語	112

第一章 同期發電机的非对称状态及其在动力系統中的应用的概述

§ 1. 动力系統中長時間非对称运行的問題

極大多數現在运行的輸電綫路都是按只能在对称状态下运行設計的。因此，在提出關於利用長時間非全相运行是合理的建議之前，要分析在長時間非对称条件下，發電机、感应电动机、电力变压器、調度通訊以及繼电保护裝置的工作状态。

讓我們介紹一下所有關於这方面的問題的一些知識，但發電机非对称状态的問題除外，關於这方面的一般知識將要單獨敘述。

动力系統中有一回輸電綫非全相运行时，一般不致破坏感应电动机的正常工作^①。这已为某些綫路的長時間非对称情况下运行的試驗考驗过了，也在許多自运行於系統中或單獨运行的水电厂引出的大容量輸電綫上長時間兩相运行的試驗考驗过了。

至於电力变压器，則当与之相連接的綫路一相被断开时，其負荷仅由容許的發热情况来决定。

根据苏联的标准，對於变压器是以綫捲温度超过冷却物温度的温升值 τ 来作准繩的。此温升值由兩部分组成：綫捲温度超过油温的温升值 τ_1 及油温超过冷却物温度的温升值 τ_2 。通常認為， τ_1 只与自該綫捲逸出的热量有关，而 τ_2 則与所有綫捲及铁心逸出的全部热量有关。

大家知道，在非对称状态下，其中一相的电流会超过其他兩相的电流。如果認為負荷最大一相的电流不應該大於額定值的話，則可得出这样的結果，即在上述情况下，綫捲的温升將比額定情况下的温升高，即 $\tau > \tau_n$ ，也就是說，变压器未被充分利用。可以这

① 考虑到非同期負荷隨着在非全相运行时傳輸功率的減少而減少。

样說,当变压器的負荷不对称时,若綫捲温度超过冷却物温度的温升值不違反規定及不損害絕緣的話,則負荷最高一相容許某些过負荷,以便充分利用它的載荷能力。此过負荷值約可达10—15%。

当高压綫路一相断开时,接地短路的零序电流会使沿輸电綫路經過的通訊綫路产生危險的对地电位,以及在收發訊机的端接上产生从干扰的观点上所不能容許的电位差。

通訊設備的防止因非对称綫路的电磁影响而产生危險电位及干扰的保护装置都已进行过充分的研究和試驗,而且建議的措施只需少量的費用,实现起来也比较簡單。有許多已經装有防止电磁影响的保护装置的通訊綫路在运行,这种保护装置保証在与之平行的强电流綫路長時間非全相运行时能正常通訊。

因此,当由电厂引出的干綫非全相运行时,感应电动机的性能,电力变压器的情况 & 通訊設備的保护等問題已經过分析,並大多都已解决。

繼电保护的問題是比较复杂的。輸电綫非全相运行时会出现零序及逆序电流,这些电流可以在非全相运行的輸电綫中环流,也可以在与非全相运行的輸电綫相連接的好的綫路中环流。产生这些电流的結果,可能使繼电保护动作及使非全相运行的輸电綫断开,同时,一般說来,也可能使好的綫路断开。此外,应当注意到:在長時間非全相运行时,網絡中可能發生短路,而这种短路的机会在35、10及6千伏網絡中最有可能,也就是說在电力降压变压器連接成三角形或中性点不接地的星形的綫捲一側最有可能。在有非全相綫路的同时又發生短路时,还很可能使系統的繼电保护誤动作。显然,这种保护的無选择地动作会使所有非全相运行的好处化为烏有。因此,非全相运行只有在十分詳細地分析了繼电保护的性 & 能,以及採取保証它在非对称条件下及在非对称的同时又發生穿越性短路时能正常工作的措施之后才能採用。

应当提醒的是,电力变压器的 Δ 或Y側相間短路之所以危險是發生相間短路时非全相的輸电綫及好的綫路上会出现附加的零序电流环流。因为防止电力变压器 Δ 或Y側相間短路的保护

在時間上不能避開 110—220 千伏綫路的接地保護，因而綫路可能無選擇地被斷開。

在上述情況中，為了保證保護裝置的正常工作而將使用中的保護裝置予以徹底改變是未必適宜的。這種方法只對新設計的輸電綫才是有利的。

試驗與專門的研究表明，在非全相載荷情況下，也就是在由非全相輸電綫輸電的情況下，繼電保護的正常工作通常可以用使保護略為粗糙化或限制傳輸容量的方法來達到而並無特殊困難。

在沿雙回路綫路的五根導綫輸電時，其載荷情況通常要比在單回路綫路兩相運行時輕鬆得多。

總的說來，如果繼電保護在非全相載荷情況下能令人滿意地工作，則毫無例外地，在短路時也能正確地工作。

這種情況在由雙回路綫路的五根導綫輸電時較為可能。

在網絡短路時非全相輸電的容量小於系統容量的情況下，就有對繼電保護工作為最有利的條件。但在大多數情況下，非全相輸電及有穿越性短路時的繼電保護可能無選擇地動作，為了防止這一點，需要採取特殊的措施。建議作為這些措施的有：

1) 發生短路時立刻斷開非全相運行的輸電綫，而斷開的脈沖可以由增大的零序或逆序電流來發出。考慮到在非全相運行的較短的持續時間內一般發生短路的机会是不多的，故上述措施將不會顯著降低利用這一情況（指非全相運行——譯註）的效益。

2) 用變電所電力變壓器的電抗將系統與非全相的輸電綫分開。此時可能有兩個方案：a) 電力變壓器在整個非全相運行期間仍接入非全相輸電綫與系統之間的分界處；b) 電力變壓器在發生短路的瞬間接入分界處，並在漸開短路後轉為正常運行。變電所電力變壓器接入非全相輸電綫及另一系統之間的分界處可以借，例如，斷開母綫聯絡遮斷器 $B-I$ （圖 1）來達到。

接在非全相輸電綫及系統之間的電力變壓器使零序電流不致進入系統及限制逆序電流侵入系統。這就大大地改善了系統繼電保護在 35、10 及 6 千伏網絡中發生相間短路，以及在 110—220 千

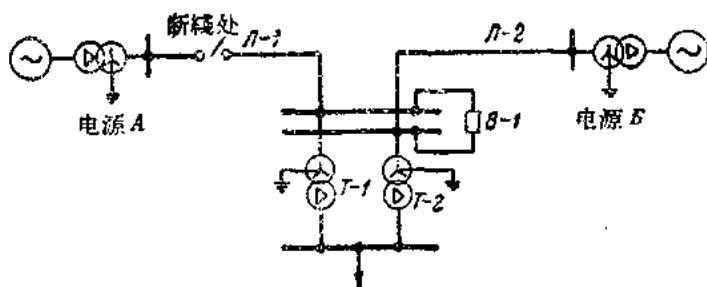


圖 1

伏網絡中有穿越性短路时的工作条件。

§ 2. 联络电厂与系统的线路在非全相运行时的非对称极限

我们将进一步来求非对称的程度，以逆序电流 I_2 对正序电流 I_1 之比表示，也就是以对发电机所特定的 $\frac{I_2}{I_1} = \sigma$ 来表示。

如所周知，连接电厂与系统的输电线一相断开时的 σ 与水电厂和系统的容量之比有关，与线路的长度及回路数有关，与发电机的参数、电力变压器中性点的状态及许多其他因素有关。

为了查明对我们有兴趣的非对称极限，让我们来研究一下对

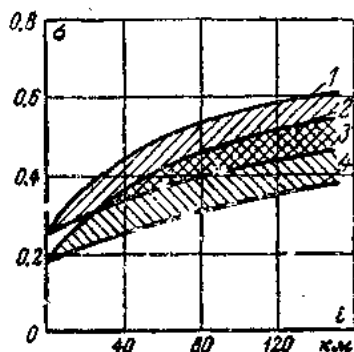


圖 2 当线路一相断线时， σ 值随 110 千伏单回路线路长度而变化的关系曲线

由水力发电厂、 Δ/Y_0 升压变压器、线路、 Y_0/Δ 降压变压器和负荷所组成的输电系统，在其发电机、变压器及线路参数在一般的平均范围内变化时所进行的 σ 值的计算^① 结果。

在沒有线路及电力变压器高压侧一相断开时求得的 σ 的最小值，对水力发电厂在無限大容量的母线上（圖 2，曲线 1 及 3）运行

① 由技术科学硕士 И. А. 加普斯托夫计算出来的。

及在負荷等於電廠容量下運行(曲線2及4)的情況下各相應為0.25及0.18。在其他條件相同的情況下,隨着綫路長度的增加, σ 值還與傳輸容量有關。如果有10萬千伏安的發電機經過長150公里的單回路綫路在無限大容量的母綫上運行,則 $\sigma=0.61$ (曲線1);當發電機出力為3萬千伏安時, $\sigma=0.45$ (曲線3)。對同一輸電條件,但其負荷等於電廠容量時,其相應的 σ 值各為0.55及0.38(根據曲線2及4)。

對以110及220千伏雙回路綫路輸電時, σ 的最大值各相應約為0.09及0.11(圖3)。

當以400千伏雙回路綫路輸電及一相斷綫時, $\sigma \approx 0.16$ (圖4,曲線1)。

現在讓我們來討論發電機逆序電抗 x_2 的變化對 σ 值的影響。到現在為止,我們都取 $x_2=0.35$ 。顯然,當綫路長度等於零時, x_2 的變化對 σ 值的影響將最大。此時,如水力發電廠與系統的聯絡綫為單回路時,由於 x_1 減少 $1/2$

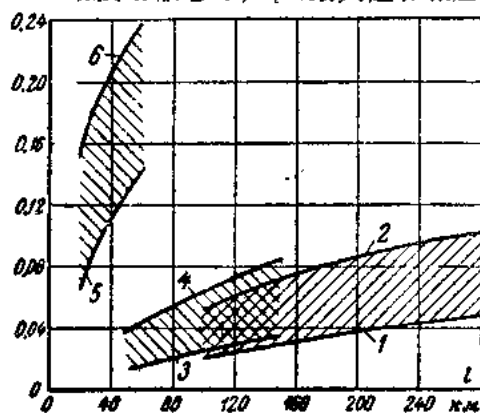


圖3 當發電機在無限大容量的母綫上運行,且綫路有一相斷綫時, σ 值隨雙回路輸電綫路長度而變化的關係曲綫

1及2—傳輸容量各為10及30萬千伏安,220千伏;3及4—3及10萬千伏安,110千伏;5及6—3及10萬千伏安,35千伏(中性點不接地)。

而使 σ 自0.27增加至0.35(圖5),也就是增加了30%。當單回路綫路長100公里時, x_2 同樣減少 $1/2$,而 σ 总共只增加15%(自0.57增至0.63)。由此可見,在有長約100公里的綫路時,可以認為發電機 x_2 值的變化對 σ 值影響是不大的。在以雙回路輸電的情況下,這一影響也是不大的;此時,因 x_2 減少 $1/2$ 而使 σ 增加約25%(圖6)。

通常根據繼電保護及設備的工作條件,在中性點接地的網絡

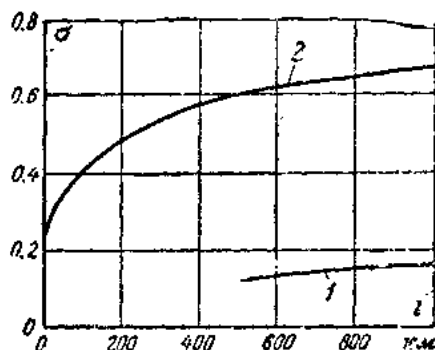


圖4 当沿双回路线路传输 100 万千瓦安(曲线 1) 及沿单回路线路传输 50 万千瓦安(曲线 2) 功率於無限大容量的母綫上时, σ 值随 400 千伏线路长度而变化的关系曲线

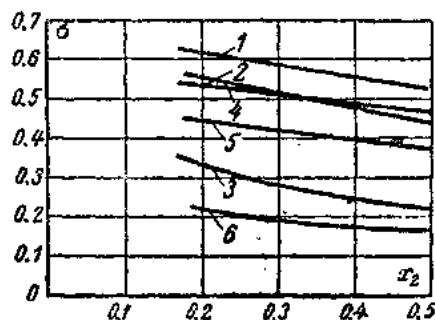


圖5 当 10 万千瓦安的發電机經由 110 千伏有断相的单回路线路运行时, σ 值随發電机逆序电抗值而变化的关系曲线

1, 2 及 3—發電机經由長各为 100 公里、50 公里及 0 的线路运行於無限大容量的母綫上; 4, 5 及 6—負荷等於水力發電厂的容量, 經由長各为 100 公里、50 公里及 0 的线路单独运行。

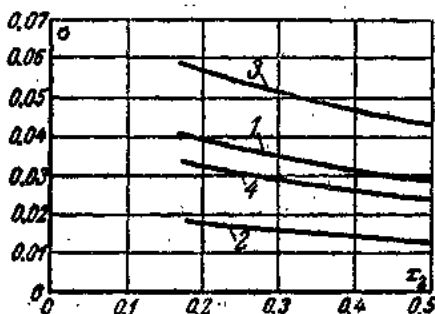


圖6 当双回路线路以五根导綫运行, 而其負荷等於發電机容量时, σ 随發電机逆序电抗值而变化的关系曲线

1—220 千伏, 長 250 公里的輸电綫; 2—220 千伏, 100 公里; 3—110 千伏, 100 公里; 4—110 千伏, 50 公里。

中, 不是所有的电力变压器都接地; 此时 σ 与接地的变压器数量有关。在电厂与系统以双回路联络时, 所有电力变压器的中性点不接地也不致使 σ 值增加很多(圖 7)。以單回路联络时, 如送端及受端变电所的变压器有 66% 中性点不接地, 則也不致使 σ 增加很多(圖 8); 中性点完全不接地时, 最大可能的 σ 值等於 1。

我們已經討論了在有各種代表性的範圍內輸電的主要參數改變時的 σ 值。現在我們根據已完成的計算來求出 σ 的最後值。

如所週知，對 35 千伏中性點不接地的單回路綫路而言， $\sigma=1$ ；對雙回路 35 千伏綫路而言， σ 的最大值等於 0.24。對單回路 110 千伏綫路而言， σ 的最大值可取等於 0.5，對同樣電壓的雙回路綫路，可取 0.08—0.1。220 千伏綫路通常總是雙回路的，並且 σ 的最大值總在 0.11—0.12 範圍之內。對於 400 千伏的輸電

綫，在上述情況下及一相斷開時， $\sigma=0.16$ 。 σ 的實際值將比上述數值小些，因為這樣的輸電方式，一相斷開將不是綫路的全長，而只是開閉所之間的一段。根據火電設計院的資料，當開閉所之間的兩區段上斷開一相時， $\sigma=0.12$ 。

在非對稱情況下，當以單回路聯絡時，如取平均值 $I_1=0.6 I_n$ ，則我們可得出發電機的 $\frac{I_1}{I_n}$ 值處於 0.05—0.8 範圍之內。此時，在大多數情況下，對 110 千伏單回路輸電綫，以及對大容量雙回路輸電綫，逆序電流比發電機額定電流的 5% 大得多，也就是大於運行規程所容許的極限值。

從獲得的數據中還可以作出這樣的結論，即為了廣泛運用長



圖 7 當水力發電廠經雙回路 220 千伏(曲綫 1)及 110 千伏(曲綫 2)的 5 根導綫運行於無限大容量的母綫上時， σ 值隨中性點不接地的輸電變壓器的多而變化的關係曲綫

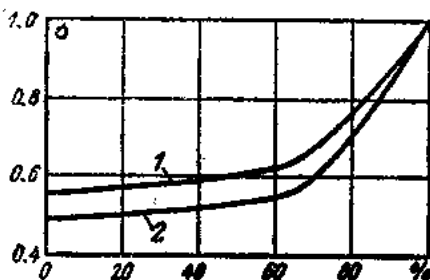


圖 8 當水力發電廠經 110 千伏，長 100 公里的單回路綫路的兩相運行於無限大容量的母綫上(曲綫 1)及單獨運行於等於水力發電廠容量的負荷(曲綫 2)時， σ 值隨中性點不接地的輸電變壓器的多而變化的關係曲綫

時間非對稱的運行條件，應該研究同期電機在不對稱度 $\frac{I_2}{I_1}$ 約為 20—30% 時長時間運行的可能性。

§ 3. 水輪發電機的非對稱狀態

發電機在對稱負荷下，主要的磁場分量系由定子各相的電流所形成，它對轉子來說是不動的，因此，不會在轉子中產生損失。轉子繞卷的發熱實際上只是由於直流勵磁電流所產生的損失而造成。

在對稱狀態下，發電機的電磁力矩實際上是不變的，因而作用於電機結構各部件上的切綫方向的力也是不變的。磁極的引力包括不變分量及交變分量。有時，磁極引力的交變分量是足以使人覺察得到的（第三章）。通常不變分量是這些力的主要部分，而交變分量是不大的。

定子各相電流的對稱被破壞時，會出現逆序電流，這是大家都知道的，它與正序電流相加形成了定子的各相電流。發電機中零序電流一般是沒有的。

正序電流的磁場與轉子同步地旋轉，換一句話說，它不切割轉子。

非對稱狀態的所有特點與逆序電流的磁場有關。這一磁場以同步速度旋轉，但與轉子的旋轉方向相反，因此它以兩倍同步速度切割着轉子。結果，在勵磁繞卷中感應了頻率為 100 週/秒的單相電流。此電流的脈動磁場可以分解為在相反的方向下以兩倍同步速度旋轉的兩個部分。其中與轉子旋轉方向相反的方向旋轉的那部分，是由同步頻率的逆序電流所引起的定子磁場的反應磁場。這一隨轉子一起旋轉的磁場以 3 倍同步速度切割着定子，並在定子中產生 3 倍同步頻率的正序電流。

但因定子回路是不對稱的，所以在出現 3 倍頻率的正序電流時，不可能不出現 8 倍頻率的逆序電流。這些逆序電流的磁場以超過同步速度 3 倍的速度切割着轉子，並在勵磁繞卷中感應了 4 倍同步頻率的電流。再將此磁場分解為兩個旋轉磁場，我們可看