

ICS 29.020

F 21

备案号: 31105-2011

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 428 — 2010

代替 DL 428 — 1991

电力系统自动低频减负荷技术规定

Technical rules for power system automatic under-frequency load shedding

2011-01-09 发布

2011-05-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

5 自动低频减负荷装置配置整定的基本要求 1

6 自动低频减负荷的整定计算 2

7 自动低频减负荷装置的配置与整定 3

8 低频解列装置的设置 4

附录 A（资料性附录） 恒定输出功率发电机带集中负荷时的频率变化动态过程计算 5

附录 B（资料性附录） 越过额定值后的系统频率变化动态过程计算（考虑系统等价发电机组综合调速器特性） 7

前 言

本标准是对 DL 428—1991《电力系统自动低频减负荷技术规定》进行修订。

本次修订与前一版相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 增加了同步联网状态下的各电网应采用统一协调的低频减负荷方案要求；
- 删除了在系统失步振荡时不考虑低频减负荷装置误动作行为的要求；
- 增加了抽水蓄能机组抽水工况下低频跳闸定值以及间歇式可再生能源机组低频跳闸定值要求；
- 增加了低频减负荷装置控制负荷与其他作用于切负荷的相关安全自动装置相协调的要求；
- 增加了有统一低频减负荷方案的大区电网联络线低频解列设定值应与电网低频减负荷方案整定值协调的要求；
- 删除了除设置低频解列装置外，一般还应考虑同时设置经断线闭锁或过电流元件控制的低电压解列装置并需考虑与线路保护动作选择性的有关内容。

本标准实施后代替 DL 428—1991。

本标准由全国电网运行与控制标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院、国家电力调度通信中心。

本标准起草人：王梅义、印永华、刘肇旭、周济、卜广全、赵强、孙华东、雷为民、蓝海波、李再华、易俊。

本标准所代替的 DL 428—1991 于 1991 年 10 月 30 日首次发布，本次修订为第一次修订。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

电力系统自动低频减负荷技术规定

1 范围

本标准规定了电力系统自动低频减负荷装置的配置和整定应遵循的基本原则和要求，电力系统自动低频减负荷整定计算的基本假定和方法。

本标准适用于电力系统规划设计、生产运行和科研制造工作中涉及的电力系统自动低频减负荷技术措施。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

DL 755 电力系统安全稳定导则

DL/T 1040—2007 电网运行准则

3 术语和定义

3.1

负荷功率 load capacity

电力系统运行时的负荷大小。

3.2

剩余发电功率 generation remaining

出现有功缺额后电网中仍运行的发电功率总加。

4 总则

4.1 电力系统应按照 DL 755 的要求合理安排自动低频减负荷的顺序及所切负荷数值。当整个系统或解列后的局部出现功率缺额时，能够有计划地按频率下降情况自动减去足够数量的负荷，以保证系统安全运行和向重要用户的不间断供电。

4.2 当电力系统突然发生有功功率缺额导致系统频率严重下降时，应依靠自动低频减负荷装置的动作，使保留运行的负荷容量能与运行中的发电容量相适应，以保持电力系统的继续安全运行，保证向重要负荷的不间断供电。鉴于电力系统发电机组的组合（水、火、核电、间歇式可再生能源机组及电厂容量大小及比重，机组对异常频率的适应性等）、电网结构和运行方式等较大的不同，在实际执行中应结合具体系统情况运用。

4.3 电力系统的自动低频减负荷方案，应由系统调度部门负责制定并监督其执行，调度部门应定期及当系统条件有重大变动时，对其进行重新审定。为了积累经验，应做好每次重大有功功率缺额事件或事故后的分析总结工作。各级供电部门应负责按方案要求具体实施。自动低频减负荷装置的数量和控制的容量应随系统负荷的增加而相应的增加。

4.4 事故手动低频减负荷是自动减负荷的必要补充，当电源容量恢复后，应逐步手动或自动恢复被切负荷。

5 自动低频减负荷装置配置整定的基本要求

5.1 当电力系统在实际可能的各种运行情况下，因故发生突然的有功功率缺额后，应能及时切除相应

容量的部分负荷，使保留运行的系统部分能迅速恢复到额定频率附近继续运行，不发生频率崩溃，也不使事件后的系统频率长期悬浮于某一过高或过低数值，并应符合下列要求：

- a) 在任何情况下的频率下降过程中，应保证系统低频值与所经历的时间，能与运行中机组的自动低频保护和电网间联络线的低频解列保护相配合，频率下降的最低值还应大于核电厂冷却介质泵低频保护的整定值，并留有不小于 $0.3\text{Hz} \sim 0.5\text{Hz}$ 的裕度，保证核电机组继续联网运行，其他一般情况下，按照 DL/T 1040—2007 对发电厂和其他相关设备的运行要求，为了保证火电厂的继续安全运行，应限制频率低于 47.0Hz 的时间不超过 0.5s 。
- b) 自动低频减负荷装置动作后，应使运行系统稳态频率恢复到不低于 49.5Hz 水平；考虑到某些特殊情况，应增设长延时的特殊动作轮，使系统运行频率不致长期悬浮于 49.0Hz 以下。
- c) 因负荷过切引起恢复时的系统频率过调，其最大值不应超过 51.0Hz ，并应与运行中机组过频率保护相协调，且留有一定裕度。
- d) 为了保证当整体或事故后可能形成的分片孤立电网发生大容量功率缺额情况下能够合理地均匀减负荷，阻止频率下降并且不发生大的潮流波动，防止发生频率崩溃事故，同步联网状态下的各电网应采用统一协调的低频减负荷方案，对局部事故后可能出现严重功率缺额或功率过剩的孤立电网，可以根据情况适当调整，但应不破坏统一方案的总体效果。

5.2 自动低频减负荷的先后顺序，应按负荷的重要性进行安排。

5.3 宜充分利用系统的旋转备用容量，当发生使系统稳态频率只下降到不低于 49.5Hz 的有功功率缺额时，自动减负荷装置不应动作。应避免因发生短路故障以及失去供电电源后的负荷反馈引起自动减负荷装置的误动作。

6 自动低频减负荷的整定计算

6.1 整定计算的基本内容和目的

考虑事故前后电力系统各种不同运行方式（包括可能因事故与主系统解列而形成孤立网），依照可能的不同份额的各种有功功率缺额情况，估算自动低频减负荷装置的动作行为，求得在各种情况下运行系统的频率变化极限，检查其是否满足第 5 章的要求。

6.2 整定计算的基本假定和方法

6.2.1 在电力系统中，在任何一种突然失去某一电源或电厂引起有功功率缺额冲击的情况下，必然同时引起系统中运行机组间的同步摇摆。其结果是，在系统频率下降的动态过程中，在同一时间的系统中各枢纽点的绝对频率及频率变化率并不相等，个别点的绝对频率与系统平均频率的相差可达 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，而频率变化率则可能相差达数倍，这种差别因电网结构、引起有功功率缺额事故发生的地点以及事件前后的系统运行情况不同而各异。在分析和评价系统中不同点自动低频减负荷装置的动作行为时，应考虑到上述系统特点。

6.2.2 可以采用电力系统机电仿真程序计算每一种发生有功功率突然缺额情况下，系统中各点频率的变化绝对情况，但一般并不用以整定计算低频减负荷装置；为了研究复杂电网在某些有功功率缺额情况下系统频率动态过程中的系统潮流变化，分析校核各种自动装置，包括低频减负荷装置的动作行为、重要联络线的运行稳定性以及可能的设备过负荷或电压越限情况，特别是对实际系统的事故后分析，则有此需要。

6.2.3 自动低频减负荷装置的配置和整定，应适应电力系统各种可能的有功功率突然缺额情况，为此，宜按反映主系统（或解列后的孤立网）频率的平均变化过程考虑。

6.2.4 由于系统发生突然有功功率缺额引起系统频率下降，系统负荷发生变化以及在频率变化过程中机组间的同步摇摆，系统中的潮流与各点电压也都要发生动态变化，电压的变化又影响负荷量的变化，转而影响系统的频率变化动态过程。在进行自动低频减负荷装置整定计算时，一般情况下，可以略去电压变化对系统综合负荷特性的影响。但对于个别特殊情况，例如因短路故障（使机组强行励

磁)形成孤立网后,随着自动减负荷,系统可能出现短时电压过高,引起短时负荷增大进而出现负荷过切,这时应结合具体条件进一步进行分析。

6.2.5 推荐采用单机带集中负荷的最简单模型计算系统平均频率的动态变化过程,最简单模型的推导及应用实例参见附录 A。利用最简单模型计算系统平均频率变化和进行自动低频减负荷装置的整定分析时,对有关系统因素可作如下考虑:

- a) 为了求得可能的最大频率偏移,可不考虑系统中旋转备用容量的作用。
- b) 负荷的频率调节系数,一般为 1~3,应尽量采用实测参数,可通过对实际低频事故的过程分析,以求得较确切的数值。
- c) 在频率恢复阶段中,如果求得的频率稳态超调值低于 51.0Hz,即可认为满足要求;如果超过 51.0Hz,则应在频率恢复过程中引入系统等价机组的综合调速器特性作进一步的计算分析,具体参见附录 B。

7 自动低频减负荷装置的配置与整定

7.1 系统有功功率缺额情况用 K 值表示,即:

$$K = \frac{\text{负荷功率} - \text{剩余发电功率}}{\text{剩余发电功率}}$$

随系统条件不同,可能的最大 K 值各异。

7.2 对于大机组小系统和某些形成孤立网的情况,可能的最大 K 值很大,此时宜考虑采用联锁切相适应大容量集中负荷的办法,以防止在频率快速下降的同时,出现电压快速下降而发生电压崩溃。

7.3 最严重的系统频率下降情况,除了可能发生在事故前为系统高峰负荷期间的运行方式外,还可能出现在事故前为系统轻负荷期间的运行方式下,此时可能因突然失去重负荷联络线或一大电源(厂)而造成大量的有功功率缺额,且运行系统的惯性常数又较小。

7.4 计算事件后的系统惯性常数时,可以只考虑发电机组而不计及负荷部分的作用。

7.5 自动低频减负荷装置的轮数、各轮的启动频率值及人为附加动作延时以及各轮所切负荷份额的选定及分配,应按系统情况进行综合协调,以满足第 5.1 条的基本要求。

7.6 系统中设置的自动低频减负荷装置的基本轮轮数(快速动作的)可为 3 轮~8 轮,另设长延时的特殊轮。

7.7 宜采用反映装设母线电压频率绝对值的继电器作为自动低频减负荷装置的启动元件。对于母线分列运行的变电站,应分别测量分列母线的频率,分别进行低频判别,事故时切除各段母线所带负荷线路。

7.8 提高最高一轮的频率启动值,有利于抑制系统频率下降深度,但为适应第 5.3 条的要求,对于大电网一般也以不超过 49.25Hz 为宜。

7.9 自动低频减负荷装置应采用独立配置的性能优良的数字型频率继电器。

7.10 各轮间的启动频率差别愈小,延时愈短,愈有利于抑制系统频率下降,但也愈易发生负荷过切而引起频率恢复时的超调,特别是对于可能出现严重有功功率缺额而又不允许系统频率短时下降较低(为了与大机组低频保护配合)的系统,显得特别突出;而为使自动低频减负荷装置的动作基本反映平均频率的变化,对每轮装置的动作设定一定的人为延时也是必要的;此外,对于最高一轮,用短延时躲过因短路等引起的系统频率暂态波动,在系统的某些点上也可能有必要。为了协调矛盾,最高轮级间的启动频率差可选得较小,按选用数字型频率继电器考虑,启动频率差可为 0.2Hz,人为延时可为 0.2s,以快速抑制频率下降;最后几轮间的启动频率差可略大,人为延时可略长,防止负荷过切。

7.11 附加的长延时特殊轮的启动频率可以与基本轮重复,其附加延时可选为 10s~30s。

7.12 每轮切负荷的份额及其分配,应考虑同时适应处于主电网内或可能形成孤立网时的不同情况,原则上力求按负荷重要性的顺序轮流切除。如果系统中有按合同的“可切负荷”,则应最先切除。如果

切除热电厂供热负荷，应分析是否可能会影响热电厂的电功率输出。

7.13 为了抑制频率下降的深度，一般对最高几轮分配给较大份额的切负荷量较好。为了计及实际存在的可能误差（例如，系统中某些点实际切负荷的量小于安排的量，某个减负荷装置因各种原因拒绝动作等），由调度命令实际安排执行的每轮切负荷量，宜较整定方案规定的总量略大。当自动低频减负荷装置所控制的线路检修或装置因故停运时，应采取措施保持切除负荷总量满足方案的要求。

7.14 按第 6.1 条规定校核各种可能有功功率缺额情况下自动减负荷装置的动作行为和系统频率恢复过程，协调确定各轮的启动频率、所带延时及所切负荷份额的最终整定值。

7.15 抽水蓄能机组抽水工况下低频跳闸定值宜适当高于低频减负荷第一轮定值；间歇式可再生能源机组低频跳闸定值不应高于低频减负荷第一轮定值。

7.16 低频减负荷装置控制负荷宜与其他作用于切负荷的相关安全自动装置相协调，尽可能避免重复切除同一负荷。

8 低频解列装置的设置

8.1 在系统中的如下地点，可考虑设置低频解列装置：

- a) 系统间联络线上的适当地点。
- b) 地区系统中由主系统受电的终端变电站母线联络断路器。
- c) 地区电厂的高压侧母线联络断路器。
- d) 专门划作系统事故紧急启动电源专带厂用电的发电机组母线联络断路器。

8.2 在正常运行情况下，低频解列点应是有功功率平衡点或基本平衡点，以保证在解列后小电源侧的有功功率能够基本平衡。如果在解列后应依靠地区自动减负荷装置的动作才能保持有功功率平衡，则应检查解列后的地区无功功率平衡情况，特别是对于有大量电缆网络或大量低压无功补偿装置的地区系统更应注意此点。

8.3 为了保证地区重要负荷可靠运行，在安排解列点的母线负荷分配、选择解列装置的整定值以及地区发电机组保护定值时，应做到：因主网故障影响地区供电可靠性时，能保证地区重要负荷继续由地区电源可靠供电；当地区电源故障时，能保证地区重要负荷继续由主系统可靠供电。

8.4 如果地区系统中有特殊重要的保安负荷时，为了考虑低频解列装置和断路器拒绝动作的可能性，可在同一变电站或相邻变电站的两组断路器上分装两组解列装置，设两个串联解列点。

8.5 有统一低频减负荷方案的大区电网联络线低频解列设定值应与电网低频减负荷方案整定值协调，宜先行低频减负荷，以保证发生功率缺额情况下联络线安全运行。

附录 A (资料性附录)

恒定输出功率发电机带集中负荷时的频率变化动态过程计算

A.1 公式推导

采用单机带集中负荷的最简单模型计算系统平均频率的动态变化过程时，系统运动方程为：

$$M \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e \quad (\text{A.1})$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (\text{A.2})$$

$$T_e = \frac{P_L}{\omega} \quad (\text{A.3})$$

式中：

M ——系统的惯性常数，s；

T_m ——发电机组的机械转矩，s；

T_e ——发电机组的电磁转矩，N·m；

P_m ——发电机组的输出电功率，MW；

P_L ——负荷功率，MW；

ω ——发电机组的转子角速度，rad/s。

如果认为在系统频率变化期间，负荷母线电压保持不变，则负荷特性可表示为：

$$P_L = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^{K_L} \quad (\text{A.4})$$

式中：

P_0 —— $f = f_0$ 时负荷有功功率，MW；

f_0 ——额定频率，Hz；

K_L ——负荷频率因子。

如果认为 P_m 为常数，即系统完全无旋转备用容量，按式 (A.1) ~ 式 (A.3) 即可解得系统频率标么值随时间的变化关系，得到：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \omega}{\omega} &= \frac{P_m - P_L}{P_m + (K_L - 1)P_L} (1 - e^{-At}) \\ A &= \frac{P_m + (K_L - 1)P_L}{\omega M} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.5})$$

式 (A.5) 右侧项乘以初始频率 f ，即可得出频率变化的绝对值， $\left[f + \left(\frac{\Delta f}{f} \right) \cdot f \right]$ 即为在时间 t 瞬间的系统频率值。

A.2 应用举例

假定系统在正常运行情况下，突然发生了 20% 的有功功率缺额。

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{T_a}{D_T} \left(1 - e^{-\frac{D_T}{M} t} \right) \quad (\text{A.6})$$

$$T_a = \frac{P_m}{\omega} - \frac{P_L}{\omega} \tag{A.7}$$

$$D_T = \frac{P_m}{\omega} + (K_L - 1) \frac{P_L}{\omega} \tag{A.8}$$

式中：

$\frac{\Delta f}{f}$ ——系统频率变化的标么值；

f ——计算阶段开始时的系统频率；

T_a ——以保留在运行中发电力矩为基准的加速力矩标么值；

D_T ——总阻尼系数。

a) 在 $t=0$ 时，即发生有功功率缺额的开始， $\omega=1.0$ ， $P_m=1.0$ ， $P_L=1.2$ ， $M=10$ ， $K_L=1.5$ ，求得：

$$T_a = -0.2, \quad D_T = 1.6$$

b) 假定在 48.8Hz 时切除 10% 的负荷，计算求得切除负荷后瞬间的下列各值：

$$\omega = 0.976, \quad P_L = 1.0606, \quad T_a = 0.0621, \quad D_T = 1.57$$

c) 假定在 48.65Hz 时切除了另外 10% 负荷，计算求得第二次切除负荷后瞬间的下列各值：

$$\omega = 0.973, \quad P_L = 0.960, \quad T_a = 0.0411, \quad D_T = 1.52$$

d) 全过程频率随时间变化曲线如图 A.1 所示。

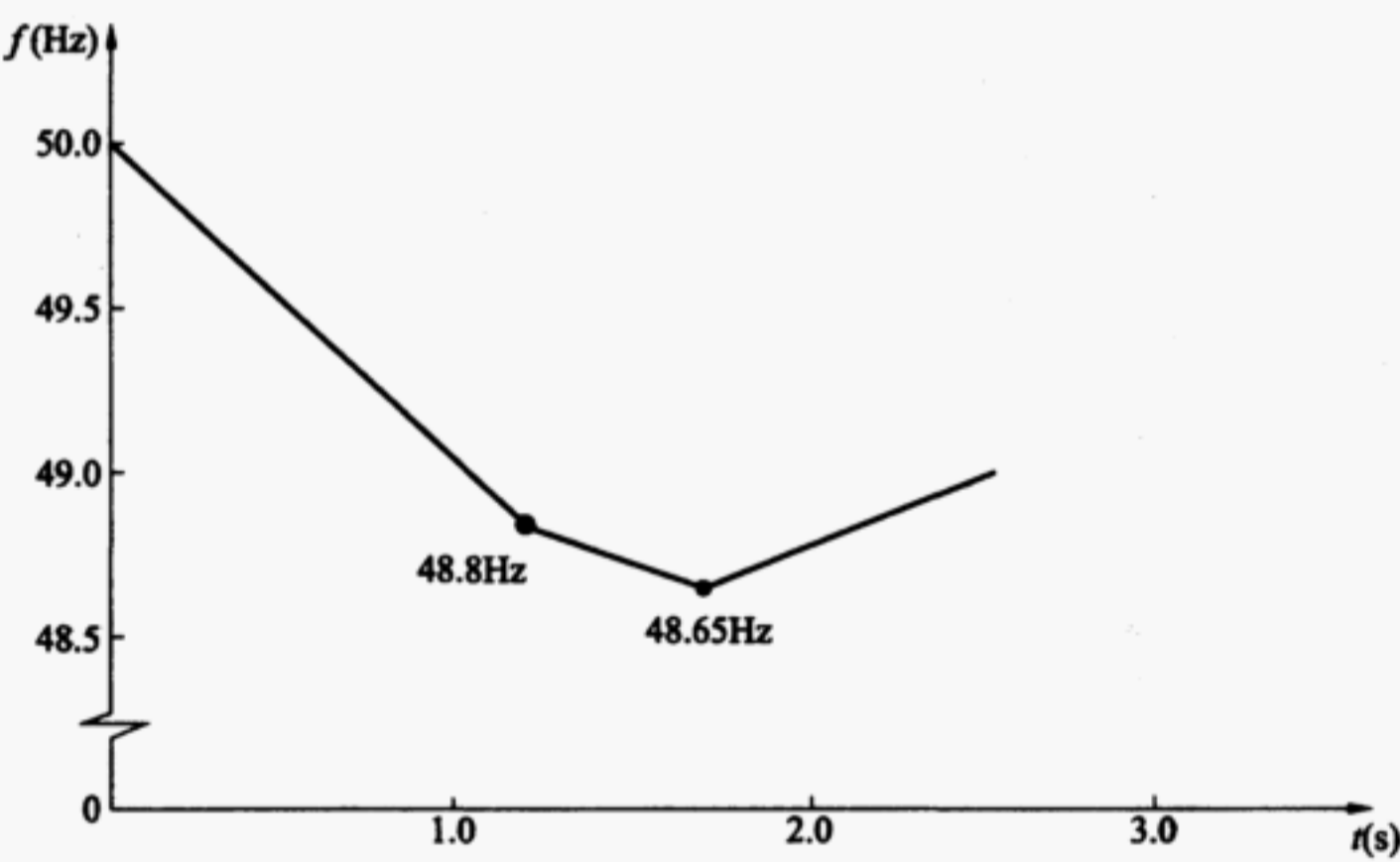


图 A.1 全过程频率随时间变化曲线

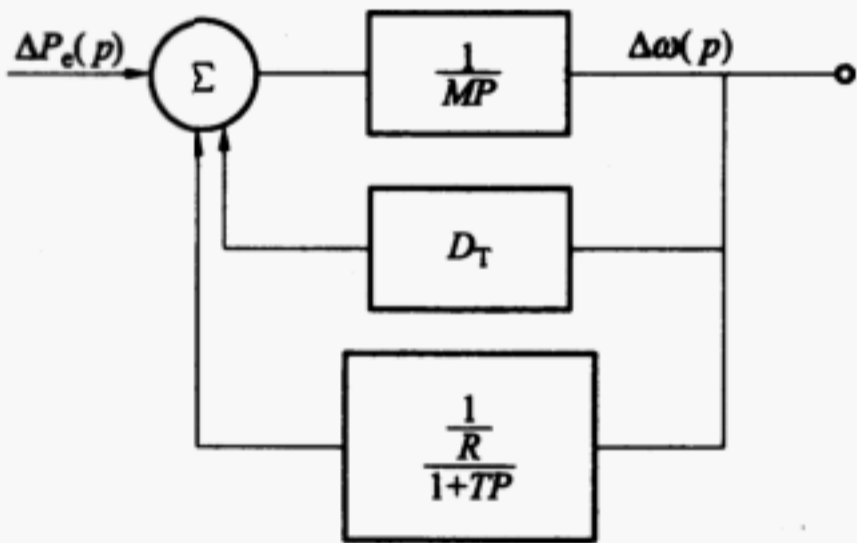
附录 B
(资料性附录)

越过额定值后的系统频率变化动态过程计算
(考虑系统等价发电机组综合调速器特性)

B.1 公式推导

在系统频率超过额定值后, 考虑机组调速器作用的系统平均频率变化为简单估算, 将运行机组的综合调速特性用一阶函数表示时, 则 $\frac{\Delta\omega}{\Delta P_e}$ 的传递函数框图如图 B.1 所示。从而求得:

$$\frac{\Delta\omega(p)}{\Delta P_e(p)} = \frac{1+TP}{MTP^2 + (D_T T + M)P + \left(D_T + \frac{1}{R}\right)} \tag{B.1}$$



P —运算子符号; R —调速器调差系数; T —时间常数

图 B.1 考虑调速器作用的 $\frac{\Delta\omega}{\Delta P_e}$ 传递函数框图

对应于自动低频减负荷的过切情况, 如过切量的标么值 (以运行机组容量为基准) 为 K , 则:

$$\Delta P_e(p) = \frac{K}{P} \tag{B.2}$$

则 $\Delta\omega(p)$ 为:

$$\begin{aligned} \Delta\omega(p) &= \frac{K(1+TP)}{P \left[MTP^2 + (D_T T + M)P + \left(D_T + \frac{1}{R} \right) \right]} \\ &= \frac{K}{D_T + \frac{1}{R}} \left\{ \frac{1}{P} + \frac{-p + \left(\frac{1}{MR} - \frac{1}{T} \right)}{\left(p + \frac{D_T T + M}{2MT} \right)^2 + \left[\frac{D_T T + \frac{1}{R}}{MT} - \frac{1}{4} \left(\frac{D_T}{M} + \frac{1}{T} \right)^2 \right]} \right\} \end{aligned} \tag{B.3}$$

令

$$a = \frac{D_T T + M}{2MT}$$

$$b = \sqrt{\frac{D_T T + \frac{1}{R}}{MT} - \frac{1}{4} \left(\frac{D_T}{M} + \frac{1}{T} \right)^2}$$
$$c = \frac{1}{MR} - \frac{1}{T}$$

由式 (B.3) 可求得标么 $\Delta\omega(p)$ 为:

$$\Delta\omega(p) = \frac{K}{D_T + \frac{1}{R}} \left[1 - \left(\cos bt - \frac{a+c}{b} \sin bt \right) e^{-at} \right] \tag{B.4}$$

则 $\Delta f(t)$ 的绝对值为:

$$\Delta f(t) = \frac{50k}{D_T + \frac{1}{R}} \left[1 - \sqrt{1 + \left(\frac{a+c}{b} \right)^2} \cos \left(bt + \tan^{-1} \frac{a+c}{b} \right) e^{-at} \right] (\text{Hz}) \tag{B.5}$$

对式 (B.5) 的 $\Delta f(t)$ 求极值, 可知使 $\Delta f(t)$ 取最大值 $\Delta f(t)_{\max}$ 的 t_{\max} 应满足式 (B.6), 即:

$$\tan \left(bt + \tan^{-1} \frac{a+c}{b} \right) = -\frac{a}{b} \tag{B.6}$$

由式 (B.6) 可解得 t_{\max} , 进而由式 (B.5) 求解得 Δf_{\max} 。

B.2 系统运行机组综合调速器参数的求法

B.2.1 代表符号

m_r 表示不同类型机组 ($r=1, 2, \dots$) 的容量占总运行机组容量的份额 (标么值), 下标 r 代表某一类型的机组。

Δp 表示随调速器变化的功率标么值。

$\left(\frac{1}{R} \right)_r$ 表示不同类型机组的单位调节功率, 按图 B.1 符号关系, 取正值。

$\beta(t)_r$ 表示不同类型机组的单位调速时间特性, 即当输入的 $\Delta\omega$ 为一标么的阶跃函数时输出的 $p(t)$ 。例如, 当机组调速特性可用一阶传递函数表示时, 则

$$\beta(t) = \frac{1}{R} (1 - e^{-t/T}) \tag{B.7}$$

式中:

T ——调速器时间常数。

B.2.2 计算步骤

a) 按已知数据求出运行中机组的单位综合调速特性 $\beta(t)_\Sigma$ 为:

$$\beta(t)_\Sigma = \left. \sum_{r=1}^n m_r \left(\frac{1}{R} \right)_r \cdot \beta(t)_r \right\} \sum m_r = 1 \tag{B.8}$$

b) 在频率开始起调的 $0 \rightarrow t_1$, 用 $\frac{1}{R} (1 - e^{-t/T})$ 等价 $\beta(t)_\Sigma$ 。取 $(t)_\Sigma$ 在 $t_1/2$ 及 t_1 两点之值, 即可求得等

价参数 $\frac{1}{R}$ 及 T , 用以计算该时间段的 $\Delta\omega(t)$ 。一般可考虑取 $t_1=2s \sim 3s$ 。

B.3 算例

B.3.1 求系统等价机组的综合单位调速特性

可以假设水轮发电机组，一次再热式及无再热式汽轮发电机组的容量各占 1/3，它们的调速器的传递函数的例子分别如图 B.2 中的 a)、b)、c) 所示。

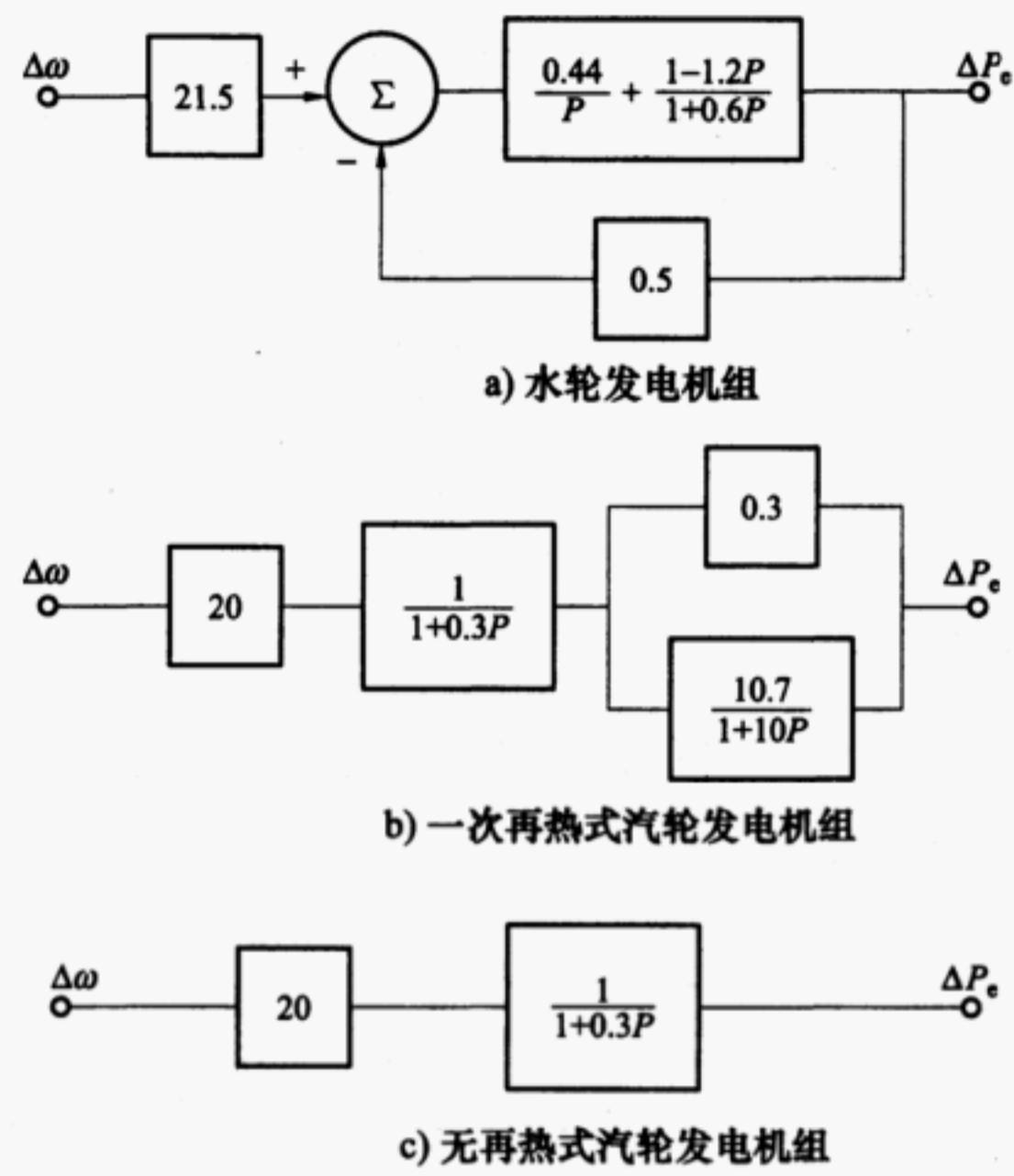


图 B.2 各种发电机组的调速器传递函数

各发电机组的 $\beta(t)$ 分别是：
水轮发电机组：

$$\beta(t)_1 = 21.5 \times [11.69(1 - e^{-t/1.95}) - 9.69(1 - e^{-t/1.4})] \tag{B.9}$$

一次再热式汽轮发电机组：

$$\beta(t)_2 = 20 \times [0.28(1 - e^{-t/0.3})] + 0.72(1 - e^{-t/1.0}) \tag{B.10}$$

无再热式汽轮发电机组：

$$\beta(t)_3 = 20(1 - e^{-t/0.3}) \tag{B.11}$$

综上得：

$$\beta(t)_\Sigma = 1/3 [\beta(t)_1 + \beta(t)_2 + \beta(t)_3] \tag{B.12}$$

$\beta(t)$ 的曲线如图 B.3 所示。
以曲线 $A(1 - e^{-1/T})$ 代表 2.0s 前的单位调速时间特性，取 1.0s 及 2.0s 两点时的值为：

$$A(1 - e^{-1/T}) = 7.0$$

及

$$A(1 - e^{-2/T}) = 8.0$$

即可求得在频率超过额定值后（留在运行中的发电机组均参加调速作用），系统等价机组的综合单位调速特性为 $8.17(1 - e^{-t/0.514})$ 。

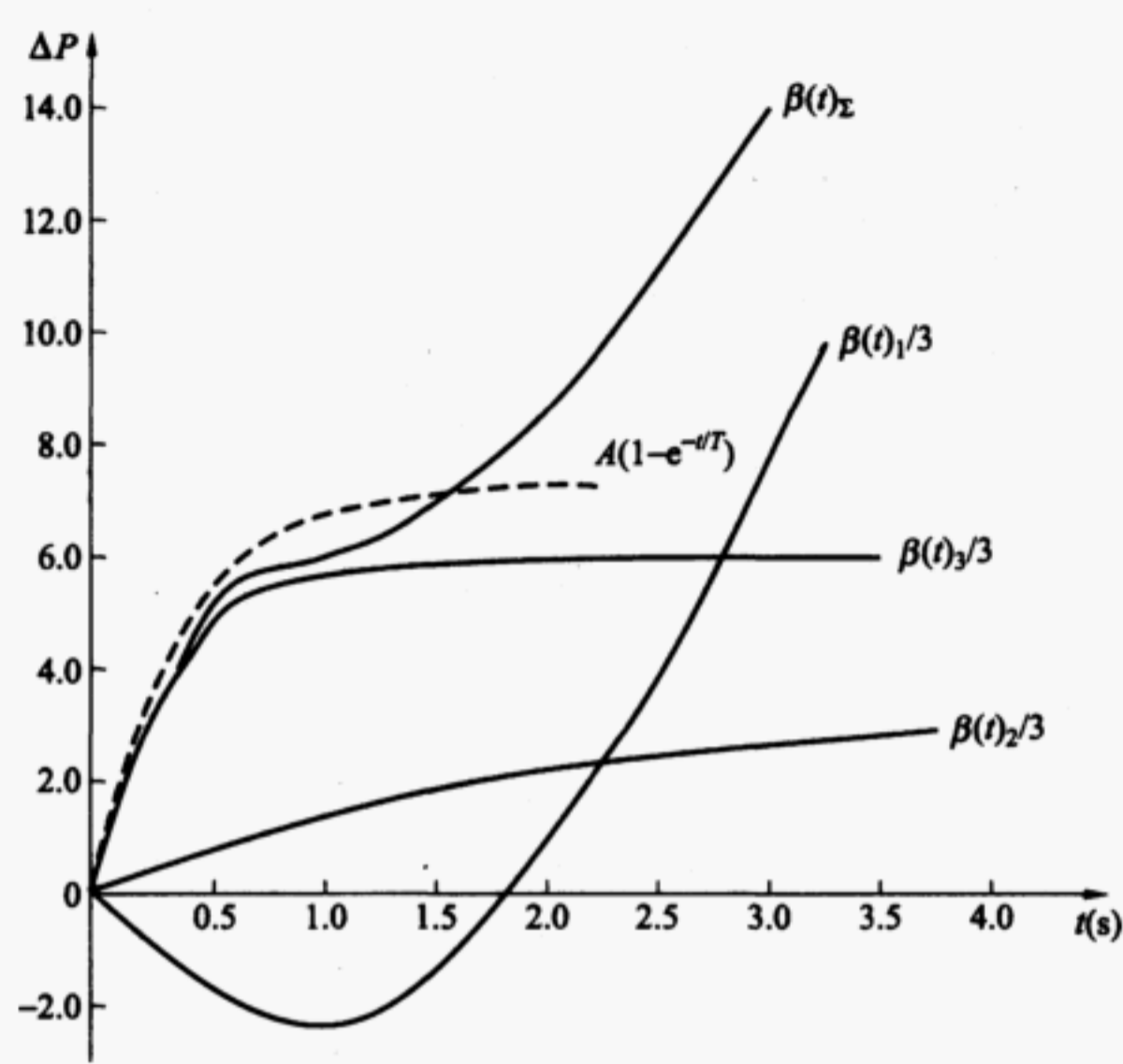


图 B.3 $\beta(t)$ 曲线

B.3.2 求系统最大超调频率

假定过切 7%，系统的 $M=10$ ， $K_L=1.5$ ，求得 $D_T=1.47$ 。
适应于超调后 3.0s 前的系统等价机组的综合调速参数为 $1/R=8.17$ ， $T=0.514$ 。
以上各值代入 a 、 b 、 c 的表达式，求得 $a=1.046$ ， $b=0.8$ ， $c=-1.128$ ，得：

$$\begin{aligned}\Delta f(t) &= 0.363 \times [1 - (\cos 0.8t + 0.1025 \sin 0.8t) e^{-t/0.956}] \\ &= 0.363 \times [1 - 1.0052 \cos(0.8 - 5.85) e^{-t/0.956}] (\text{Hz})\end{aligned}$$

由式 (B.6)，可求得 $t_{\max}=2.9\text{s}$ ，相应的 $\Delta f_{\max}=0.374\text{Hz}$ ，即 $\Delta f_{\max} < 0.4\text{Hz}$ 。

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
电力系统自动低频减负荷技术规定
DL/T 428 — 2010
代替 DL 428 — 1991

*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2011 年 4 月第一版 2011 年 4 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 0.75 印张 22 千字
印数 0001—3000 册

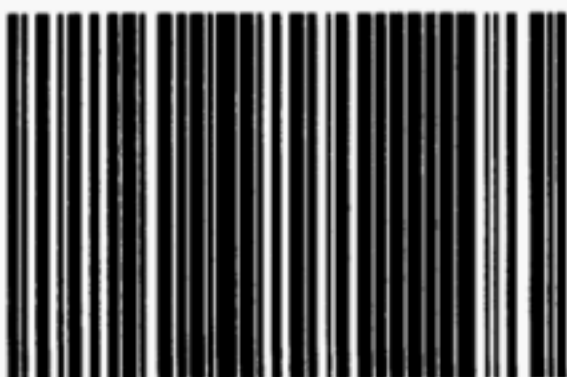
*

统一书号 155123 · 377 定价 9.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155123.377

上架建议：规程规范/电力工程