

62.17
2775

5500

船用电气设备 译文集

中国人民解放军总字 920 部队

一九六三年八月



目 录

一、概 述

1. 1962年船电技术发展概况.....[西德] A. 翁哥林..... 1
2. 400周电力在船上的应用.....[美国] J.M.爱波尔, E.W.鲁斯比..... 5
3. 小船电气系统.....[美国] T.O.罗勃脱, L.T. 克诺克斯.....20

二、船 用 条 件

4. 艇艇用断续浸水式电机的绝缘结构.....(美国) C.B.赫核奈, H.P.华克.....23
5. 硅有机绝缘在海军电气设备上的应用.....朱鸿兴 编译.....32
6. 在恶劣气候下使用之低压变压器的绝缘.....[苏联] E.JI.斯拉瓦尼诺娃.....39
7. 船用电器设备的冲击试验和方法.....蒋承勋, 李熙明 编译.....44
8. 旋转电机的噪音测定法.....[日本] 守田荣.....53
9. 船舶无线电干扰的产生、传播和防止.....[民主德国] D. 特劳宾斯.....65

三、电 机

10. 船舶机舱内直流电机换向器上痕迹的形成.....[西德] O. 彼莱弗尔特脱.....69
11. 船用电机放大机概述.....傅君丽 编译.....75
12. 船用排水电泵.....[苏联] IO.H.托尔斯恰可夫等.....82
13. 船用自励恒压同步发电机.....王莉莉, 佟恩涛 编译.....88
14. 柴油发电机的双脉冲调速器.....程载文 编译.....112
15. 具有电压自动补偿系统之同步发电机电压变化的
计算.....[苏联] B. A. 依利亚索夫..... 119
16. 脉动磁场电机的理论.....[美国] R. 保罗..... 126
17. 求取三相正弦电压感应子发电机是, 转子最佳数的
分析方法.....[美国] A.K.达斯古泼他..... 149
18. 单机变频机的最佳尺寸与电磁负载.....[苏联] B.M.巴夫里宁, H.C.西乌诺夫..... 161

四、电 器 及 拖 动

19. 大容量船舶电力系统中的过电流保护.....[美国] J.R.考尔..... 167
20. 电磁接触器.....[苏联] JI.A.罗德什钦..... 175
21. 高于允许发热和长期负载下的银触头.....[苏联] O.B.布朗, M.B.叶夫谢夫..... 187
22. 船舶辅机的电力拖动及操纵装置.....[西德] H.J.戈扎克, E.S.奈朗根..... 190
23. 静止调速电力拖动装置.....[美国] R.B.乔恩斯, A.R.奥尔兹..... 210
24. 有宽广调速范围的交流起锚绞盘电力拖动.....[苏联] A. 霍查伊诺夫..... 215

五、其 它

25. 船用电缆简介.....朱凯 编译..... 219
26. 国外照明发展简介.....王元熙, 齐佩玉 摘译..... 225

1962年船电技术发展概况

〔西德〕A. 翁哥林

1. 船 船 电 网

根据目前德国船厂所接受的订货任务来看, 采用交流电网者占绝大多数。英国不仅在油船上, 就是在货船和客船上采用交流电者也日益增多。在干货船上虽曾由于交流绞车存在某些缺点而使交流电网的发展推迟了几年, 但现在已全部克服。故可谓之“船电技术已到十字路口”[1]。

不仅在德国推广采用 60 赫电网频率[2], 别国亦大力提倡, “法兰西”号客船的电网就采用交流 440 伏、60 赫(停泊时耗电量为 750 瓩, 可由 50 或 60 赫的岸上电源供电)。在救生拖船上往往装有直流 110 伏、220 伏、交流 380 伏 50 赫、440 伏 60 赫等多样电源的交流机组, 以供被救船舶应急之需[3]。

船舶发电机的功率, 多按负荷表选定 [4], 并参考必要的统计资料加以补充 [5]。现将 1962 年新造船舶中有关船舶电站容量的数据列表如下:

船 名	吨 位 (吨)	主 机 (马力)	电站容量 (千伏安)
Uragan号远洋救生拖船(6)	1066	2520	440
Port Nicholson号柴油机干货船(7)	13850	17000	2500
Raffaello Cafiero号柴油机油船(8)	24500	18900	3040
Esso Spain号汽轮机油船(9)	53423	24450	2750
Transvaal Castle号客船(10)	33000	40000	6000
France号客船	67000	160000	14650

船舶电网的选择性保护, 特别着重在自动开关及分段保护上, 因此, 自动开关必须具有与延时相适应的载流能力[11]。应急发电机的及时起动和惯性延长等保证工作持续性的措施, 在岸上可以实施, 但目前在船上尚未采用[12]。

2. 船舶发电机、配电装置

硅整流器的发展, 使大功率同步发电机能够采用整流器励磁系统, 从而大大提高了发电机的短时千伏安功率和动态性能[13]。恒压发电机具有自励的复励线路, 使电压更加准确; 由于励磁与负载电流成函数, 故此种发电机较之非自励线路者更能承受短路, 并加强了选择性保护。

硅整流器的应用,使发电机可制成无刷结构,即励磁绕组与硅整流器装在同一轴上运转,取消滑环和电刷,提高了可靠性[14]。

船舶发电机组原动机的调速器,一般也用来在并联运行时调节有功功率的分配,偏差为3.5~5%。在要求频率稳定度较高的情况下,可在原有机调速器的基础上补加一个电的调速器。此种调速器利用额定频率谐振线路来完成功率和频率的调整[15],偏差在 $\pm 0.5\%$ 范围内。即使由于负载变化很大而使转速发生较大的偏差,亦能在极短时间内恢复正常。

近几年来,交流发电机组同步併车已在商船上普遍采用。利用电抗器粗同步併车,操作简单可靠,在几秒钟内就能正常併联运行。电抗器粗同步併车还能避免在磁极和硅整流器中产生危险的过电压;当发电机组由于同步错误而变成异步运行时,很容易产生这种过电压。

在某些新建船上,随着电网功率的增长,促使主配电盘的结构亦加简化,因而大量采用标准部件。发电机的保护设备(如过电流及逆功率保护、过电流时间继电器等),以及现代化的交流空气断路器[17],都有了进一步发展,提高了通断次数、耐冲击能力和万用性。在油船上采用的不接地电网中,装置了一种测量和指示绝缘性能的自动化装置。

3. 船用电缆

船舶电力电缆采用铅包和丁基橡胶二种,导线温度提高到 80°C [19],现已得到国际电工委员会和船级机构的承认。西德海军部门设计的MKKH和LMKK轻型船舶电力和控制及照明电缆不采用铅包,具有耐热性高、尺寸小、重量轻、价格低等优点,现已在新造的商船上推广采用。例如在一艘汽轮机油船上采用此种电缆后,使电缆重量减轻20吨[9]。

4. 舱室和甲板辅机的电力拖动

过去认为冷藏压气机和冷藏库通风机必须能无级调速,以使冷藏室温度保持恒定。这一要求现已不作规定,同时还允许采用鼠笼型电动机[20]。恒压发电机的动态特性可以满足电动机直接起动的要求。多年来的使用经验证明,星三角起动器或起动变压器只适于在汽轮机船上起动盘车电动机或柴油发电机组千伏安功率有限的情况。在柴油机或汽轮机船上,50或60赫的电动机都可以满足大部分付机转速的要求,仅少数付机要求采用单绕组或双绕组1:2等转速比的变极电机[21]。

西德多年来所采用的鼠笼型变极(一般为4/8/28极)起重电动机,现已在很多国家制造并在船上广泛采用[22、23]。这种电动机(4/8/28或4/8/32极)亦用在3吨船舶起重机上,其迴转和俯仰动作也采用鼠笼型4/7极单绕组起重电动机[24]。国外的船舶起重机上仍有采用直流列奥那特制电力拖动的,三台执行电动机由一台输出发电机供电[25]。

起货机、绞车与吊索、拉索和止持绞车的控制合在一起,由一个控制台控制[26]。目前尚通用的起重机和起货机绞车标准应重新修订以适应目前所采用的结构。修订时应纳入标准的功率和主要尺寸。

5. 船舶电力推进、电磁转差联轴节与特种推进

近年来,汽轮机和柴油机电力推进又重新受到重视。在拖网渔船上此仅作为附加电力推进[27a],由三台交流发电机供电。

采用列奥那特或恆流制的直流电力推进,对特种船舶来讲更重要。挖泥船的柴油电力

推进和船舶电网,采用一定的控制系统和调节系统。电力推进船舶除有拖船、海洋救生船、领港船外,尚有水泥装卸船等[30、31、32]。采用直流电力推进的船舶有破冰船[33、34]、泥浆船[35]和电缆敷设船[36、37、38]。电缆敷设船 Mercury 号采用一般推进装置,功率为6000马力,另一艘 Neptun 号采用柴油机电动和机械联合装置,功率为5600轴马力。

在瑞典已有一系列货船(双螺旋桨12000马力)装置了内极式电磁转差联轴节[39]。在德国经使用证明,此种联轴节亦可用在吸扬式挖泥船的泥浆泵传动装置及破冰船的破冰设备上[40]。除客船外,一些特种船舶如渡船、电缆敷设船等亦在船艏或船尾安装了电力推进装置用以提高机动性。

6. 电气防蚀装置

由于大部分船体钢板都浸在水中,极易腐蚀,故采用外加电流阴极保护方法日益受到重视。保护电流从石墨、白金钛或其他导体组成的阳极,再经海水回到船体,从而防止腐蚀电流的形成。保护电流与船体、温度、海水盐度等有关,并可自动调整以便保护电位保持不变[41、42]。目前已有许多船舶设有电气防蚀装置,经使用证实性能良好,可望将得到更广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] International Design and Equipment, 1962; Shipbuilding and Shipping-record, S.17-22
- [2] HANSA, 1962-3; 293-307
- [3] BBC-Nachrichten 1962-6; 261-272
- [4] Schiff und Hafen 1960-3; 987-991
- [5] Schiff und Hafen 1962-3; 226-233
- [6] Schiff und Hafen 1962-8; 731-734
- [7] Schiff und Hafen 1962 12; 11-19
- [8] HANSA 1962-12; 1201-1210
- [9] HANSA 1962-22; 2203-2232
- [10] HANSA 1962-6; 557-565
- [11] Siemens-Zeitschrift 1962-11; 812-813
- [12] BBC-Nachrichten 1962-2; 63-67
- [13] BBC-Nachrichten 1962-8; 339-346
- [14] Siemens-Zeitschrift 1962-4; 234-235
- [15] ASFA-Zeitschrift 1962-4; 152-153
- [16] Schiff und Hafen 1962-6; 535-537
HANSA 1962-2; 220-221
- [17] BBC-Nachrichten 1962-5; 189-196
- [18] Siemens-Zeitschrift 1962-8; 627-628
- [19] HANSA 1962-24; 2569
- [20] HANSA 1962-19; 1989-1990

- [21] HANSA 1962-22; 2241—2254
- [22] ASEA-Zeitschrift 1962-4; 151
- [23] Schiff und Hafen 1962-7; 599
- [24] Schiff und Hafen 1962-5; 441—447
- [25] ASEA-Zeitschrift 1962-1; 17—22
- [26] Schiff und Hafen 1962-11; 1029—1031
- [27] HANSA 1962-33; 2464
- [28] HANSA 1962-7; 677—681
- [29] HANSA 1962-24; 2545—2547
- [30] HANSA 1962-22; 2359
- [31] HANSA 1962; 749—753
- [32] Schiff und Hafen 1962-2; 152—153
- [33] Siemens Zeitschrift 1962-2; 111—119
- [34] HANSA 1962-14; 1501—1504
- [35] Schiff und Hafen 1962-3; 236—244
- [36] HANSA 1962; 博览会特刊 769—778
- [37] Schiff und Hafen 1962-12; 1117—1119
- [38] HANSA 1962-10; 965—988;
- [39] ASEA-Zeitschrift 1962-1; 10—16
- [40] Schiff und Hafen 1962-3; 233—235
- [41] HANSA 1962-22; 2255—2262
- [42] Schiff und Hafen 1962-4; 344—346

原载 «HANSA» 1963, Nr.1

蔣承勛 摘译

400 周电力在船上的应用

〔美國〕 J.M. 爱波爾, E.W. 魯斯比

AIEE 准會員 AIEE 非會員

在 400 周电力系统的任何一次讨论中总是提到为什么必须考虑现在广泛和经常应用在岸上和海上电力系统中的既订标准 60 周频率以外的频率的问题。从 1932 年以来, 60 周交流系统已经应用在大多数船舶电力装置中, 特别在大容量电力装置中, 它们一直运转得很满意, 在第二次世界大战中工作得也很好。然而在这期间, 也是从这时起, 趋势一直是增加电力的应用, 因此增加与船舶的尺寸不相适应的装置重量和空间要求并希望改进所装设备的特性。这个问题的答案能够用“前进”两字概括起来。目的是得到电力装置较好的特性或者是用较少的材料重量和空间得到同样的特性。要达到这些目的, 必须考虑到影响电力装置设计的各种基本因素, 而其中之一即是频率。正象其它工程界的进步是由于进入到高温、高压和高速一样, 高频的应用开创了改进电气设计的新途径:

在选择电站频率时, 问题就来了, 是用 400 周呢? 还是用某些中间或更高的频率, 特别是用 60 周的倍数。在 400 周范围内已经决定:

1. 发电机同步速度密切配合现有涡轮原动机速度。
2. 配合现有被拖动辅机最大速度的高效电动机设计是可能的。
3. 电缆压降不致过大, 而电缆载流量也不过于受限制。
4. 磁性元件譬如变压器、磁放大器和同位器等的高效设计是可能的。

在 400 周和 60 周的倍数(420 或 360)之间的选择并不那么肯定。用 400 周而不用 420 周可以容许使用感应电动机拖动的 60/400 周电动机和发电机组, 而这种拖动能被控制得比 420 周额定值更接近于 400 周输出。因为 400 周电力系统和设备已经在航空工业获得相当进步, 从标准化的观点看选择这个频率是合乎逻辑的。因为 400 周电力在军事上广泛应用的结果, 美国国防部已经将 400 周包括在“军事标准 205”中。

討 論

应用高频电站, 如 400 周电站, 提供某些非常诱人的优点, 特别是在一些对重量和空间要求严格的装置中。系统频率的提高增加了最大旋转速度, 因此减少了旋转电机的重量。此外, 高频变压器和电抗器要求较低的最大磁通值, 所以其铁芯比相应的 60 周单元为小。当然较小的时间常数容许增加反应速度, 而这在某种控制系统中是一个优点。

正象在大多数改进工作中那样, 要考虑很多部分地抵消一些优点的其他因素。小而轻的高频设备的固有特性要求在设备设计中特别考虑减少噪音, 较高的运行温度和随较高转速和较小气隙而带来的机械问题。较少的散热面要求更多地考虑通风和设备的防护性能以防止烧毁。此外, 在船舶上应用高频的优点已足以补偿由于发展、设计和制造 400 周频率的电力设备而带来的昂贵成本。

在前面几节中概述了标准 60 周电力设备与高频设备比较中所涉及的一些因素。现在将要考虑系统频率对于特定的电力装置的影响。

旋轉电机

系統頻率的提高提高了最大轉速，因此旋轉电机的重量比 60 周电机要輕。圖 1 和 圖 2 說明與 60 周相同定額的电动机比較提高運行速度對感應电动机的效果。發展 400 周电动机的主要對象是在被拖動輔機可以拖到這樣高速度的應用場合下設計 6000 到 8000 轉/分同步速度的电动机。這種應用包括風機和某些葉輪泵：在必需較低速度時，譬如象壓縮機的应用中採用 12000 轉/分的电动机和齒輪箱。

發展作為船用的 400 周电动机的效率大約與習慣用的 60 周感應电动机相同。雖然對已知的磁性材料鐵芯損耗與頻率的冪成比例，鐵芯損耗與 60 周相同馬力定額的电动机大約相同。這是因為用了現有最好等級的硅鋼片和減少了疊片的厚度。

400 周电动机會工作得熱些，因為散熱面比較小。於是 400 周电动机要求更多的正確開溝和引導通風。此外，頻率增加時因為轉子在瞬時堵轉中更容易燒毀，故轉子構造必須正確，安全轉子的標準必須建立。製造廠所作的計算指出，假定所有熱量均貯于轉子銅排中，轉子會在 6 倍滿載電流下 12 秒內毀壞。這一規程曾被用來選擇過載繼電器。在實際試驗中电动机在 9 倍滿載電流 30 秒下承受了轉子堵轉試驗。

400 周电动机的噪音水平當然要高于標準的 60 周电动机，這是因為高轉速和需要更多的冷卻空氣。噪音水平能通過正確使用吸音材料和正確安裝來加以控制。



圖 1 30 馬力 60 周 1200 轉/分电动机與 30 馬力 400 周 12000 轉/分电动机的比較

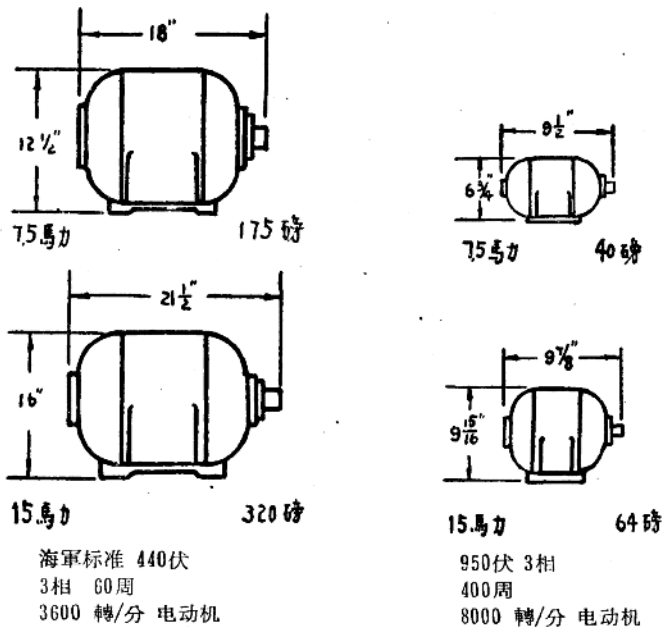


圖 2 標準 60 周电动机與 400 周电动机的比較

表 I 蒸汽涡轮发电机的比较数据

发电机特性	旧 驅 逐 舰	美 国 Timmerman 号	
		1 号 发 电 机	2 号 发 电 机
发电机型式	同步机	同步机	同步机
发电机定额	400瓩 80%功率因数	600瓩 80%功率因数	600瓩 80%功率因数
	450伏 60周	1000伏 400周	1000伏 400周
	3 相 1200轉/分	3 相 12000轉/分	3 相 24000轉/分
涡轮机型式及定额	6 級 525磅/吋 ² 表压	7 級 815磅/吋 ² 表压	6 級 1805磅/吋 ² 表压
	825°F 节汽阀温度	1045°F 节汽阀温度	1040°F 温度
	10059轉/分	12000轉/分	24000轉/分
重 量(磅)			
发电机	4350	1640	1800
涡轮机	6275	1950	2000
辅助设备	11990	3110	2753
总干重	22615	6700	6553
激磁型式	50瓩直流, 过容量 以供給許多直流負載	单級旋轉放大机	靜止的

表 I 柴油发电机与燃气涡轮发电机的比较数据

发电机特性	旧 驅 逐 舰	美 国 Timmerman 号	
		1 号应急发电机	二号应急发电机
原动机型式	3 缸 2 冲程柴油机	燃气涡轮机	4缸幅向排列 2冲程柴油机
原动机 轉/分	1200	20000	1800
发动机定额	100瓩80%功率因数450伏	250瓩80%功率因数1000伏	250瓩80%功率因数1000伏
	60周 3 相 12000轉/分	400周 3 相 8000轉/分	400周 3 相 12000轉/分
总干重	9300磅	1586磅	8500磅

表 II 60 周 80°C 和 400 周 150°C 温升变压器的比较

千伏安	重量 (磅)		体 积 (立方吋)	
	60周	400周	60周	400周
5	90	30	1450	600
15	206	75	4000	1750
25	280	105	5700	2150
50	510	165	10025	3600
100	950	310	17200	6060

蒸汽和燃气涡轮发电机

提高系统频率对发电机的作用是很重要的，因此选择发电机的型式是首要考虑项目之一。因为提高了可能达到的最大旋转速度，就可能从蒸汽和燃气涡轮机驱动的发电机中消除减速箱。当然，其结果是进一步减少了机组的重量。为了说明系统频率的提高对蒸汽涡轮发电机重量和尺寸的影响，请参见表 I，它给出了过去旧驱逐舰中所用的 400 瓩 60 周船用蒸汽涡轮发电机和美国 Timmerman 号船所用 600 瓩 400 周船用发电机的比较数据。显而易见，400 周发电机的重量大约为 60 周的 $\frac{1}{3}$ ，而其容量则增加 50%。

因为燃气涡轮发电机和柴油发电机二者均适合作为应急之用，曾经作过努力来发展燃气涡轮机驱动以供应急之用。发展轻型柴油机也同时并举并取得了某些成就。表 II 给出了旧驱逐舰上所用应急柴油发电机与应用在美国 Timmerman 号船上燃气涡轮和柴油发电机的比较数据。

变换装置

提高系统频率对于变压器和电抗器具有深远的影响，因为较低的最大磁通值容许有较小的铁芯。如表 II 所示重量减少在 60% 左右是可以期望得到的。与 400 周变压器有关的主要问题是磁路所产生不愉快的嘈杂声。由嘈杂声耳朵 (hum ear) 测出的声音响度是强度和频率的函数。声音强度和响度是不同的，强度是测量离声源一定距离的能量，而响度是脑子对声源的一种感觉。在使用 400 周中所遇到的 800 到 1600 周的振动是在耳朵特别敏感的频率范围之内。因此特别要努力使变压器的噪音减少到最小值。这个问题正用改变铁芯的结构型式来解决。

供电给如消磁和充电之类的直流负载有很多方法：包括直接拖动的发电机、电动发电机、汞弧整流器、氧化铜和硒整流器。因为高速而带来的整流问题故不采用直接拖动的发电机。发电机带减速箱的电动发电机比静止整流器并不提供足够的优点来补偿重量的增加。在节约重量，较小维护量和较高效率的基础上我们采用了硒整流器。

内部通讯和电子装置

提高系统频率对于内部通讯和电子装置同样有很大的影响。同其它设备一样减小尺寸和重量主要表现在扼流圈、滤波器、电源和灯丝变压器的尺寸减小。应用 400 周电力是既有优点亦有缺点需视所研究的内部通讯系统而定。在盐度指示器系统中应用 400 周要比 60 周电源更为优越，因为极化现象减少而准确度提高了。在电罗经系统中普通也是应用 400 周电力的。阻碍广泛应用 400 周同位器的困难之一，是在次级绕组之间接线时需要非常注意平衡其电抗。由于电缆中不平衡电抗而产生的误差随频率提高使误差扩大。400 周音响讯号提供了

不少设计困难，其中主要是由于对振动接触的电铃而言打击速度过高。

开关及控制设备

在制造厂和海军实验室所作的试验决定了提高系统频率对断路器和其它开关元件的影响。在这些试验的基础上，标准500伏60周构架尺寸和电流定额作为400周500伏使用是很满意的。此外，由于400周试验站容量的关系仅在有限规模内做了断流试验。因为这个限制，标准60周模制外壳的断路器仅仅允许使用在可能的故障电流为10000安或更小的地方，而这种断路器在60周时断流容量最小值为15000安。然而，这些试验指出断路器在每秒400周时与每秒60周时极其可能具有相同的断流容量。因为提高频率并不极大地影响其它开关板元件的尺寸和重量如仪表和开关，开关板外型尺寸和重量与60周开关板事实上并无多大差异。

400周频率对电动机控制设备的影响，要求新设计过载继电器和接触器动作吸铁。因为大部分重量和空间节约是由于旋转电机较高的运转速度所致，人们一直集中努力于得到运转满意的400周电动机控制器而维持其尺寸和重量与60周控制设备大致相同。

在考虑400周供电频率时提出了许多保护问题。最重要的可能是电动机的过载元件。因为400周电动机起动电流高于60周电动机，同时因为400周电动机较小散热面少，电动机的过载元件要求动作更迅速。因此必须发展400周使用的过载元件。此外，断路器的过电流元件要求在400周时刻度。决定断路器的脱扣调定值也是很困难的，因为受可能得到的断路器运行在400周时的数据和400周机械特性所限制。

电缆

提高频率对电力和照明电缆的影响有二方面：第一，对200000圆密尔（合100平方毫米）或者以上的电缆其电流定额减少了10到30%；第二，电压降增加，因为电缆的阻抗增加了，特别在大电缆中。因此400周系统中电缆的重量比60周同样电压的电缆大。

照明设备

应用400周荧光灯亦能节省重量和空间。这归功于400周镇流器较小，其尺寸大约是60周镇流器的 $\frac{1}{2}$ 而重量还不到50%。这种较小尺寸的镇流器对附件设计者提供了更多的方便，在头顶空间较小的场所可装置较浅的附件。在一个典型船舶装置中照明附件的重量大约能减少10%。然而，如需要频率转换设备的话，那么重量和空间的节约将被附加设备所抵消。此外应用400周电力能改善荧光灯的效率和减少闪光效应。

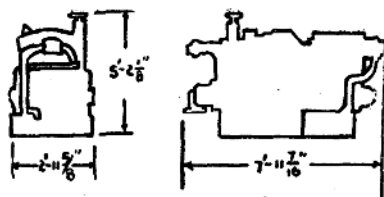
过去和目前在船舶上的应用

随着400周电力在航空、砲火控制设备和雷达上应用的发展在1947年第一次考虑在船上应用400周电力。开始时，变换装置是作为砲火控制和电子应用的基本元件之一。1948年在船上提供了第一个中央电力变换站装置，为飞机服务和试验之用。大约在同一时期，400周电力被用来拖动迥转仪，以取代过去用的特殊频率。

目前在美国海军船舶上400周电力的应用包括迥转仪、某些砲火控制和电子应用、飞机试验与服务以及一些特别控制电路。虽然在某些情况下为上述应用提供了400周电源但这可能是用于特殊装置，目前还没有用于一般电源。例如在航空母舰上那里需要大量的400周电力为飞机服务这同一电源可以转换成直流电来作为飞机的起动之用。本例中的优点在于采用400周电力而不是用60周电力以减少必须的变换装置的尺寸。另外一个例子是应用已有的

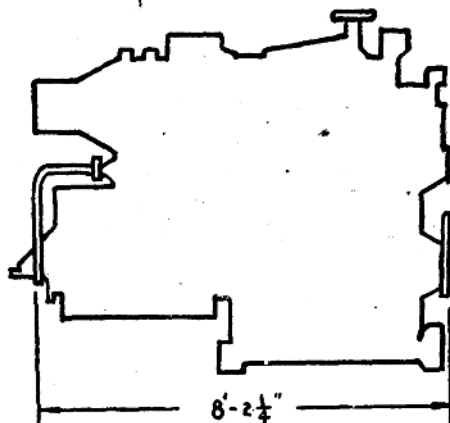
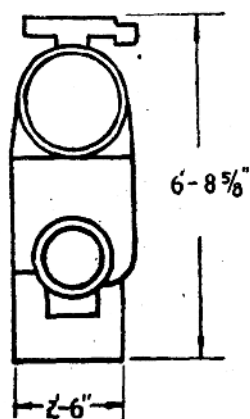
400 周电力供给弧光探照灯, 因为辅助装置譬如镇流器能做得较小。

因为 400 周电力在目前一般尚未用于船舶上, 每次应用均被作为个别情况来处理。换言之既考虑到在用电设备的设计和特性方面所得的益处也从系统、发电或变换装置观点考虑其缺点, 选择 400 周或者 60 周是立足于通盘考虑的基础上。



重量: 干=6553磅 湿=7183磅

图 3 2000 磅/时³ 1050°F 蒸汽涡轮机拖动的 600 瓩 1000 伏 400 周 24000 转/分 同步发电机外形



重量: 干=6700磅 湿=7085磅

图 4 815 磅/时³ 1045°F 蒸汽涡轮机拖动的 600 瓩 1000 伏, 400 周 12000 转/分 同步发电机的外形

表 IV 美国船 Timmerman 号电站的初步重量汇总表

元 件	重 量 千 磅				
	60 周 450 伏 习惯用电站	60 周 450 伏 改进的电站	400 周 450 伏 电 站	400 周 600 伏 电 站	400 周 10000 伏 电 站
不包括原动机的船用辅助发电机 每台 600 瓩	20.0	12.3	5.4*	11.1 ⁺	5.4 [‡]
应急发电机, 每台 250 瓩	8.9	6.2	2.5	4.5	2.1
开关设备	19.4	17.1	22.6	17.1	16.5
配电板	6.6	7.4	7.1	7.1	7.1
电动机及控制部分	52.2	25.4	11.7	14.7	16.1 [§]
变压器	3.1	2.6	1.9	1.2	0.9
电 纜	72.2	72.2	77.2	68.1	59.5
管子和电缆板	20.7	20.7	22.1	20.5	17.4
附加变压器					0.5
总 重	203.1	162.9	150.5	144.3	127.0
比习惯用 60 周 450 伏电站节约的 百分率		19.8	25.9	29.0	37.5

* 24000 转/分同步发电机设计

+ 12000 转/分同步发电机设计

‡ 24000 转/分感应发电机设计

§ 电动机控制部分重量包括校正功率因数的电容器

|| 加热器及 2 马力以下电动机用变压器

表 V 美国船 Timmerman 号电站的最后重量和空间汇总表

元 件	重 量 千磅		空 間 呎 ³	
	450伏 60周	1000伏 400周	450伏 60周	1000伏 400周
不包括原动机的 2 台 600 瓩船用辅助发电机和 2 台 250 瓩应急发电机	29.3	6.1	100	40
开关设备	19.4	21.0	520	595
配电板和汇流排转换器	7.6	9.0	114	135
电动机及控制部分	47.2	23.2	570	285
变压器	9.1	2.7	90	30
电 纜	69.8	59.5		
管子和电纜板	20.3	17.4		
总 重	202.7	138.9	1394	1085
比 60 周 450 伏电站节约百分率		31.5		22

美国 Timmerman 号实验船

只有通过全面调查一些项目，如提高电站频率，才能实现跃进，为此，美国海军决定建造一艘先进设计的驱逐舰，它将吸收最大多数新设计的元件和系统。这艘船就是美国船 Timmerman 号，亦即过去的 DD828 现在的 EAG 152。第二次世界大战驱逐舰经验指示船舶需要较大的巡航半径、提高速度和改进适航特性。因此实验驱逐舰的主要特征是一个 100000 轴马力的动力站，它的重量和空间较之第二次世界大战中驱逐舰 DD692 级 60000 轴马力的动力站相同或更小一点。

为了企图达到这个目的，下述项目将是值得考虑的：

1. 减少设计余量。
2. 消除逐级保留设计余量。
3. 降低安全系数。每个元件设计均加分析以便肯定这些安全系数是一致的。
4. 应用高转速。
5. 应用高压和高频。
6. 应用优质材料，考虑紧急时成为薄弱环节的关键材料。

建立了上述准则之后，接着一段时间中进行了大量的设计研究工作以建立一个选择最佳电站特性的基础。第一流的发电机、开关、变压器、电动机、控制设备及辅助设备等的制造厂被聘请来设计、研究以及提供能满足上述基本概念要求的装备。结果在设计者提供估算数据的基础上为美国船 Timmerman 号选择了一个 1,000 伏 400 周的电站。主要元件的估计重量及空间在表 IV 中给出。估计的数据大都是在原始新设计的基础上提出的，因为用在 EAG 152 船上那些尺寸和应用场合的高压和高频装置的制造经验比较少。为了避免电力系统的重复和节约重量起见，决定仅提供一个 1000 伏 400 周的电力系统。小负载是由 120 伏 400 周照明系统，或者在照明系统的功能可能被损伤的场合通过 1000 伏/120 伏单独变压器供给的。某些负载譬如加热器，厨房设备等是按其所需电压由单独变压器来供给，这是因为要得到适用于 1000 伏使用的设备的研究费用较大。决定在 EAG 152 船上采用 1000 伏 400 周是考虑了这样的事实，设计不是作为首制样品而是实验性质的先进的设计，以提供探索高压和高频电站优点的机

会。1000 伏 400 周电站的缺点之一，是这种频率和电压的岸电在各个岸电电站中不容易得到。于是美国船 Timmerman 备有一套接岸电的电动——发电机组。发电机定额是 250 瓩，1000 伏，400 周。电动机的定额是 440 伏，60 周，三相。

美国船 Timmerman 上的电站包括二台 600 瓩同步涡轮发电机。一组如图 3 所示，是由 2000 磅/时²，1050 度华氏的蒸汽涡轮机所拖动的，机组是一个紧凑的整体，直接偶合，转动在 24000 转/分并有一个静止的励磁系统。另外一组，如图 4 所示，是由 815 磅/时²，1045 度华氏，紧凑单元设计的涡轮机所拖动，直接偶合，转动在 12000 转/分，并有旋转励磁机。此外尚有二台 1000 伏，400 周，三相应急发电机。前面一组是由燃气涡轮机所拖动，后面一组是由柴油机所拖动。所有的泵和其它辅机，除了涡轮机拖动的给水泵和主鼓风机外，均为 950 伏，400 周电动机所拖动。这些高速电动机采用硅绝缘，它本能地能抵抗潮气和在高温下使用。

在美国船 Timmerman 上整个电力和照明系统，由于采用 1000 伏和 400 周而不采用 450 伏和 60 周的结果，它真正的空间和重量的节约的代表数字给出于表 V 中。大约 15% 总重量的节约可归因于近代设计，5% 是归因于从 450 伏提高到 1000 伏，而其余的 11.5% 是由于增加频率的结果。

制造问题

为美国船 Timmerman 选择了 1000 伏，400 周电站，在提供了探索高压和高频优点的机会的同时，也出现很多工程和制造问题。由于缺少所需规格的 400 周电力设备的经验，实际上必须发展所有的元件，从发电机到拖动辅机。例如不得不制造试验电动机使制造者能决定 400 周电动机的设计依据。更高的旋转速度和更高的温度带来困难的轴承问题和其它机械问题，这些迄今尚未解决。此外电气特性如转子设计，电动机绝缘结构(系统)，和安全转子的条件必须建立。同时类似的发展工作在电动机控制，发电机，变压器和断路器等方面也正在进行。整个发展工作规模宏大，随之而来的是 Timmerman 号的 400 周电站。

使用问题

如想象中一样，自从美国船 Timmerman 号完成以来三年期间，很多使用方面的困难已经发生。有些较重要的损坏介绍如下。

发电机

在 12000 转/分的 1 号发电机上旋转放大激磁机的使用经验指出，轴大约在使用 800 小时后将磨损。旋转放大激磁机和调节器从那时起已被换为一个静止激磁器调节器来解决这个问题。在船完成后不久要求对于 24000 转/分的 2 号发电机作广泛的改进。发电机的容量发现要比额定的小，这是因为短路磁场线圈和滑环上的火花。改进工作包括转子重绕、增加磁场匝数、装置新滑环和容纳附加炭刷的刷握装配、减少电流密度。这台发电机运转得满意，除了炭刷的寿命有限。使用的缺点也出现在应急发电机上。在应急燃气涡轮发电机舱内环境温度高减少了电机的输出大约为 30%。用更改通风系统来改正这个缺点。柴油应急发电机曾经有过发电机上面端轴承损坏的历史，它以前是一个油脂润滑轴承。这个轴承已经被油润滑轴承所调换，它应能消除这种类型的事故。

电动机

950 伏 400 周电动机较小，它有比较小的热容量，他们运转在比正常遇到的较高速度和温度。曾经碰到很多的损坏是不足为奇的。由于现在进行中的下述大纲的结果相信无论是这

些或其他电动机问题将要得到解决。

1) 应用热稳定的硅润滑滚动轴承, 它们能很好地运转到 150°C 温度; 2) 在某些场合, 用更坚固的铸造端盖来代替较脆弱的冲制端盖; 3) 特别注意轴承的配合和公差, 转子平衡, 电动机的同心, 和端盖的配合, 因为所有这些是临界的。对高速旋转设备的平衡已经历到日益增加的困难, 它对轴承的提早损坏至少负一部份责任。

控制

因为继电器、控制变压器和接触等的损坏, 已经发生很多的电动机控制的事故。正在用来纠正这些失败的补救办法是: 1) 改变控制器的灭弧室和触点。2) 改变热过载继电器以保证更正确的过载保护。

得到的好处

尽管美国船 Timmerman 的试船大纲尚处于早期阶段和航行运转尚有限, 但很多技术上的成就已经实现了。从船上使用经验和试验得来的有价值的情报, 已经被吸收到 400 周涡轮发电机的计算中, 作为正在建造的新船上有限的使用。例如新的航空母舰有一个 1000 伏 400 周为飞机起动和服务的系统。为了得到连续运转后的寿命、所需维护量、介质性能、轴承和绝缘的情况等有关情报, 还需要美国船 Timmerman 号上电器设备进一步的使用经验。

摘 要

若干年来船舶电站已经从 120—230 伏低压的简单直流系统成长为较大的复杂系统。在大多数情况下, 是从直流系统成长到交流 450 伏 60 周系统。没有理由来期望船舶电站将不再继续发展以及进一步要求更好的运转特性、更大的输出和更小的空间和重量。可以期望应用 400 周电力会有不断的增长。如果真的如此, 可以期望不会象从直流改变到交流那样一次完成全部改变基本电站, 而是通过增加电站中 400 周使用范围而逐步改变。

这种增长在电子和控制电路领域里, 或许比其它领域要更快一些, 虽然 400 周萤光照明设备或许在不久的将来将被采用。在电力拖动领域内, 期望在要求采用 400 周以便在被拖动付机部分获得更好的特性的场合增加 400 周的应用。

在利用 400 周电力方面的这种增长将需要更大的 400 周电力发电站和转换站以及必需的配电系统。400 周的一般使用必将导致发展新的改进的轴承和齿轮、新型的过载保护和改变磁性材料以及设计磁性结构的结果。配电设备, 如电缆、附件和开关将不需要基本改变。



讨 论

J. D. Shuster (伯利恆钢铁公司): 本实验船装置中的几台涡轮发电机都值得一提, 因为它们是直接拖动而不是通过齿轮的, 一台 24000 转/分 (2 极) 另一台 12000 转/分 (4 极)。有趣的是 12000 转/分机组原来用旋转激磁机, 但一开始即已供给了整流器来激磁, 如同原来供给 24000 转/分机组的那样。除了重量比较而外没有提到与 Timmerman 一起建造的涡轮传动感应发电机组。能够有一份关于它的任何试验报告将不无裨益。

我们希望知道除风扇外电动机直接拖动的付机对带齿轮的付机的百分比。付机重量的节约未列表但可归功于采用 400 周电力。

表 V 及描写船那节中的叙述表明, 400 周设备比标准海军设备重量节约 $11\frac{1}{2}\%$, 而其他新特色 (可能象 H 级绝缘之类) 容许比标准海军设备减少 15%。这些百分率包括全部电气装置,

当只指电动机时,它们的相对值将会不同。图1所示2台30马力12000转/分电动机的比较表明重量节约88.5%,即使两者绝缘等级不同,但要做到小电动机是齿轮电机而重量节约如此之大,这确实惊人。

表IV中400周1000伏用的电动机与控制一栏提到功率因数校正用的电容器。我们没有看到别处提起功率因数校正,因而认为真正的Timmerman装置并未为此目的应用电容器。

有关感应电动机鼠笼式转子对付巨大过载电流的计算与实际能力的叙述对于甲板机械采用60周多速感应电动机的评价很有用处。如果鼠笼式电动机被拒作此用是同样地保守的话,则工业部门可能错过了满意解决交流甲板机械问题的办法。事实上已经有11艘船向欧洲船厂订了应用双连多速感应电动机的起货机,其中2艘属于汉堡—美国航线目前正在访问墨西哥湾海岸各港。

电动机控制的讨论强调400周电动机起动电流较大散热较难,结果需要快速动作过载继电器。看来会造成许多误动作,尤其在起动时。

我们假定表III中60周变压器是指450伏初级,而400周的是1000伏初级,从表IV3与4栏完全由于频率之差估计重量节约为26.8%。

有关萤光照明的资料是值得谈的,正如文中所谈这可能是商船上早期应用400周电力之一。据悉陆上采用至少已有一处,即在健身房中。

我们相信AIEE会就作者们提出一项新颖的前途宽广的船舶电力应用的精闢论文而对他们表示感谢。

Arthur R. Gatewood(美国船舶局):我们有下列问题:

1. 目前使用硒整流器的现实性如何?
2. 直接起动是否现实?若然如此,考虑过否?
3. 由于电压提高是否必需采用特殊电缆?常用商业标准最高只发展到600伏。
4. 虽然文中没有提到,看来电缆芯线电流密度与60周电站相同,我们很想知道高频集肤效应考虑过否?
5. 据悉,用了6000到8000转/分之类直到12000转/分的高速,对轴承配合、同心度及转子平衡将倍加小心。其实目前许多商用柴油机的增压器已设计到40000到50000转/分之类的转速,故而怀疑作者们是否想在这方面谈出一些不正常的问题来。

V. W. Mayer(航务局):上述应用400周电力系统的研究中主要针对海军船舶上的应用,那里400周设备早已用得很多。用了400周1000设备已经肯定在材料、重量与空间上可以获得很大节约。这就令人想到在商船上采用400周电力系统会有什么好处。

在制造电气设备时所用材料的节约似乎应该在某种程度反映出船舶总成本的降低,这当然对谁都是诱人的。然而,因为现阶段400周设备设计与发展的视在成本昂贵是否会导致真正的节约是存在问题的。事实上,假定其成本会远远超出传统的450伏60周设备是不无理由的。尽管承认高速旋转电机的优点,究竟在商船上普遍应用400周设备带来的优点能否足够抵偿其昂贵的成本尚令人怀疑。看来目前这些设备的维护费用还异常昂贵令人不胜负担。

减少应急用的关键材料总是好的。商船上电气设备任何重量的节约也是重要的,因为这能容许增加船舶可用装载能力。

商船上节约空间能用来增加载货或运客的空间,这总是有益的。因为与节约空间有关的主要电气设备安装在机舱、风机室、起货机控制室、或配电中心,要节约空间自然就得从这

些地方动脑筋。

曾经指出 400 周设备开关与控制设备的尺寸与重量约等于 60 周设备。除了变压器安装的地方可能有一些空间节约而外，在配电中心不会有什么显著的空间节约。尽管电动机尺寸能够减小，许多场合高速 400 周电动机不能直接连到被拖付机而必需供给减速齿轮。电动机、减速齿轮与付机一起在內所占空间将与传统 440 伏 60 周电动机相同。

400 周设备的开关、某些电动机，以及减速齿轮与被拖付机需要的空间与相应 60 周设备一样，尽管用了 400 周发电机、变压器与某些高速直接连接的付机能够节约一些空间，看来机舱总尺寸事实上不会减小。关于实验装置中直接拖动的付机，我很想知道那些特定应用场合可以不用减速齿轮而可能成功地利用这些电动机。还想知道 6000 至 8000 转/分同步速度无论对被拖付机或者配套系统影响到什么程度。我不相信起货机控制室或风机室的尺寸会有多大压缩，因为有时装在这些地方的控制设备与照明和电力配电极有一定的空间要求，它们约与 60 周的尺寸相同。如果采用高压通风，或许能使通风道与风机节约一些空间。然而，配备这种高压系统在美国目前尚不流行。所以，即使电动机与风机的尺寸因采用 400 周电力而减小，通风道的尺寸依然如故。

到目前为止商船上即使有的话也极少采用 400 周配电系统，而电力需要却逐年增长，或许电气设备尺寸与重量要求会与商船大小颇不相称。

除节约材料、重量、空间及成本以外，还有设备运转可靠性的问题。例如实验船上所发生的轴承、继电器、控制变压器、接触器、电刷等的过多损坏指出需要一批比普通商船优越的训练有素的电气人员来保持这种设备在正常运转状态。

此外，由于整流问题等，现代起货机控制用的高速电动发电机组无疑将需要很好保养，因而造成起货的延迟。这种延迟对用船部门负担很重，尤其是日程表很紧张时。

至于谈到能否得到岸电，商船与海军船舶面临同样问题，因为 400 周岸电还没有。

在结论中可以看到重量节约总共 31.5% 中 5% 归功于高压，15% 由于现代设计而仅 11.5% 由于高频。因此，不改频率可以节约总重约 65%。

讨论的目的是面对着海军船舶上采用了 400 周电力而提出在商船上采用它所必需考虑的一些事项。雅不欲促退其进一步的研究。相信由于本文所介绍研究工作的结果会发展许多新的改进的元件，其中某些还能供 400 周以外其他频率电力系统之用。

J.G.Partlow(西屋电气公司)：我们对海军所作将来应用 400 周电力的预见深感兴趣。

600 瓩 400 周 12000 转/分 4 极稳极发电机之所以能达到最小尺寸和重量不仅由于速度与频率的提高还由于其他措施。大量设计工作导致工作部件最大限度地减小尺寸，采用高强度材料使机座和轴承支架等结构部中减少重量。此外，本设计要求采用高精度机械加工和制造工艺。在这方面，我们现在考虑如果采用较低精度的规程将使这些发电机较易制造和修理。这样在尺寸和重量上会略有增加。

以 Timmerman 设计为雏型后来制造了一些发电机，它们说明与正如原始发展时一样设计仍然有效，虽然对这些后来的发电机必须尽可能地作些修改以满足当初 Timmerman 设计准备时尚未提出过的规范要求。

与我们 Timmerman 上交流发电机配合的 12000 转/分旋转放大机激磁机的发展，在显示高速直流电机的设计与制造水平方面是值得一提的。激磁机的极高转速造成关键性的整流问题，它需要精密调整与机械平衡。电机尺寸小，部件精緻，不易保持精密调整。尽管在