

电力电子发展史上的一篇重要讲演

(纪念电力电子先驱 Dr. William E. Newell 逝世 30 周年)

蔡宣三

(清华大学电机工程系 北京 100084)

摘要 电力电子学从不被重视到脱颖而出,^[1]发表于1973年,作者 William E. Newell 博士,这篇讲演是电力电子发展史上的一个重要里程碑。不幸的是,这篇讲演发表三年后,Newell 博士英年早逝。本文简要评述 Newell 博士的这篇论文,以纪念这位国际电力电子先驱者逝世 30 周年。

关键词: William E. Newell, 电力电子 固态功率器件 功率处理

An Important Talk in the History of Power Electronics (A Memorial to the 30th Anniversary of Dr. William E. Newell's Death)

X. S. Cai, Fellow IEEE,

(Tsinghua Univ Beijing 100084)

Abstract Power Electronics--Emerging from Limbo^[1] was presented as a keynote talk at the IEEE PESC on June, 1973 by Dr. William E. Newell. This paper is an important milestone in the history of power electronics. Unfortunately three years later Dr. Newell was untimely leaving the world. We now briefly introduce this talk in memory of the thirtyth anniversary of his death.

Key words: William E. Newell, power electronics, solid state power device, power processing

1 引言

1973年6月,IEEE三个学会---宇航及电子系统(AES)、工业应用(IAS)、电子器件(PDS)联合举办IEEE电力电子专家会议(PESC'73, Pasadena, California)。会上,Dr. William E. Newell 应邀发表了一篇主题讲演:电力电子从不被重视到脱颖而出(Power Electronics--Emerging from Limbo),在电力电子发展历史上有重要意义。Dr. Newell 在讲演中首次给出电力电子的经典定义:‘电力电子技术是电气工程三大学科(电子、电力和控制)的交叉’(Power electronics is a technology which is interstitial to all three of the major disciplines of electrical engineering: electronics, power and control)。其中,电子包括器件和电路;电力包括静止和旋转功率设备;控制包括连续和采样控制,见图1。简言之,电力电子是一门多学科交叉技术:功率流经电力电子电路,并由电子器件控制(Power electronics is a interstitial technology, in which power flow through and are controlled by electronic devices)流向静止和旋转功率设备。

科交叉技术:功率流经电力电子电路,并由电子器件控制(Power electronics is a interstitial technology, in which power flow through and are controlled by electronic devices)流向静止和旋转功率设备。

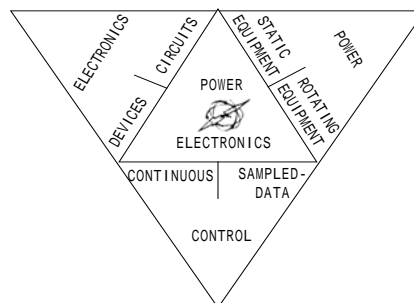


图1 电力电子学是电子、电力和控制学科的交叉[2]

这篇讲演包括三个内容:

- (1) 电力电子现状分析[注1]。
- (2) 迫切需要电力电子专家联合面对挑战。

(3) 电力电子未来一定会成为一门成熟的学科和职业。

[注1] Dr. Newell 在讲演中引用了30篇文献,主要是美国40-70年代发表的论文或参考书。

Dr. Newell 着重指出:70年代美国电力电子技术的研究处在分散和不被重视的状态。建议尽快建立电力电子学这一新的重要学科和专业。这篇著名的讲演引起人们的广泛关注,1974年IEEE工业应用(IA)汇刊在特约专题(Guest Feature)一栏全文正式发表了这篇讲演^[2]。

2 Dr. Newell 生平



图2 Dr. William E. Newell [2]

William E. Newell,先后获得美国俄亥俄(Ohio)州立大学和匹茨堡卡内基-梅隆(Carnegie-Mellon)大学电机工程系学士、硕士和博士学位。在贝鲁特的美国大学和卡内基-梅隆大学从事教学工作四年,之后在匹茨堡西屋电气公司研究所(Research Lab.)工作,主持固态器件研究和电路计算机辅助设计等许多项目,并负责电力电子在新领域中应用的研究课题。在西屋电气公司研发中心 Dr. Newell 开设了电力电子学课程,并在卡内基-梅隆大学讲授该课程。Dr. Newell 是美国宾夕法尼亚州的注册工程师,IEEE 会员(1954),高级会员(1964)。曾在IEEE电子器件学会理事会和功率器件委员会、固态电路委员会等学术组织兼职,并参加工业应用学会、静止功率变换器委员会的工作。1974年PESC程序委员会主席。1976年逝世。

IEEE 电力电子学会的网页^[3]介绍, Dr. Newell 是一位著名的电力电子权威人士,毕生致力于帮助工程师和大学生更好地了解电力电子学,曾在西屋公司和卡内基-梅隆大学讲授电力电子学课程。Dr. Newell 去世以后,由莫特(J.W. Mott, Jr.)将该课程的讲义编辑出版,书名为‘固态电力电子学导论’。Dr.

Newell 生前指出了电力电子学的‘多学科’(multi-discipline)本质,建议建立这门新的学科。他也为IEEE电力电子学会的建立播下了种子。

为纪念 Dr. Newell,1977年电力电子专家会议(PESC)设立电力电子奖,以他的名字命名:Annual William E. Newell Power Electronics Award,以奖励世界各国杰出的电力电子专家对电力电子学发展作出的贡献,每年评选一名。后来该奖项正式成为IEEE电力电子学会的年度电力电子大奖。自2006年起,该奖项升格为IEEE William E. Newell Technical Field Award^[4],是IEEE电力电子学会的最高奖项。图3为Newell电力电子奖章。



图3 Newell 电力电子奖章 [4]

3 时代背景

上世纪70年代,固态功率器件仅有硅二极管、晶闸管(SCR)和双极功率晶体管(BPT)等;晶闸管已取代了闸流管、引燃管、汞弧整流器等;SCR相位控制逐步取代磁放大器控制;功率静止变换器已取代M-G机组;开关稳压电源开始取代线性稳压电源;PWM控制刚开始应用。

但是那时电力电子技术还没有形成学科[注2],分散在各个应用领域和学科内;功率变换器理论分析研究还很落后;名词、术语没有统一,当时的习惯用语五花八门,如:工业电子、功率调节(power conditioning)、功率处理(power processing)、硅可控整流、电源等等,几乎都是表示相同内容。

[注2]文献中最早出现电力电子名词是1969年H.F. Storm(上世纪50-60年代国际著名的磁放大器专家)在IEEE Spectrum上发表的文章:美国的固态电力电子技术(Solid State Power Electronics in USA)。

Dr. Newell 在讲演中举例指出当时存在的许多不协调现象:

(1)人们只将电子技术理解为信号处理,不重视电力电子对功率和能量处理的作用.

(2)电力电子技术所强调的效率,得不到电子工程师们的重视.

(3)固态功率器件工作于重复开关状态,虽然数字电子工程师比较熟悉,但电力工程师却很陌生.

(4)固态功率器件的瞬态热问题使电力工程师感到困扰,只有少数电子工程师能理解瞬态热阻问题.

(5)使开关动作的信号是连续变化的,模拟电子工程师能理解,而数字电子工程师不能理解.

(6)控制工程师熟悉系统稳定性、控制准确性和响应速度,但对开关变换器瞬态建模问题却无能为力.

(7)轧钢机电力传动与卫星中的DC-DC变换器有什么共同点,人们很少考虑,等等.

上世纪60年代,IEEE电力电子学会还未建立,没有出版独立的电力电子学专业期刊或杂志.1970年4月在美国举行功率调节专家会议PCSC(Power Conditioning Specialist Conf.),是电力电子专家们第一次组织的学术会议.1973年第4届PCSC上,该会议正式改名为电力电子专家会议PESC.

在60-70年代,人们认为:微电子技术的功能是信号处理(Signal Processing),而电力电子技术的主要功能是功率调节(Power Conditioning)或功率处理(Power Processing).功率处理主要是指功率变换技术,包括整流、DC-DC变换、逆变等.上世纪80年代初,美国加州理工学院Dr. R.D.Middlebrook给出功率处理的定义为^[5]:将电能从某个电压,电流或频率变换为另一个电压,电流或频率.图4(a)及(b)分别表示信号处理和功率处理系统的功能.

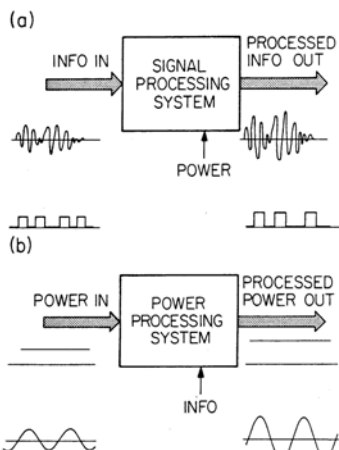


图4 信号处理和功率处理系统 [5]

4 电力电子分类

Dr. Newell 在讲演的第一部分根据电气工程的三个(电子、电力和控制)学科领域,首次提出了电力电子分类大纲(Classification Scheme).这一分类过去还没有人提出过,它既包含了电力电子的专业范畴,又包括电力电子与这三个学科领域的交叉重叠部分.他认为,电力电子分类不但对教学有益,而且对电力电子文献的分类也很有用. Dr. Newell 建议电力电子按三大块分类:系统与控制、功率器件和电力电子电路,具体内容如下:

(1) System & Control

General systems and application topics, Control theory and stability analysis, Sensing and gating signal generation, Motor drives and machines (DC, AC, brushless machines), Heating & welding equipments, HVDC and other utility equipments, Large power supplies, Low power or/and high frequency equipments, Miscellaneous applications.

(2) Solid state power devices

Materials and fabrication processes, Power diode, Power transistor, Turn-on and turn-off devices, High voltage design and overvoltage protection, High current design, on-state voltage and cooling, Surge and pulse current, Transient thermal analysis and fuse coordination, dv/dt considerations, cathode shunts and snubber design, Turn-on and di/dt considerations, turn-off and recovery considerations, Series/parallel Array equalization, second breakdown.

(3) Power Circuits and Components

Power components, Harmonics and filters, Naturally commutated circuits (AC/DC converters, AC switches and regulators, Cyclo-converters, VA-regulators, Pulse circuits), Self-Commutated circuits and tech. for forced commutation (DC switches and regulators, Inverters, Frequency and power factor changer, Active filters).

Dr. Newell 三十多年前提出的分类为现代电力电子学奠定了基础.例如器件部分从电力电子应用和设计角度考虑,几乎囊括了所有基本问题:包括保护、冷却、浪涌、热瞬态、直到均流、均压.值得注意的是,70年代是SCR年代,快速电力电子器件还没有诞生.那时能提出这样详尽的大纲,说明他对功率器件研究功底之深厚.

电路部分包括开关、调节器、变换器、逆变器、变频器、有源滤波、功率因数校正等,和现代电力电子学基本一致.当然随着科学技术的进步,具体内容现在又有了新的发展.

系统部分包括 DC 与 AC 电力传动(及电机)、热处理和焊接、各种电源、高压直流输电等.值得注意的是,那时柔性输电和配电系统(FACTS,DFACTS)的概念尚未提出,电力电子在电力系统中的应用还局限于 HVDC.而电力传动则还停留在以直流传动为主的阶段.因此分类大纲不可避免地会存在一定的历史局限和时代局限性.但无论如何,Dr. Newell 的开创性思维,到今天还有重要参考价值,令后人崇敬.

5 电力电子的特点

Dr. Newell 在讲演的第二部分分析了电力电子的几个特点:

(1)电力电子技术的发展受功率半导体器件的限制,例如,由于缺乏高压大功率器件阻碍了高压大功率变换器(例如 GW 级)容量的扩大.

(2)电力电子不被重视的原因之一是成本太高,费用高阻碍了电力电子的推广应用.

(3)电力电子是一门实验技术,产品进入市场前需要做大量实验.一般需要几年时间才能使电力电子的某种应用成为主导技术,使产品占市场 90% 以上.

(4)电力电子技术迫切需要有效的理论指导,要开发综合性的分析设计方法,以求成本最小、可靠性最高.

Dr. Newell 在三十多年前指出的电力电子的这些性质和特点,今天依然值得我们重视和参考.

6 电力电子的未来发展趋势

Dr. Newell 在讲演的第三部分预测了电力电子的未来发展趋势,他明确指出:

(1)电力电子系统应用将继续发展扩大,只有电力电子器件才能实现高效率、高可靠性、可维护性、以及能满足可控程度和响应速度要求的各种新应用.

(2)将开发出计算机辅助分析和器件建模方法,使标准设计和定制设计(Custom design)最优,并降低成本、提高可靠性.未来一定会有统一的理论研究新方法,适合于模拟和数字、时域和频域、器件

和电路、稳态和瞬态各种情况.换言之,电力电子将成为一门新学科.

(3)随着固态大功率器件市场开发和增长,应当进一步研究开发器件.透澈了解电荷动态、热流问题,才能改进功率器件技术.可关断器件应用将更普遍.

(4)将制造出标准通用的开关模块,功能更强、成本更低、而不降低可靠性.控制电路将集成化、标准化.

(5)大学里将建立电力电子专业,开设相关课程,出版教科书,开展研究.国家需要部分大学有更高水平的电力电子教学与研究.

(6)器件、电路和电力电子各个应用领域的专家们将会有更多合作、交流的机会,例如像 PESC 这样的国际会议,电力电子学将会得到更普遍的承认.

三十多年前 Dr. Newell 关于电力电子发展趋势的预测,绝大部分已经实现,历史的发展证明了 Dr. Newell 的远见卓识.

当结束这篇著名演讲的时候,Dr. Newell 满怀信心地强调指出:电力电子一定会脱颖而出,走出不被重视的状态.不幸的是,这篇演讲发表三年之后,Dr. Newell 来不及看到他的预言全部实现,溘然长逝.

在 Dr. Newell 逝世 30 周年之际,我们深切缅怀这位先驱者为电力电子学科的创建、发展作出的杰出贡献.

参考文献

- [1] IEEE PESC Record,,1973,June, Pasadena. California
- [2] IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.IA-10, No.1, Jan./Feb,1974
- [3] <http://www.pels.org/Comm/Awards/Newell/Newell.html#Newell>
- [4] Newsletter, Power Electronics Society, 1st Quarter 2006, Vol 18, No.1
- [5] R.D.Middlebrook, Power Electronics: An Emerging Discipline, 1981, Advances in Switched-mode Power Conversion, 11-15

作者简介

蔡宣三 清华大学电机工程系教授,IEEE Fellow. 著有高频功率电子学、高频功率变换技术等教学参考书.

本文原载 2006 台达电力电子新技术研讨会论文集,2006,6.30-7.2(江苏,南京).