

基于 IEC 61850 标准的微电网监控系统

蹇 芳, 李建泉, 吴小云

(南车电气技术与材料工程研究院, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 微电网是集发电和配电为一体的可控单元, 微电网监控系统是实现微电网与大电网互相支持、互相补充的关键。文章依据 IEC 61850 标准搭建具有与智能大电网统一接口的微电网监控系统平台, 提出一种建立微电网系统信息模型的具体方法, 构建微电网信息模型, 并以光伏微电网为例, 建立光伏微电网关键设备的物理设备信息模型。满足 IEC 61850 通信标准的分布式电源可以很容易地实现不同厂家设备之间的互换和互操作性, 有利于微电网监控系统的建立和微电网的产业化发展。

关键词: 微电网监控系统; 分布式发电; IEC 61850; 信息模型

中图分类号: TM76; TP273

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2012)02-0026-04

Microgrid Monitoring System Based on IEC 61850

JIAN Fang, LI Jian-quan, WU Xiao-yun

(CSR Research of Electrical Technology & Material Engineering, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Microgrid is a control unit combining generation with distribution, and the microgrid monitoring system is the key factor of achieving mutual support and complement between microgrid and utility grid. According to IEC 61850, microgrid monitoring system platform is set up, which can connect intelligence utility grid with the unified interfaces, and a specific method for establishing microgrid system information model is put forward. Taking photovoltaic microgrid system as an example, the physical equipment information model of key equipments for PV microgrid is installed. The distributed energy resource, which is in accordance with IEC 61850 communication standard, can be benefit to easily achieve interchange and interoperability among different manufacturers' equipments and to promote the establishment of microgrid monitoring system and industrialization development of microgrid.

Key words: microgrid monitoring system; distributed generation(DG); IEC 61850; information model

0 引言

近年来单一可控微电网的出现解决了分布式发电 (Distributed Generation, 简称 DG) 的并网问题, 同时微电网与大电网二者互相支持、互相补充也大大地提高了电网的供电可靠性。目前, 微电网监控系统的研究多是注重于控制策略和微电网监控系统的拓扑结构方面, 对微电网内、外部接口标准的研究很少^[1-3]。随着分布式发电技术的迅速发展, 各分布式电源设备制造商又面临

着一个新的挑战: 统一微电网监控系统标准和协议。各制造商按照适合自己设备通信协议开发的微电网监控系统, 增加了智能大电网和电力调度部门对微电网监控和调度的难度, 大大增加了二次开发的成本, 减缓了微电网的发展步伐。

IEC 61850 是以实现智能电子设备之间的互操作性和互换性为目的的面向电力系统对象统一建模的标准体系^[4]。遵循 IEC 61850 标准通信模型的微电源可以很容易地实现不同厂家设备的互换性和互操作, 有利于微电网监控系统的建立。同时, IEC 已将建模语言统一到 UML (Unified Modeling Language) 并在 IEC 61850 标准和 IEC 61970 标准的对象模型 (Communication Interface Module, 简称

收稿日期: 2011-12-21

作者简介: 蹇芳 (1977-), 男, 高级工程师, 从事光伏发电系统技术的研究工作。

CIM)之间做了大量统一工作,基于IEC 61850标准体系的微电网监控系统容易实现与基于IEC 61970的电力能量管理系统接口。目前国内外正在建设或已经完成建设的数字化变电站也是基于IEC 61850标准体系的,基于该标准体系的微电网监控系统符合智能电网的要求,满足电力调度部门与智能大电网的通信需求。

1 微电网监控系统的结构分层

IEC 61850是第一个完全以实现变电站自动化系统中智能电子设备(Intelligent Electronic Device, 简称IED)互操作性为主要目的通信标准体系,同时它也是建立数字化变电站的唯一国际标准。依据微电网的定义,我们可以将微电网看成是一个站自用电负荷远大于一般变电站的特殊化变电站,将DG看成集发电、保护和控制为一体的IED。IEC 61850将不同种DG的逻辑节点分类^[5],因此,在建设微电网监控系统时可以借鉴数字化变电站建设的相关经验。

1.1 数字化变电站的结构分层

IEC 61850 标准按分布式的方式将变电站自动化系统分为三层:过程层、间隔层、变电站层(图 1)^[6-7]。图中标出了三层间的通信接口,同时还给出了变电站层和控制中心、控制中心和远端控制中心的接口,各层内部及各层之间均采用高速网络通信,各接口的通信映射和方式在 IEC 61850 标准中作了具体规范。

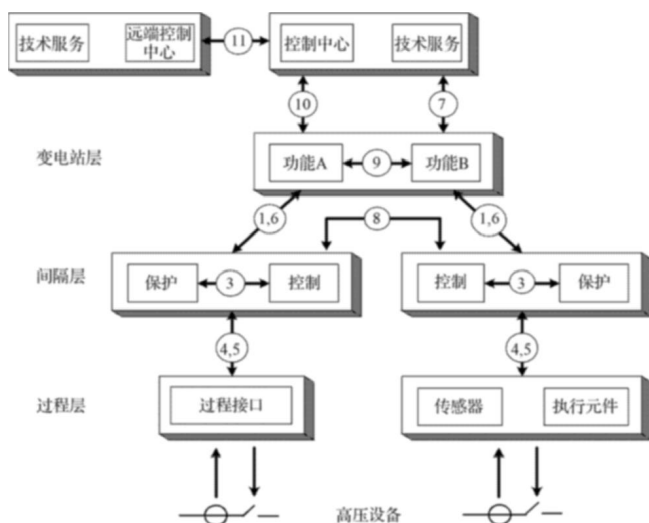


图1 变电站自动化系统接口模型

Fig.1 Interface model of substation automation system

1.2 微电网监控系统的结构分层

建立基于 IEC 61850 标准的微电网监控系统,首先需要建立与数字化变电站一一对应的微电网监控系统

分层。图2给出了一种基于多代理技术微电网控制策略的微电网监控系统图。图2中的本地控制中心和主控中心可以根据微电网规模的大小来选择配置,当微电网规模较小时可以合二为一,图中还给出了微电网监控系统过程层、间隔层和变电站的对应关系。

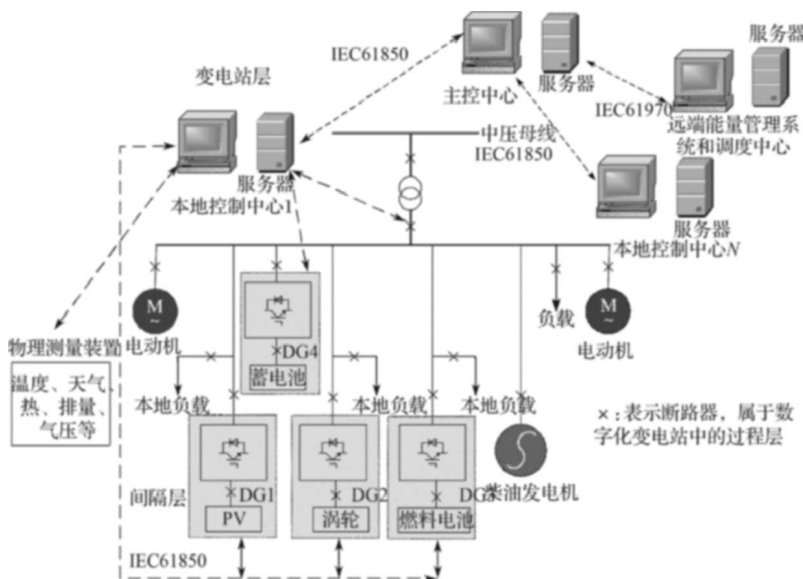


图2 微电网监控系统结构图

Fig. 2 The configuration figure of microgrid monitoring system

在微电网中,各个分布式电源是通过电力电子接口并网的,并必须具有完整的数据采集、保护、控制功能,还具有一定的数据储存能力。每个分布式电源可以直接接受本地控制中心的工作指令,因此可以把分布式电源看成一个完整的间隔层,直接与控制中心接口。微电网中的传统智能设备分层与数字化变电站一致。主控中心是微电网对外的通信接口,是实现智能大电网调度、分配微电网出力的关键。过程层主要是指传感器等传感设备和断路器等执行元件。

2 微电网信息模型

2.1 IEC 61850 建模方法概述

在IEC 61850标准中使用了面向对象的统一建模技术和独立于网络结构的抽象服务接口(Abstract Communication Service Interface ,简称ACSI) ,具有很好的自描述能力和网络适应能力。IEC 61850标准建立了完整的分层数据对象模型 ,并且提供了不同装置设备的建模及其具体映射方法。

信息模型是依据变电站自动化系统的各个功能来具体划分的, IEC 61850-7-1对信息模型的建立进行了具体的描述, 建模一般采用自上而下的方法分为服务、逻辑设备和逻辑节点三步^[8-9]。在具体建模过程时, 首先将具有某些特殊功能的物理设备依据其所包含的具体

功能数划分为几个服务模型；然后再找出具有该功能的逻辑设备所包含的逻辑节点和数据集建立逻辑设备模型；最后建立各个逻辑节点的数据模型。

2.2 微电网信息模型的建立

微电网信息模型是建立具有互操作性和设备互换性的微电网监控系统的关键。依据 IEC 61850 信息模型的建立方法建立微电网信息模型，首先需要明确微电网内各物理设备的服务类型、定义微电网系统的逻辑设备和逻辑节点。

2.2.1 微电网服务模式

微电网系统与数字化变电站不同的主要物理设备有：物理量量测设备、一次能量转换设备和并网发电设备。其中物理量量测设备可以按照采样值传输的客户/服务器服务模式建立信息模型；一次能量转换装置可根据各自的转换原理建立变电站事件的客户/服务器信息模型或采样值传输的客户/服务器信息模型；并网发电转换装置按照其功能的不同需要建立采样值传输的客户/服务器信息模型和变电站事件的客户/服务器信息模型，其中采样值传输模型主要是向本地控制中心传输电能质量参数、开关状态和当前发电的一些有效信息，变电站事件模型主要是传输控制中心对并网发电转换装置的操作指令。

2.2.2 微电网的逻辑设备

微电网中的分布式电源通常是将太阳能、风能、地热能等可再生能源转化成电能再经过电力电子装置并网的，IEC 61850-7-402 中依据分布式电源并网发电的特性对微电网系统中与分布式电源相关的逻辑设备进行定义，具体如图 3 所示^[5]。图 3 中的能量转换器可以细分成微型燃气轮机、燃料电池、光伏系统、风轮机、柴油发电机、燃气轮机等多个逻辑设备，各个逻辑设备因为能源的转换方式不同所包含的逻辑节点和数据也不同；变流装置包括直流到交流、变频、电压等级转换等多种；蓄能设备包括电池、水泵 超导蓄能装置、飞轮、

微型飞轮等多种。微电网系统为了充分利用风电、太阳能发电等间歇性发电的可再生能源发电，需要对分布式发电电源进行发电预测，以便微网能量管理系统制定能量管理策略，保证微电网系统可靠运行。因此微电网系统需要特定的物理测量装置对天气、温度、流量、排量、热等物理量进行测量。

2.2.3 微电网逻辑节点和数据

微电网中逻辑节点和包含在逻辑节点内的数据是描述微电网实际系统和它们功能的基础，是建立微电网信息模型的基础 IEC 61850-7-402 将图 3 中各种逻辑设备定义约 40 种逻辑节点，并对每个逻辑节点的数据属性进行了具体定义。IEC 61850-7 中还定义了数字化变电站中的约 80 种逻辑节点，每个逻辑节点模型由代表应用特定意义的若干数据 (Data) 组成，因此在建立微电网逻辑节点模型时需要做到以下几点：

(1) 依据 IEC 61850-5 对需要建模的设备进行功能描述，分析其抽象服务接口所设计的具体数据类型及其属性；

(2) 将按照第 (1) 点确定的设备功能分解为 IEC 61850-7-4 规定的逻辑节点 (Logical Node, 简称 LN)，确定待建模设备的核心逻辑节点；

(3) 依据待建模设备的特点，对各 LN 的数据及其数据属性 (Data Attribute, 简称 DA) (在 IEC 61850-7-3 有具体的说明) 中的可选项进行取舍。

3 光伏微电网关键设备信息模型

微电网中由于一次分布式发电能源的不同，能源转换原理和发电设备差异性较大，本文以光伏微电网为例，详细分析了微电网各逻辑设备信息模型的建立方法，采用 IEC 61850 的信息建模方法，建立了环境监测仪、光伏发电系统一次能量转换系统和光伏逆变器 etc 光伏微电网关键设备的信息模型。

3.1 环境监测仪的信息模型

光伏微电网中需要测量的主要物理量是温度、光照、风向、风力等环境条件数据，因此通常使用环境监测仪来作为光伏微电网的物理量量测设备。环境监测仪把微电网区域内的温度、光照、风向、风力等环境条件数据经过特定物理传输介质送达本地控制中心。依据 IEC 61850 规定的建模方法和采样测量值传输模型，对环境监测仪建立的信息模型如图 4 所示^[10-11]。图中数据集 (Data-Set) 是对环境监测仪中的 7 个环境监测量逻辑节点的数据对象及其属性的集聚。由于数据属性的不可确定性，图中的 Data-Set 里仅包括了逻辑节点及其数据对象。采样值信息模型中的采样速率在采样值控

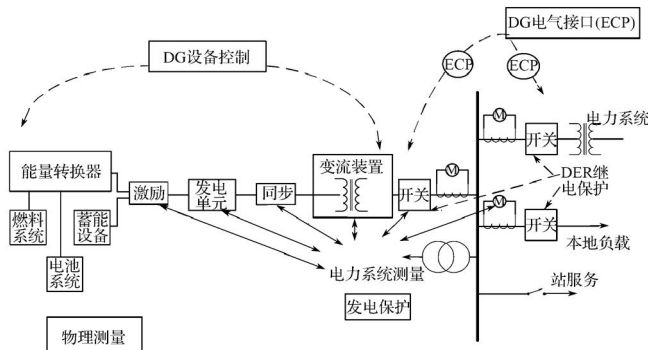


图 3 分布式电源系统逻辑设备框图

Fig.3 Logical devices for distributed energy resource (DER) systems

制块中预定义,且定义完毕后一般不允许修改(可根据需要取值)。通信地址的默认值是广播MAC地址。光伏发电系统中的环境监测仪只需要温度节点和天气节点的测量信息,因此在图4所示的模型中可以只包括这两个逻辑节点的数据集。

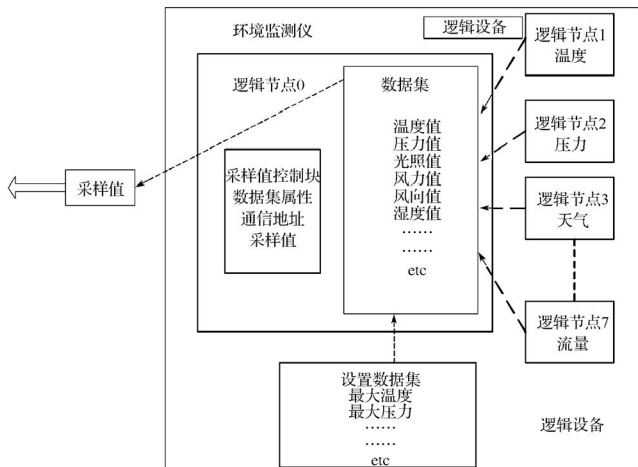


图4 环境测量仪信息模型

Fig.4 The communication model of environment monitoring

3.2 光伏系统一次能量转换系统信息模型

IEC 61850-7-402标准规定了光伏发电系统的一次能量转换系统包括光伏阵列(DPVE)、光伏阵列控制(DPVC)和追日跟踪控制(DTRC)3个逻辑节点^[4]。光伏发电系统中最大功率输出跟踪(MPPT)技术通过光伏逆变器来实现,追日控制技术通过光伏阵列安装结构来实现。因此,需要构建MPPT和追日系统两个信息模型。IEC 61850-7-402标准对DPVE、DPVC、DTRC逻辑节点的数据属性和数据做了具体规定^[5]。IEC 61850定义的通用变电站事件模型(GSE)如图5所示。GSE提供了一个高效的方法,利用多路广播/广播服务向多个物理设备同时传输同一个通用变电站事件信息,它包括两种控制类和报文结构:面向通用对象的变电站事件(GOOSE)支持由Data-Set组成的公共数据的交换;通用变电站状态事件(GSSE)传输状态变化信息(双比特)^[9-10]。

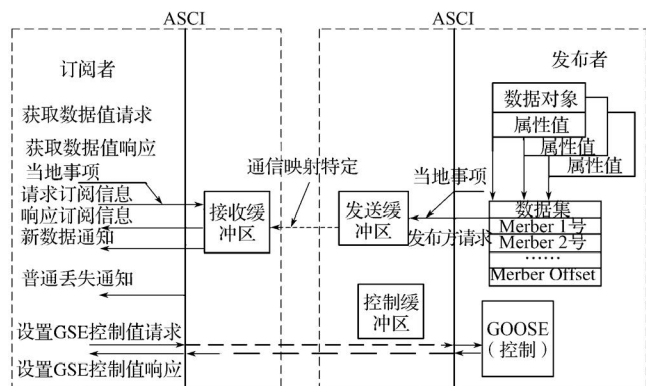


图5 GSE模型

Fig.5 GSE Model

光伏发电系统一次能量转换装置依据GSE模型和DPVC、DTRC逻辑节点的数据属性和数据定义,采用GOOSE报文可建立MPPT和追日系统信息模型。

3.3 光伏逆变器信息模型

光伏逆变器包括的逻辑节点有YINV(逆变器)、MMXN(DC输入测量)、MMXU(AC输出测量)及发电保护装置^[5]。满足国家DG并网标准和IEEE 1547等国际标准的光伏逆变器一般都带有过流、欠压、过压、过热、防孤岛等保护功能。因此在建立逆变器信息模型时,首先需要依据IEC 61850-9-2标准建立一个采样值传输模型(图6)。该模型的数据集包括MMXN、MMXU逻辑节点数据以及发电保护逻辑节点数据。

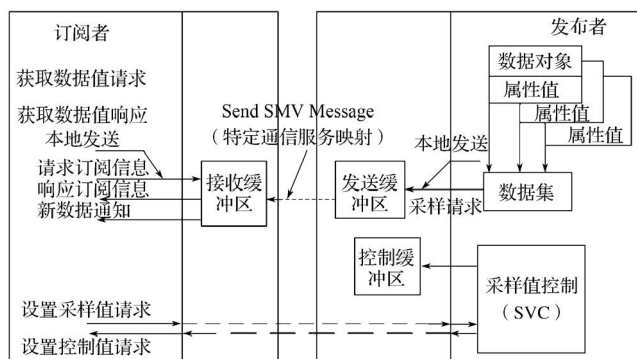


图6 采样测量值传输模型

Fig.6 Transmission model of sampled and measured values

YINV节点采用使用GOOSE报文的GSE双向信息模型(图5)。该信息模型的数据集中必须包括以下数据:通用逻辑节点信息、状态信息、测量值、控制设定(包括控制策略选定)和初始化设置。微电网控制中心或本地控制中心可以通过修改某一光伏逆变器的控制设定值来改变其出力、有功无功分配以及控制策略等。

4 结语

本文建立了基于IEC 61850标准、采用UML建模语言、可以与基于IEC 61970的离线能量管理系统实现实时通信的实时在线微电网监控系统模型,实现了微电网内不同厂商之间的设备互换性和互操作性,对于微电网的产业化发展和智能电网的发展具有积极的推动作用,是微电网监控系统未来发展的方向和微电网应用的理论基础。

参考文献:

- [1] 茆美琴,丁明,张榴晨,等.多能源发电微电网试验平台及其能量管理信息集成[J].电力系统自动化,2010,34(1):106-111.
- [2] PIAGI P, LASSETER R H. Autonomous control of microgrids [C]/Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. Mont real, 2006: 18-22.

4 工程应用效果

宜万电气化铁路末端网压提升装置于2010年12月投运,如图5所示,户外放置的是集合式电容器、电抗器和晶闸管阀室等,这是国内首套用于电气化铁路供电臂末端进行网压提升的TCR型动态无功补偿装置。该装置投运后,在SS4型机车双机上坡运行工况下,可将供电臂网压抬高2.5 kV;在轻负荷(SS9型机车双机、动车组重联)或无负荷条件下,使供电臂末端网压不高于牵引变电所母线额定电压;同时供电系统月平均功率因数保持在0.99以上,如表1所示。



图5 网压提升装置现场图

Fig. 5 Field diagram of grid-voltage improving equipment

表1 补偿前后电压和功率因数的对比

Tab. 1 Contrast of the voltage and power factor before and after compensation

名称	补偿前	补偿后
重载时,供电臂末端电压/kV	19.5	22
空载时,供电臂末端电压/kV	29	29
月平均功率因数	0.82	0.99

(上接第34页)

[6] Hu Jiabing, He Yikang. Modeling and enhanced control of DFIG under unbalanced grid voltage conditions[J]. Electronic Power Systems Research, 2009, 79(2): 273-281.

[7] Remus Teodorescu, Frede Blaabjerg. Flexible Control of Small Wind Turbines With Grid Failure Detection Operating in Stand-Alone and Grid-Connected Mode[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(5): 1323-1332.

[8] Lie Xu, Andersen B R, Cartwright P. VSC Transmission System Operation Under Unbalanced Network Condition-Analysis and Control Design[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2005, 20(1): 427-434.

[9] 张兴,陈玲,杨淑英,等. 离网型小型风力发电系统逆变器的控制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(23): 95-98.

[10] 林金燕,王正仕,陈辉明,等. 一种高性能三相四桥臂逆变器控制器的设计[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 101-105.

[11] 曾嵘,年珩. 离网型风力发电系统逆变器控制技术研究[J]. 电力电子技术, 2010, 44(6): 5-6.

5 结语

本文理论分析了供电臂末端电压偏低的主要原因,探讨了在供电臂末端进行补偿的优越性,提出了在供电臂末端装设TCR型动态无功补偿装置的方法来提升末端网压,并对该方案的原理、特点、实施策略和效果进行了阐述。投运效果表明:直挂式TCR装置和FC装置相互配合,可以实现对负荷无功电流的就地动态补偿,负荷无功电流在最短距离内得到平衡、线损最小,稳定了牵引网电压;重载时将供电臂末端电压提升了2.5 kV,系统功率因数保持在0.99以上;同时,FC装置滤除了线路中的谐波,提高了系统的电能质量,保证了线路的通过能力,提高了经济效益。

参考文献:

[1] 吴凤娟. 重载铁路牵引供电系统改造方案浅析[J]. 铁道标准设计, 2005(12): 85-87.

[2] 武玉明,张春燕. 牵引网电压过低的解决方案[J]. 电气化铁道, 2006(4): 14-16.

[3] 林忠良. 晶闸管投切电容器装置在川黔线改造中的应用[J]. 电气化铁道, 1999(2): 14-15.

[4] 李春清,王志刚,范中,等. 大秦线延庆一下庄供电臂电压偏低的解决方案[J]. 电气化铁道, 2004(5): 14-17.

[5] 孔德兵,阮彦斌. 线路无功流向与首末端电压的关系[J]. 云南电力技术, 2009, 37(6): 15-17.

(上接第29页)

[3] 李志勇,冯江华. 智能型光伏微电网及其N+1控制模式研究[J]. 大功率变流技术, 2010(5): 29-32.

[4] 任雁铭,秦立军,杨奇逊. IEC61850通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.

[5] IEC 61850-7-420 Communications Systems for Distributed Energy Resource(DER): Logical Nodes (Draft for Vote) [S], 2006.

[6] 王磊. 电子式电流互感器数字接口研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2006.

[7] 国家电网公司科技部. 国家电网公司数字化变电站技术研讨会会议资料[M]. 北京:中国电力出版社, 2006.

[8] IEC61850 Communication Networks and Systems in Substation: Part 7-1: Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment—Principles and Models[S], 2006.

[9] 黄灿英. 基于IEC61850标准的合并单元的研制[D]. 西安:西安科技大学, 2008.

[10] IEC61850 Communication Networks and Systems in Substation: Part 7-2: Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment—Abstract Communication Service Interface[S], 2006.

[11] IEC61850 Communication Networks and Systems in Substations: Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) mapping to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3[S], 2006.