



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20514—2006/IEC 61683:1999

---

## 光伏系统功率调节器效率测量程序

Photovoltaic systems—Power conditioners—  
Procedure for measuring efficiency

(IEC 61683:1999, IDT)

2006-08-25 发布

2007-02-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 ·	· II
引言 ·	· III
1 范围 ·	· 1
2 规范性引用文件 ·	· 1
3 术语和定义 ·	· 1
3.1 额定输出效率 ·	· 1
3.2 部分输出效率 ·	· 1
3.3 能量效率 ·	· 1
3.4 效率容差 ·	· 1
3.5 PV 方阵模拟器 ·	· 1
3.6 空载损耗 ·	· 1
3.7 待机损耗 ·	· 1
3.8 最大功率跟踪(MPPT) ·	· 2
4 效率测量条件 ·	· 2
4.1 试验用直流电源 ·	· 2
4.2 温度 ·	· 2
4.3 输出电压和频率 ·	· 2
4.4 输入电压 ·	· 2
4.5 纹波和失真 ·	· 2
4.6 电阻性负载/电网 ·	· 3
4.7 非电阻性负载 ·	· 3
4.8 非线性电阻性负载 ·	· 3
4.9 混合性负载 ·	· 3
5 效率计算 ·	· 3
5.1 额定效率 ·	· 3
5.2 部分输出效率 ·	· 3
5.3 能量效率 ·	· 3
5.4 效率容差 ·	· 4
6 效率试验电路 ·	· 4
6.1 试验电路 ·	· 4
6.2 测量程序 ·	· 4
7 损耗测量 ·	· 4
7.1 空载损耗 ·	· 4
7.2 待机损耗 ·	· 5
附录 A(资料性附录) 功率调节器说明 ·	· 6
附录 B(资料性附录) 功率效率和变换因数 ·	· 8
附录 C(资料性附录) 加权平均能量效率 ·	· 10
附录 D(资料性附录) 表 2 中效率容差的推导 ·	· 12

## 前 言

本标准等同采用 IEC 61683:1999《光伏系统功率调节器效率测量程序》(英文版)。

为了便于使用,本标准做了下列编辑性修改:

- a) 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”;
- b) 删除国际标准的前言。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准由中华人民共和国信息产业部提出。

本标准由全国太阳光伏能源系统标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:北京日佳电源有限公司、内蒙古大学。

本标准主要起草人:杨鸿雁、季秉厚。

## 引 言

在功率调节器的主要特征参数中,效率是一个重要参数。为功率调节器的效率测量规范统一的标准程序,对其在光伏系统中的广泛应用和提升标称效率的可靠性是十分必要的。

一般来说,功率调节器效率受下列参数的影响:

- 功率大小;
- 输入电压;
- 输出电压;
- 功率因数;
- 谐波分量;
- 负载非线性度;
- 温度。

这些参数被认为明确地或隐含地包含在本标准的测试条件中。

本标准的目的是提供一种在制造厂通过直接测量输入输出功率的大小来评估功率调节器效率的方法。因此,一些间接项目比如考核最大功率跟踪精度的内容是不在本标准范围内的,它们将在以后由相关的 IEC 标准来解决。

## 光伏系统功率调节器效率测量程序

### 1 范围

本标准规定了在独立和并网光伏系统中功率调节器效率的测量方法,其中功率调节器的输出是一定频率的稳定交流电压或者是稳定的直流电压。这个效率是在制造厂通过直接测量输入输出功率的大小而计算出来的。本标准也适用于包括隔离变压器的情况。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

IEC 60146-1-1:1991 半导体变流器 一般要求和线性变换器 第1-1节:基本要求

### 3 术语和定义

本标准给出了以下术语和定义,所有的效率术语和定义只适用于考虑电力变换,不考虑任何热变换过程。以上规范性引用标准中包含有其他术语和定义。

附录 A 给出了功率调节器的定义,附录 B 给出了功率效率和变换因数的定义。

#### 3.1

**额定输出效率** **rated output efficiency**

功率调节器工作在额定输出时的输出功率和输入功率之比。

#### 3.2

**部分输出效率** **partial output efficiency**

功率调节器工作在额定输出以下时的输出功率和输入功率之比。

#### 3.3

**能量效率** **energy efficiency**

在确定测试期间输出能量和输入能量之比。

#### 3.4

**效率容差** **efficiency tolerance**

在制造商提供的效率值和测量的效率值之间可容许的偏差。

#### 3.5

**PV 方阵模拟器** **PV array simulator**

与 PV 方阵具有相同  $I-V$  特性的模拟器。

#### 3.6

**空载损耗** **no-load loss**

功率调节器的输出没与负载连接或输出功率为零时的输入功率。

#### 3.7

**待机损耗** **standby loss**

对于并网型功率调节器,待机损耗指功率调节器在待机模式下电网损耗的功率。对于独立型功率调节器,待机损耗指在待机模式下功率调节器的直流输入功率。

## 3.8

**最大功率跟踪(MPPT) maximum power point tracking; MPPT**

用于实现功率调节器的输入电压始终位于或接近 PV 方阵最大功率点的控制方法。

## 4 效率测量条件

效率应在下列条款和表 1 所描述的条件下进行测量,当某些特殊条件处于制造商可操作范围之外时,可通过协商而不予考虑。最终的测量结果应以表格形式列出,也可用图形表示。

注:例如,独立型功率调节器典型设计成能够短时承受明显高于额定功率的特性,若在其额定容量的 120% 处进行测量,则可以得到一个在此条件下测量功率调节器的结果,但一些功率调节器没有设计能提供超过额定输出的特性,若仍在其额定容量的 120% 处进行测量,功率调节器将被损坏。因此,测量文件中应注明测量尽可能不要超出功率调节器的限制。

表 1 效率测量记录表

输入电压: \_\_\_\_\_ (± \_\_\_\_\_ V)

负载率(额定 VA 百分比%)	5	10	25	50	75	100	120
并网型 电阻性负载	—	( <sup>a</sup> )	( )	( )	( )	( )	( )
独立型 电阻性负载	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
非电阻性负载							
PF=0.25 或最小	—	—	( )	( )	—	( )	—
PF=0.50 (>最小)	—	—	( )	( )	—	( )	—
PF=0.75 (>最小)	—	—	( )	( )	—	( )	—
非线性负载							
NL=额定 VA 的 25%	—	—	( )	( )	—	( )	—
NL=额定 VA 的 50%	—	—	—	( )	—	( )	—
混合性负载	—	—	—	( )	—	( )	—

<sup>a</sup> 符号( )表示试验的一个条件。

## 4.1 试验用直流电源

对运行在固定输入电压下的功率调节器,其试验用直流电源应是蓄电池或可维持输入电压的稳压电源。

对带有最大功率跟踪(MPPT)控制和逐级控制的功率调节器,其试验用直流电源应是一组 PV 方阵或 PV 方阵模拟器。

## 4.2 温度

所有的测量都应在环境温度为  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的条件下进行。也允许在经协商的其他环境温度条件下进行,但必须在所有文件中明确地记录。

## 4.3 输出电压和频率

输出电压和频率应维持在制造商标明的标称值上。

## 4.4 输入电压

每一项测量都应在以下三个功率调节器输入电压的条件下进行:

- 制造商规定的最小输入电压;
- 逆变器的标称电压或额定输入电压范围的平均值;
- 逆变器最大输入电压的 90% 值。

在功率调节器的输入端有蓄电池连接的情况下,则只使用标称或额定输入电压。

## 4.5 纹波和失真

记录每一次测量的输入电压和电流纹波,同时记录输出电压和电流失真(对于交流)或纹波(对于直

流),应确保这些测量是在制造商规定的指标内。注意在低功率时纹波和失真可能没有被规定,但其测量结果也必须记录。

#### 4.6 电阻性负载/电网

对具有单位功率因数或不带功率因数调节且具有固定功率因数的并网逆变器,在逆变器额定功率的10%、25%、50%、75%、100%和120%时进行效率测量。对独立型逆变器还应测量到额定功率5%的水平。功率调节器的试验应在规定的电阻性和非电阻性阻抗网络下进行。

#### 4.7 非电阻性负载

仅对于独立型逆变器,在相当于制造商规定的最小功率因数(或0.25,取值大者)和功率为额定值的25%、50%、100%的负载条件下进行效率测量。并在功率因数为0.5和0.75(不低于制造商规定的最小PF),负载功率额定值的25%、50%、100%的条件下进行效率测量。

#### 4.8 非线性电阻性负载

对于独立型逆变器,在相当于逆变器额定容量(25±5)%的固定非线性负载[总失真度(THD)=(80±5)%]并联加上足够的电阻性负载使总负载为额定值的25%、50%、100%的条件下进行效率测量。在相当于逆变器额定功率(50±5)%的固定非线性负载并联加上足够的电阻性负载使总负载为额定值的50%、100%的条件下进行效率测量。在所有的文件中必须清楚地标明非线性负载的类型。

#### 4.9 混合性负载

对于独立型逆变器规定了在非线性加足够的非电阻性负载条件下,相当于逆变器额定功率(50±5)%的固定非线性负载[总失真度(THD)=(80±5)%]并联加上足够的非电阻性负载(PF=0.5)使总负载为额定值的50%、100%时进行效率测量。在所有的文件中必须清楚地标明混合性负载的类型。

### 5 效率计算

#### 5.1 额定效率

额定效率由测量数据经以下公式计算:

$$\eta_R = (P_o/P_i) \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$\eta_R$ ——额定效率(%);

$P_o$ ——功率调节器的额定输出功率,单位为千瓦(kW);

$P_i$ ——功率调节器在额定输出功率时的输入功率,单位为千瓦(kW)。

注:任何辅助的输入功率(kW),比如逆变器的控制系统(或门极驱动)应包括在公式(1) $P_i$ 中。

#### 5.2 部分输出效率

部分输出效率由测量数据由以下公式计算:

$$\eta_{par} = (P_{op}/P_{ip}) \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$\eta_{par}$ ——部分输出效率(%);

$P_{op}$ ——功率调节器的部分输出功率,单位为千瓦(kW);

$P_{ip}$ ——功率调节器在部分输出功率时的输入功率,单位为千瓦(kW)。

注:任何辅助的输入功率(kW),比如逆变器的控制系统(或门极驱动)应包括在公式(2) $P_{ip}$ 中。

#### 5.3 能量效率

能量效率由测量数据经以下公式计算:

$$\eta_E = (W_o/W_i) \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$\eta_E$ ——能量效率(%);

$W_o$ ——规定测试期间的输出能量,单位为千瓦(kWh);

$W_i$ ——规定测试期间的输入能量,单位为千瓦(kWh)。

注1:测试期间和负载状态由用户和制造商协商确定。

注2:任何辅助的输入能量(kWh),比如逆变器的控制系统(或门极驱动)应包括在公式(3) $W_i$ 中。

注3:附录C中说明了可用加权平均能量效率  $\eta_{WT}$  代替能量效率。

5.4 效率容差

当提出保证效率时,效率容差值在额定条件下应满足表2所列的值。

表2 效率容差

条 目	容 差	备 注
功率调节器效率	$-0.2(1-\eta)\eta(\%)$	$\eta$ : 保证效率
注:在附录D中推导出了效率容差,见 IEC 60146-1-1:1991 的 4.3。容差相当于每单位损失+0.2,最小效率容差为每单位-0.002。		

6 效率试验电路

6.1 试验电路

图1是单相交流输出或直流输出的功率调节器的推荐试验电路,也被做为多相功率调节器的分段单相试验电路。

图1a)和图1b)分别适用于独立型和并网型功率调节器。

图1建议的电路不是强制性的,是在用户和制造商之间为描述试验而人为建立的一个约定。

所有试验的功率源要指明类型,并且符合4.1的要求。

6.2 测量程序

- a) 效率是利用测量的  $P_o, P_i$  或  $P_{op}, P_{ip}$  通过公式(1)或公式(2)计算得到的。直流输入功率  $P_o, P_i$  由功率表  $W_1$  直接测量或通过直流电压表  $V_1$  和直流电流表  $A_1$  读数相乘得到,输出功率由功率表  $W_2$  直接测量得到。
- b) 在规定范围内改变直流输入电压,其值用直流电压表  $V_1$  测量,使输出电流从低到额定值变化,其值用交流电流表  $A_2$  测量。
- c) 直流电压表和直流电流表要求是平均值指示型,交流电压表和交流电流表要求是有效值指示型,功率表  $W_1$  为直流型,功率表  $W_2$  根据输出决定是交流型还是直流型。
- d) 功率因数(PF的百分比表示)可直接用功率因数表 PF 测量,也可通过  $V_2, A_2, W_2$  的读数由下列公式计算而得。

$$PF = [W_2 / (V_2 \times A_2)] \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

- e) 每个测量仪表可以是模拟式的也可以是数字式的,测量精度在全刻度范围内应不低于0.5级。推荐用数字式功率仪器测量  $W_1$  和  $W_2$ 。
- f) MPPT 是动态调整输入电压使输出功率最大化,因此原则上要求在 MPPT 调整期间,监测设备要同时对所有的电气参数采样,如输入电压和电流,输出功率和电流。如果 MPPT 和输入源(PV 方阵或 PV 方阵模拟器)使输入电压变化不到5%,则使用读数的平均值也是可接受的,读数的平均时段为30s或更长。

7 损耗测量

7.1 空载损耗

空载损耗按以下方法测量。

对独立型功率调节器,通过图1a)中的  $V_1, V_2$  和 F 读出输入直流电压、输出电压和频率值,并分别调节使其达到额定值。



空载损耗就是这时将负载与功率调节器断开,直流输入功率表  $W_1$  的指示值。

对并网型功率调节器,读图 1b)中的直流输入电压表  $V_1$ ,交流输出电压表  $V_2$  和频率表  $F$ ,输出电压和频率将被调节到规定值。

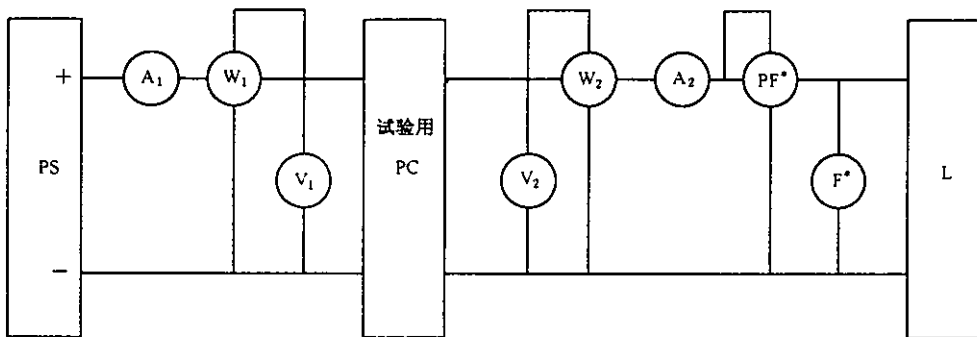
空载损耗就是当交流功率表  $W_2$  指示为零时,直流输入功率表  $W_1$  的指示值。为了测量,如果可行允许等待功率调节器出现空载运行状态。

### 7.2 待机损耗

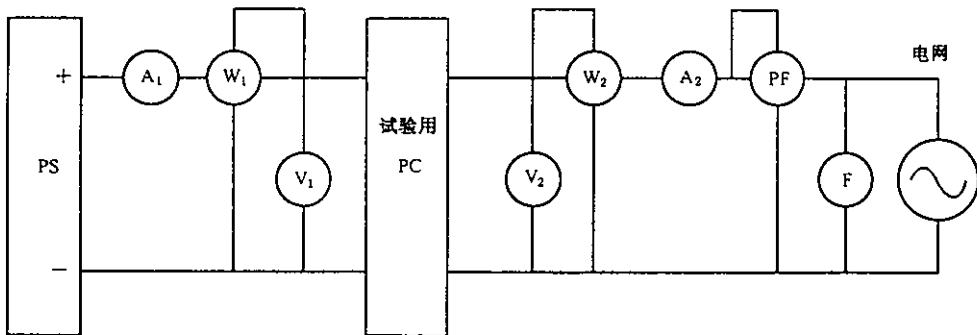
待机损耗按以下方法测量。

对于并网型功率调节器,待机损耗被定义为功率调节器在待机条件下无操作时电网的能耗。图 1b)中待机损耗就是在交流输出为额定电压时交流功率表  $W_2$  的指示值。

对于独立型功率调节器,待机损耗被定义为功率调节器在待机条件下无操作时从直流源吸收的能量。图 1a)中待机损耗就是在无交流或直流输出电压时直流功率表  $W_1$  的指示值。



a) 独立型功率调节器



b) 并网型功率调节器

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| PC——功率调节器;        | L——负载;            |
| PS——电压电流可变的直流功率源; | F——频率表;           |
| $A_1$ ——直流安培表;    | $V_1$ ——直流电压表;    |
| $A_2$ ——交流或直流安培表; | $V_2$ ——交流或直流电压表; |
| $W_1$ ——直流功率表;    | PF——功率因数表。        |
| $W_2$ ——交流或直流功率表; |                   |

注 1: 受直流电源的内部阻抗影响的直流输入电压和电流的纹波变化,可由用户与制造商之间协商确定。例如,阻抗可以选择在 PV 方阵  $I-V$  曲线上工作点处的电压电流变化率  $\Delta V/\Delta I$ 。功率调节器包含有 MPPT 时,推荐使用 PV 方阵模拟器做为直流源。

注 2: 在直流输出的情况下,频率表  $F$  和功率因数表  $PF$  是不需要的。

图 1 功率调节器试验电路

附录 A  
(资料性附录)  
功率调节器说明

功率调节器的定义在 IEC 61277 中给出。

有些类型的光伏系统结构与其设计目的和大小有关。图 A.1 表示的是 IEC 61277 中的典型系统结构。在图 A.1 中，虚线框内为功率调节器，功率调节器可以由下列一个或多个部分组成：直流调节器、DC/DC 接口、逆变器、AC/AC 接口、AC 并网接口、主控部分和监视(MCM)子系统，箭头表示的是功率流向。当 PV 系统带有一个直流储能子系统时，储能装置和方阵与功率调节器的输入并行连接（见图 A.2 和图 A.3）。

通常条件下，当系统与电网连接(并网型)或与交流负载(独立型)连接时，功率调节器输出交流电压和频率是恒定值。但当交流负载中包括泵或带有变速感应电动机的鼓风机时，则输出交流电压和频率是可变化的。

在本标准中，只包含交流输出电压和频率恒定的系统和直流输出的系统。图 A.2 和 A.3 表示了本标准描述的 PV 系统和功率调节器的结构。

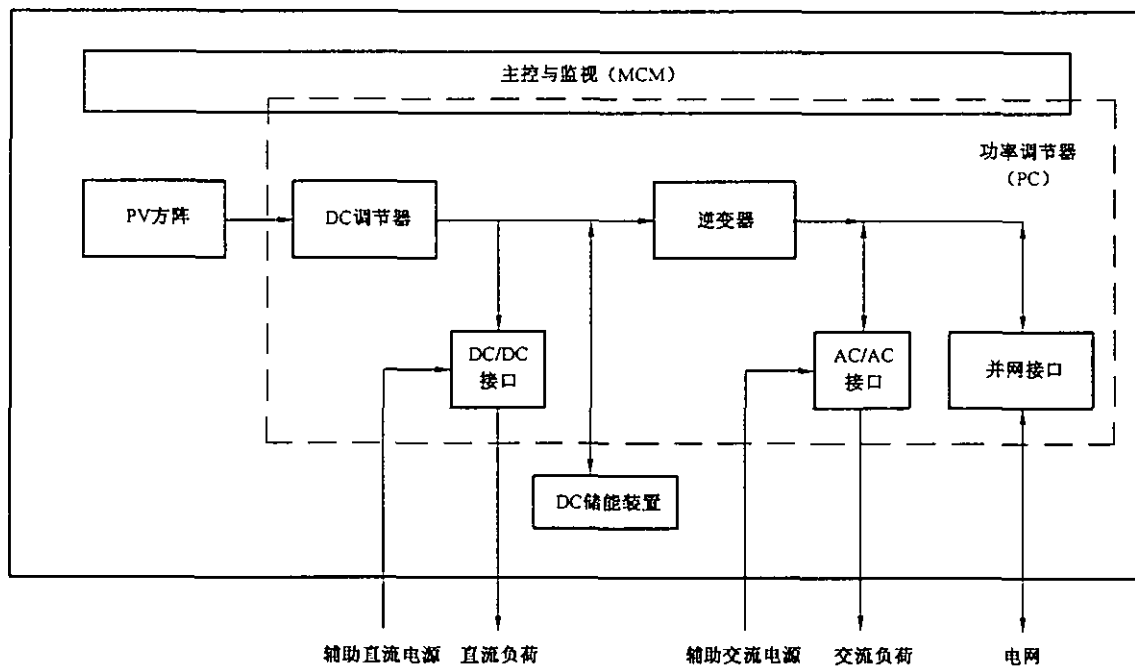


图 A.1 PV 系统的主要子系统和功率流向框图

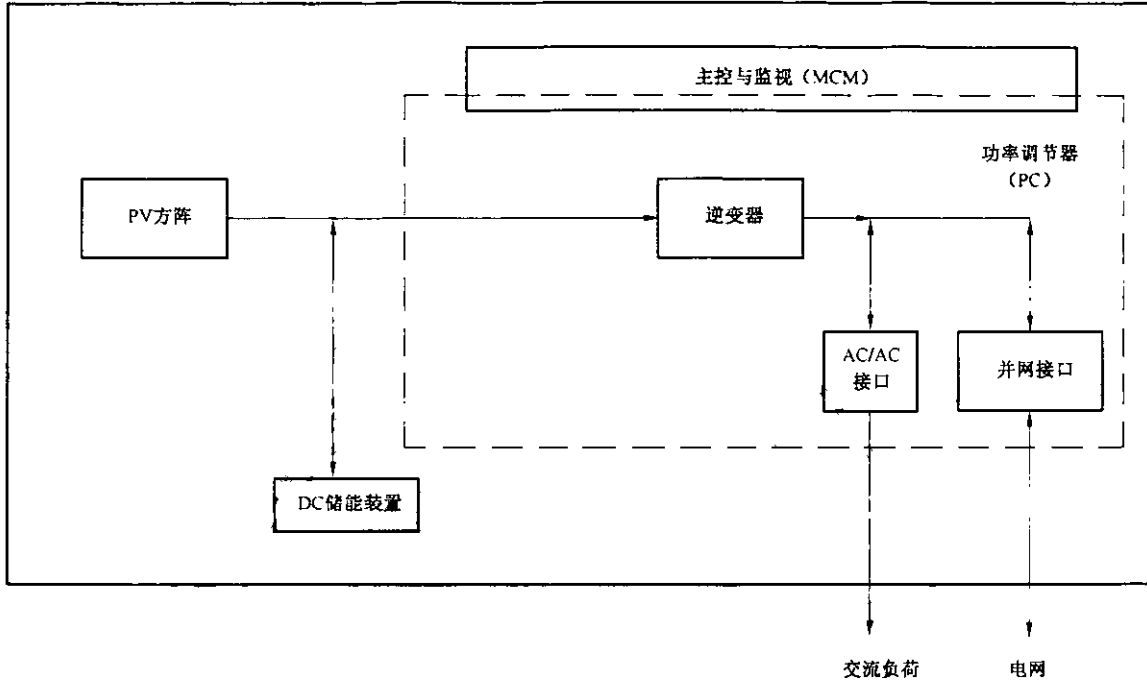


图 A.2 效率测量中带有交流输出的功率调节器结构

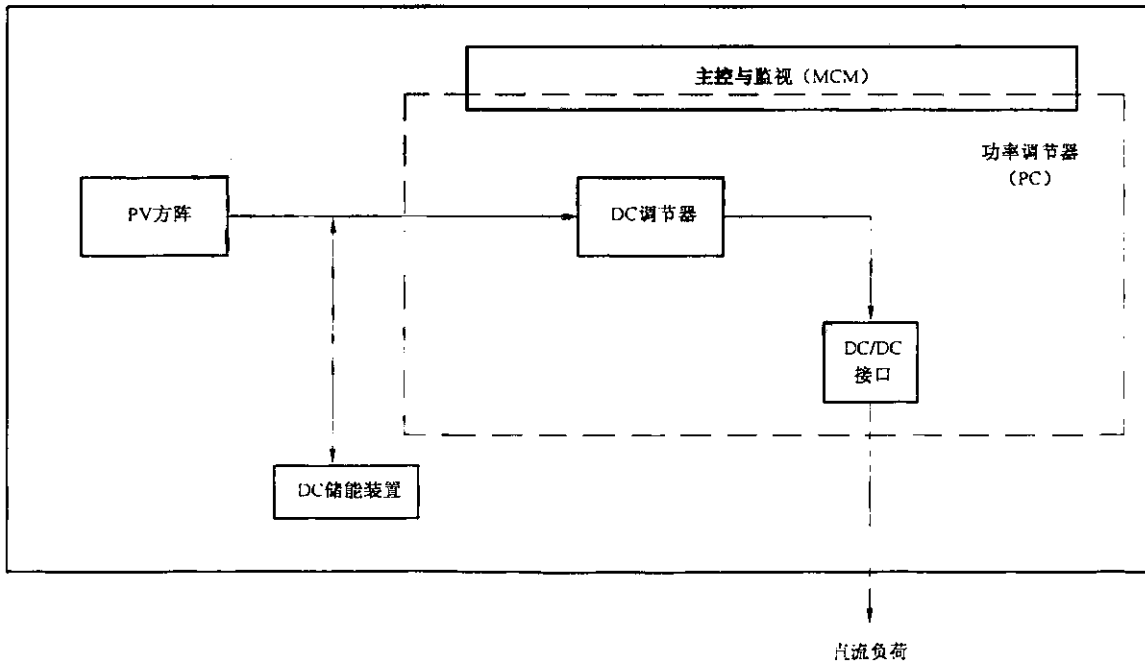


图 A.3 效率测量中带有直流输出的功率调节器结构

**附录 B**  
(资料性附录)  
**功率效率和变换因数**

在 IEC 60146-2 中,效率有两种表达形式,一种是功率效率,一种是变换因数。功率效率定义为输出有功功率和输入有功功率之比。变换因数定义为输出与输入的基本功率之比。两个参数的表达式如下:

$$\eta_P = (P_{sAC}/P_{sDC}) \times 100(\%)$$

$$\eta_C = (P_{fAC}/P_{fDC}) \times 100(\%)$$

式中:

- $\eta_P$ ——功率效率;
- $P_{sAC}$ ——交流有功功率;
- $P_{sDC}$ ——直流有功功率;
- $\eta_C$ ——变换因数;
- $P_{fAC}$ ——交流基本功率;
- $P_{fDC}$ ——直流平均功率(平均电压×平均电流)。

有功功率  $P_s$  的表达式为:

$$P_s = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt \quad \text{或} \quad = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)dt$$

式中:


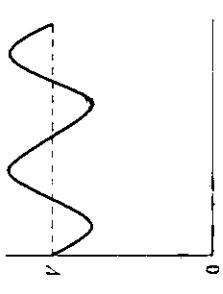
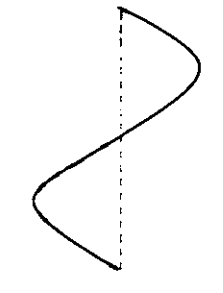
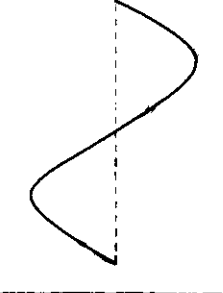
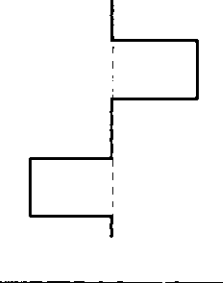
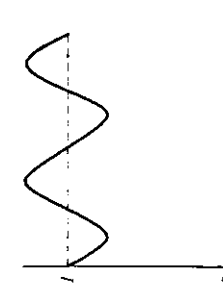
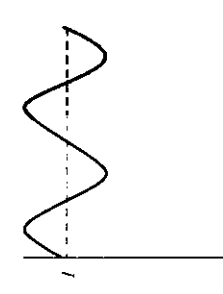
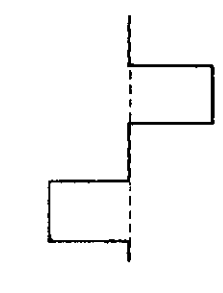
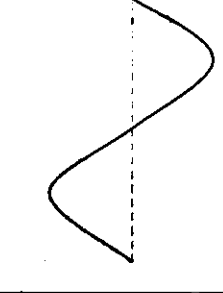
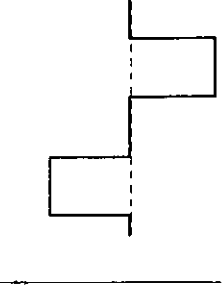
- $v(t)$ ——瞬时电压值;
- $p(t)$ ——瞬时功率值;
- $i(t)$ ——瞬时电流值;
- $T$ ——测量周期。

两种效率参数之间的根本差别在于对谐波分量计算的不同,IEC 60146 把它们统一作为功率效率。它们的差别取决于如表 B.1 中所示的电压和电流的波形,仅在情形 5 时是有意义的。考虑到制定标准的目的和表 B.1 图示的情况,通常把功率效率作为功率调节器的效率。

如表 B.1 所示,情形 2 或情形 4,当直流电压和电流的纹波都为 10%PP 或交流电压 5 次谐波分量为 2%,电流 5 次谐波分量为 5%时, $\eta_P$  和  $\eta_C$  的差别仅为 0.1%,这意味着实际上变换因数和功率效率是相同的。但是,应当注意到,对于情形 5 这样的方波来讲,通常使用功率效率,因为二者的差别是很大的,如例  $\eta_C/\eta_P=0.81$ 。

积分时间(一个周期) $T$  应为 30 s 或更长,功率调节器的效率结果应取平均功率效率值。

表 B.1 不同电压和电流波形下的功率效率  $\eta$  和变换因数  $\eta_c$

例子	DC 输入(情形 1)	DC 输入(情形 2)	AC 输出(情形 3)	AC 输出(情形 4)	AC 输出(情形 5)
电压波形					
电流波形					
条件	电压中不含纹波分量	电压和电流中含有反相的同等纹波分量(10%PP)	电压: 正弦波 电流: 方波(占空比 50%)	谐波分量: 电压: 5 次分量, 2% (r. m. s.) 电流: 5 次分量, 5% (r. m. s.)	电压和电流均为占空比 50% 的方波
$P_{AC}/P_{sAC}$	1.0	1.0	1.0	$1/(1+0.02 \times 0.05) \approx 0.999$	$(4/\pi^2)/0.5 = 0.81$
$P_{DC}/P_{sAC}$	1.0	$1/[1 - (0.1/2\sqrt{2})^2] = 1.001$	1.0	1.0	1.0
$\eta/\eta_c$	1.0	0.999	1.0	0.999	0.81
对比	$\eta = \eta_c$	$\eta < \eta_c$	$\eta = \eta_c$	$\eta \leq \eta_c$	$\eta < \eta_c$

注:  $\eta = P_{DC}/P_{DC} + \eta = P_{sAC}/P_{sAC} + \eta = (P_{AC}/P_{DC})/(P_{AC}/P_{sAC})$ .

**附 录 C**  
**(资料性附录)**  
**加权平均能量效率**

功率调节器的能量是取决于辐照度和负荷两个方面。

功率调节器的能量效率是计算在一定时期内(如一年或一个月),实际测量的输出与输入能量之比。作为参考,以下介绍一种利用加权平均能量效率估算能量效率的方法。

加权平均能量效率  $\eta_{WT}$  是通过每个功率水平值与相应的加权系数积的累加计算的。

当系统是无储能子系统的并网类型时,加权系数根据使用地区辐照度-时间曲线确定。

当系统是有储能子系统的独立类型时,加权系数根据负荷-时间曲线确定。

C.1 和 C.2 叙述了并网型系统和独立型系统  $\eta_{WT}$  的计算过程。

**C.1 并网型 PV 系统功率调节器的  $\eta_{WT}$**

对无储能设备的并网型 PV 系统,其转换的能量全部被接收。在这种情况下,由 PV 方阵产生的能量直接供给功率调节器(PC),几乎所有输入给 PC 的能量都转换成交流能量。其中损耗的部分即为 PC 损耗。

加权平均能量效率  $\eta_{WT}$ ,是一个计算全年能量效率的指标。其中,加权系数  $K_i$  对应每个输入能量水平。这里,辐照度被划分为若干个离散的值,我们把每段持续的时间用  $T_i$  表示,直流输入用  $P_{li}$  表示,输出功率用  $P_{oi}$  表示,对应每段  $i$  的 PC 效率用  $\eta_i$  表示,则  $\eta_{WT}$  由下列公式定义:

$$\eta_{WT} = \frac{\sum P_{oi} \times T_i}{\sum P_{li} \times T_i} = \frac{P_{l1} \times \eta_1 \times T_1 + \dots + P_{ln} \times \eta_n \times T_n}{P_{l1} \times T_1 + \dots + P_{ln} \times T_n}$$

$$= K_1 \times \eta_1 + K_2 \times \eta_2 + \dots + K_n \times \eta_n \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$$K_i = P_{li} \times T_i / \sum (P_{li} \times T_i)$$

$$\sum K_i = 1, i = 1, 2, 3 \dots$$

如果辐照度持续时间曲线如图 C.1 所示,式(C.1)可写为如下形式:

$$\eta_{WT} = \frac{1T_1}{T_{WT}} \eta_{1/4} + \frac{2T_2}{T_{WT}} \eta_{2/4} + \frac{3T_3}{T_{WT}} \eta_{3/4} + \frac{4T_4}{T_{WT}} \eta_{4/4} \geq \eta_{ER} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$T_{WT} = 1T_1 + 2T_2 + 3T_3 + 4T_4$$

式中:

$\eta_{ER}$  ——特定的能量效率;

$\eta_{1/4}, \dots$  ——当功率调节器的直流输入功率为额定值的 1/4, ... 时,相应的功率调节器效率。

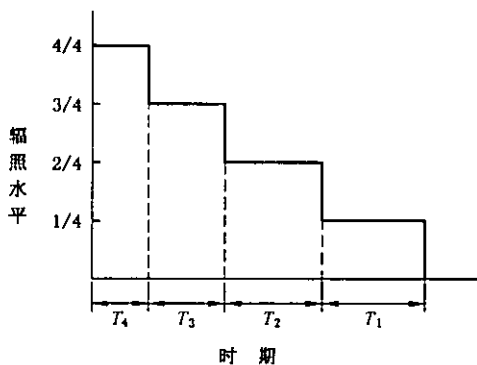


图 C.1 辐照持续时间曲线的示例

C.2 独立型 PV 系统的功率调节器的  $\eta_{WT}$

独立型 PV 系统带有贮能子系统,从 PV 方阵产生的能量被蓄电池存储和稳定。DC 能量由功率调节器(PC)转换成稳定的直流能量或恒压恒频的交流能量并提供给负载。在这种情况下,一部分能量作为蓄电池和功率转换器的损耗被消耗了。

独立型 PV 系统加权平均能量效率  $\eta_{WT}$  的计算需要有相应负载水平的加权系数。

把负载持续时间用  $T_i$  表示,直流输入功率用  $P_{li}$  表示,交流输出功率用  $P_{oi}$  表示,相应负载水平的 PC 效率用  $\eta_i$  表示, $\eta_{WT}$  则可由下式定义:

$$\eta_{WT} = \frac{\sum P_{oi} \times T_i}{\sum P_{li} \times T_i} = \frac{P_{o1} \times T_1 + \dots + P_{on} \times T_n}{P_{l0} \times T_0 + P_{o1} \times T_1 / \eta_1 + \dots + P_{on} \times T_n / \eta_n}$$

$$= \frac{1}{K_0 + K_1 / \eta_1 + \dots + K_n / \eta_n} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

$$K_0 = P_{l0} \times T_0 / \sum (P_{oi} \times T_i) \dots\dots\dots (C.4)$$

$$K_i = P_{oi} \times T_i / \sum (P_{oi} \times T_i), \sum K_i = 1, i = 1, 2, 3 \dots$$

其中  $P_{l0}$  为空载损耗。

如果负载变化和它的持续时段曲线分别如图 C.2 和图 C.3 所示,则式(C.3)可写为如下形式:

$$\eta_{WT} = \frac{1}{K_0 + 1T_1/T_{WT}/\eta_{1/4} + 2T_2/T_{WT}/\eta_{2/4} + 3T_3/T_{WT}/\eta_{3/4} + 4T_4/T_{WT}/\eta_{4/4}} \geq \eta_{ER} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

$\eta_{ER}$  —— 特定的能量效率;

$\eta_{1/4}, \dots$  —— 负载为额定值的 1/4, ... 时,对应的功率调节器效率。

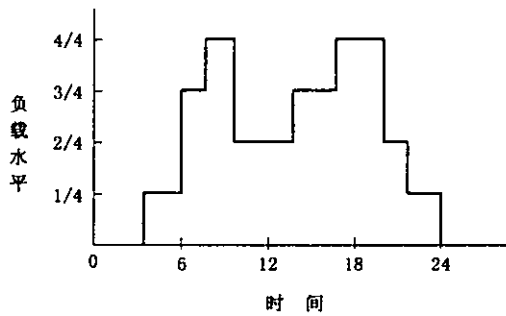


图 C.2 负载-时间曲线的示例

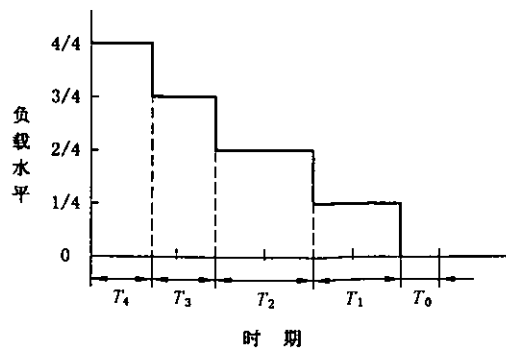


图 C.3 负载持续时段曲线的示例

## 附录 D

(资料性附录)

表 2 中效率容差的推导

保证效率  $\eta$  定义为:

$$\eta = \frac{P_R}{P_R + P_L}$$

式中:

$P_R$ ——额定输出功率;

$P_L$ ——保证损耗。

由 IEC 60146-1-1:1991 中 4.3.3 可知,损耗  $P_L$  容许每单元 +0.2,此时的效率  $\eta'$ ,则由下面公式求得:

$$\eta' = \frac{P_R}{P_R + 1.2P_L}$$

则容差  $\eta' - \eta$  即为:

$$\begin{aligned} \eta' - \eta &= \frac{P_R}{P_R + 1.2P_L} - \eta = \frac{P_R}{P_R + 1.2(1/\eta - 1)P_R} - \eta = \frac{1}{1 + 1.2(1/\eta - 1)} - \eta \\ &= \frac{\eta}{\eta + 1.2(1 - \eta)} - \eta = \eta \left[ \frac{1}{\eta + 1.2(1 - \eta)} - 1 \right] = \eta \left[ \frac{1}{-0.2\eta + 1.2} - 1 \right] \\ &= \eta \frac{-0.2 + 0.2\eta}{-0.2\eta + 1.2} = \eta \frac{-1 + \eta}{-\eta + 6} \geq -\eta(1 - \eta)/5 (\because \eta \leq 1) \end{aligned}$$

最后可求得容差为:

$$\eta' - \eta = -0.2(1 - \eta)\eta(\%)$$

这意味着当保证效率增大时,容差减小。例如,保证效率为 90% 和 95% 时,其容差则相应为 -1.8% 和 -0.95%。