

仪表的抗干扰



内 容 简 介

本译文集选译了最近国外有关仪器仪表抗干扰的八篇文章，内容包括：仪器仪表干扰和噪声产生的原因、基本概念、消除的方法及设计和实际运用仪表时应采取的抗干扰措施问题等。

本书可供从事仪器仪表设计、制造单位以及使用自动化仪表的科研和生产部门的有关人员参考。

前 言

在毛主席革命路线指引下，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我国仪器仪表工业与整个社会主义工农业一样，蓬勃发展，蒸蒸日上，新型仪器仪表越来越多，运用范围日益广阔。

仪表抗干扰问题是国防、科研以及生产实验中一个愈来愈重要的问题。由于仪表的灵敏度不断提高，仪表测试系统日趋复杂、庞大，同时仪表往往要在存在强大的干扰条件下工作，因此，如何保证仪表能在强干扰条件下正确工作，对仪表的设计、制造及使用都是极其重要的。

遵照毛主席“洋为中用”的伟大教导，我们选译了国外近年来有关仪表抗干扰方面的几篇文章，汇编成册。由于我们思想和业务水平很低，译文中必然有不少缺点错误，请读者批评指正。

目 录

一、仪器仪表中的直流放大器·····	(1)
二、仪器仪表的接地和屏蔽·····	(28)
三、新型高速多用数字电压表·····	(99)
四、运算放大器的抗 干 扰·····	(107)
五、集成电路运算放大器作为直流放大器的 用 法·····	(129)
六、电源线中扰动对仪表的 干 扰·····	(143)
七、电气仪表的感生 干 扰·····	(149)
八、计测系统和 干 扰·····	(171)

仪器仪表中的直流放大器

(摘 译)

变压器的静电屏蔽

电子线路往往用一金属壳包罩起来，后者常与线路所处理的讯号的零基准电位相连接。这样连接之后，金属罩壳与线路中所有各点之间都存在电容。由于这些电容的一端为零基准电位，因此就没有无用的讯号耦合到线路中去。这一金属壳通常就称为屏蔽。

变压器能方便地给静电容器内部提供能源。当副边绕组与线路相接，而原边接市电外线时，原副边绕组间的电容却破坏了屏蔽的完整性。此电容的一端不是接零基准电位，而是接在与原边绕组电压串联的某个地电位上（图1）。

为了封闭屏蔽罩的这一开口，在变压器的绕组之间加一静电屏障，它通常为包在原边绕组上的一层薄铜箔。此铜箔实际只有一匝，因而需防止其接触以形成短路匝。此箔对变压器中的磁路没有影响，但增大原副边绕组间的距离及绕组的电容。金属箔可与金属罩相接，从而封闭了屏蔽罩的开口，这样的金属屏障叫做变压器的屏蔽（图2）。图上的屏蔽接法有一缺点，即它与通过绕组屏蔽间电容的电抗性能量有关。此电流可以流过带讯号电位差的导线，必须保持在几微安以下，以保护低电平的讯号。图3表示一典型的屏蔽问题，电流沿回路①②③④⑤⑥⑦①，特别是在导体⑥⑦中流过，这里①②绕组电压引起电容 c_2 中的电抗性电流。

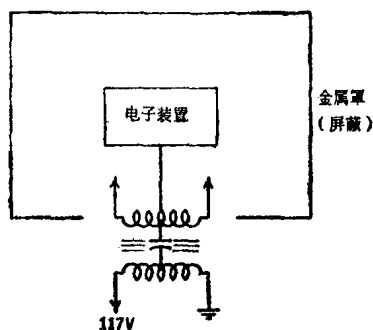


图1 金属屏蔽罩和变压器

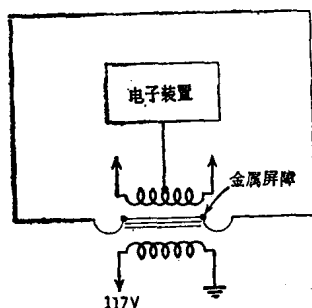


图2 变压器屏蔽用来保持某个电子装置的密闭全屏蔽

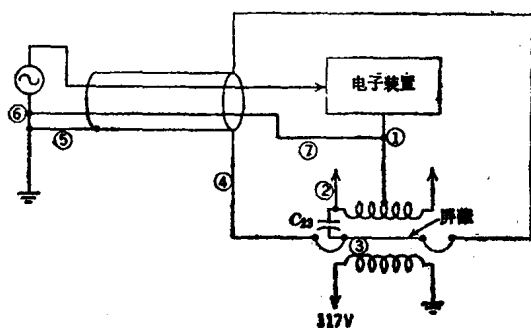


图3 与局部屏蔽连接的变压器屏蔽电流回路

为了取消这一回路，可将屏蔽③接到①点，使电抗性电流只在回路①②③①中流动。这样做以后，原边屏蔽电容将如图4那样影响线路，电流沿回路①②③④⑤⑥①，特别是在导体④⑤中流过。这里①②绕组电压和①⑥地电位差使电流流过电容 c_{2s} 。正确的电流回路控制只能靠采用双层屏蔽，而这种屏蔽形式用于大部分低电平仪表上。第二层屏蔽可以与地相接，但这不能消除①⑥地电位差的影响。最好

的接法是把第一层屏蔽接讯号源地（与输入屏蔽同轴，如图5所示*）绕组电流流过回路①②③④⑤和⑥⑦⑧⑨⑩，但没有电流流经讯号导线。

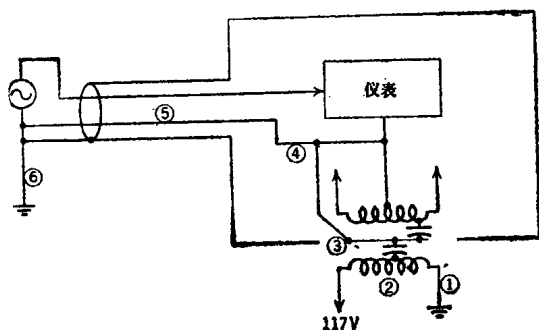


图4 与讯号公共点连接的带电流变压器屏蔽

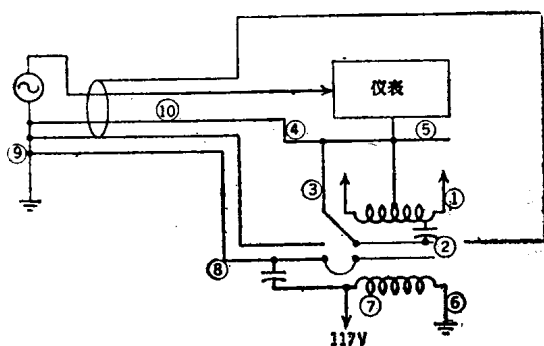


图5 正确的双层屏蔽变压器连接

从上所述表明变压器中屏蔽有三种功用：

- * 输入电缆的屏蔽在需要时是可以作为第一层屏蔽的回程用，这可减小回路⑧⑩④③⑧⑩中的磁通感应。任何在此回路中的磁通耦合会造成电流流过导线④⑩。

1. 完成一线路周围的静电封闭；
2. 控制变压器无用电流的流向；
3. 为无用的外部电流提供一通道。

静电屏蔽

如果电子装置完全封闭在一金属盒内，外界的电位差只能造成盒表面上的电流流动，而盒内的电位差不受外部静电环境的影响。图 6 上的电位 E 可以变化，但在盒内的电位差不受影响。

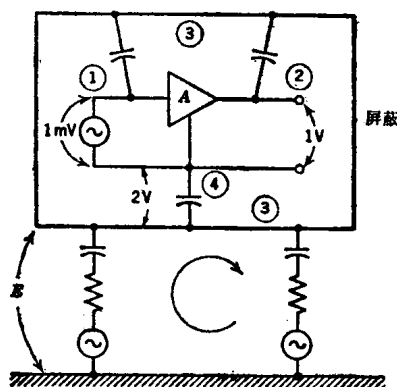
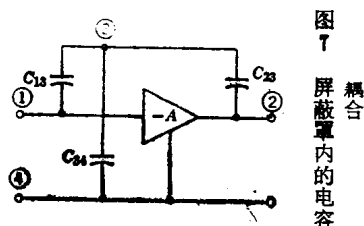


图 6 静电屏蔽



屏蔽罩内所有导体之间都有相互电容，其中最大的电容是对屏蔽罩的，因其面积最大。为了说明问题，把图 6 上的三个电容重画在图 7 上，电容 C_{13} 和 C_{23} 形成反馈通道上的衰减。这种耦合是不希望的，所以一般将 $C_{3,4}$ 短路，使反馈全部衰减掉。图 6 上即是放大器的零基准导线与屏蔽罩相接。

屏蔽与讯号的连接

如果讯号的零电位导线如图 8 那样在外部接地，则屏蔽-讯号连接的必要性就更清楚了。接地点之间的电位差 E_{12}

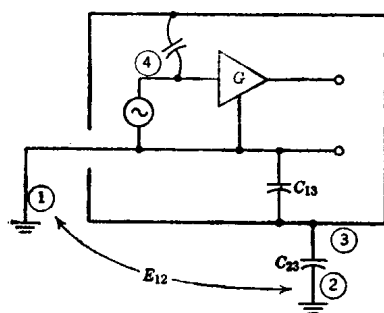


图 8 浮接屏蔽问题

在电容 C_{13} 和 C_{23} 之间造成分压。导体③就把 E_{12} 的一部分耦合到点④，如若 C_{13} 由直接连接取代，则此部分将成为零。

在讯号导体中电流造成的压降被看作讯号。如果该电流是噪声或一与功率有关的现象，所造成的讯号是不希望的。为了能

进一步理解这一点，取一典型的 20# 线电缆 (长 100 呎)，每条线上有 1 欧电阻。1 微安电流构成 1 微伏不需要的干扰，而电容 270 微微法和电压 10 伏、60 赫能引起 1 微安的电流。典型的放大器设计中，对屏蔽的电容要比 270 微微法大得多，电位差 (变压器电压) 比 10 伏超出很多。

屏蔽电流回路不应包含讯号导体，因此屏蔽-讯号导体的连接要接在讯号接地点。正确的接法如 9 所示，由电压源

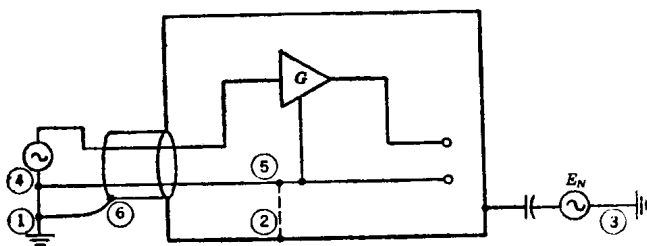


图 9 正确的输入屏蔽连接

E_N 造成的电流取②①③回路,在导体④⑤内没有电流流过。如若屏蔽接在②⑤处,则 E_N 的电流将取通道③②⑤④①③,此回路包括导体④⑤,并有不需要的干扰产生。

静电屏蔽的规则

1. 所有带讯号电位的导体应放在一屏蔽导体内;
2. 屏蔽导体应只与讯号导体的零电位接一次;
3. 屏蔽-讯号的连接应接在讯号导体与外部环境接地的
那一点。

屏蔽的讨论

上述规则是完整的,但再作一些附加说明可使它们更为实际有用。对违反的场合作了仔细的研究之后,也并不一定非遵守这些规则不可。

低电平高阻抗的线路最需要注意屏蔽,高电平低阻抗的讯号只要不与其他低电平讯号点耦合就允许不屏蔽。在许多场合下,讯号由它们的自然静电环境条件所屏蔽,外加或单独的屏蔽是多余的;例如,热电偶与一结构连接时,其导线被结构所屏蔽。

一面积如不受干扰影响就可不设屏蔽。因变压器屏蔽可以防止变压器绕组电位的耦合,故在变压器内部是有用的。如果绕组电压在其他点不存在,那么这些点可以不要屏蔽。

在一具有零基准导体的线路中,仅有一个正确的屏蔽电位,屏蔽导体单点连接可保证这一电位为已定。多处屏蔽连

接是不必要的，通常也不希望的。如若屏蔽接在两点，则在屏蔽中将有电流流过，并造成一电位梯度。当屏蔽的一端确定得正确，则其他各点都不正确，这会把无用的讯号耦合进内部线路。

若一讯号须经过若干步处理，则屏蔽电位必须用一单独导体贯通。不同地点的屏蔽导体不能独自地与一方便的地相连接。一屏蔽导体在两点连接时，仅为了获得连续性，而不是让电流流过。

屏蔽-讯号导体常用屏蔽的双芯电缆的形式，单导线外覆双重屏蔽的线也可采用，虽然借屏蔽来接线比较困难。如果用同轴电缆，则外导体可以用作中间导线的屏蔽，不过这仍属上述屏蔽的形式。同轴电缆能用于传递高电平讯号，因为讯号受到的干扰可略去不计。同轴电缆不宜用作低电平讯号的传递，因此必将有寄生电流流过带讯号的导体。

仪表的差动过程

现在可根据屏蔽规则来讨论基本的仪表问题。试探讨如图10在一个接地点产生的讯号，并在另一接地点进行观察的情况。讯号有两个零基准导体；处理讯号的电子线路分成两部分，每一部分用一导体加以屏蔽，且在其接地点与讯号连接。如果 E_{1s} 仅为输出讯号的一小部分，则讯号处理正确。

图10中的漏阻抗 Z 使电流沿①②③④①流动（有一电位差 E_{1s} 时）。如 R 为1000欧， E_{1s} 为10伏，同时不需要的干扰讯号小于10微伏，则 Z 中的电流必须在10毫微安以下，而 Z 就得为1000兆欧或更大。60赫下此值为2.7微微法，算不上很大的漏电容。应注意 Z 是一般化的漏阻抗，能允许电流

流过讯号源阻抗。至于 A_1 或 A_2 的增益则未加讨论。

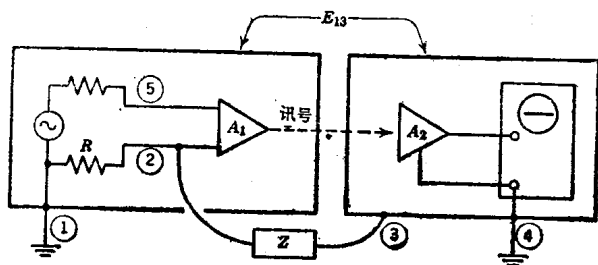


图10 两个屏蔽的问题

电压差 $E_{2,1} - E_{5,1}$ 是待放大的讯号。在输出端，点④为零基准导体，又电位 $E_{2,4}$ 和 $E_{5,4}$ 均包含电位差 $E_{1,3}$ 。如果 $E_{2,1} - E_{5,1}$ 为零，则 $E_{2,4} = E_{5,4} = E_{1,3}$ 。从点④看去，电位差 $E_{1,3}$ 对两输入讯号线是公共的，故 $E_{1,3}$ 为一共态讯号。换句话说，两接地点之间的电位差是两点所处理讯号的共态电位。如果10伏共态讯号 $E_{1,3}$ 在输入端造成10微伏的无用讯号，就称为共态抑制比为一百万比一，用分贝表示共态抑制比（CMR）为120分贝。

穿过静电界限

讯号可以借助磁、电磁、电气或机械方法通过静电界限，而磁性传递包括调制过程、变压器和后解调器。这种方案理论上是理想的，因在静电屏蔽上没有孔。有高的共态电压时常采用这种系统。

电磁传递包含光学的或无线电波联系，这在单个仪表下不常采用。象广播那样的无线电频率联系是一差动过程，具有基本上无限的共态抑制比。为了经济上的理由，应用别的

技术处理共态或双接地的讯号处理问题。

直接的电子连接是实用的。如前面指出的那样，两机壳之间的阻抗必须维持很高值，典型的为1000兆欧。达到这样的阻抗级有困难，然而可能的。此种方法的优点为价廉，因不需要讯号变压器，最常要考虑的限制因素在于适应共态讯号的能力有所下降。

功率传入静电屏蔽区

传入功率的问题包括正确处理变压器屏蔽。如果屏蔽得正确，变压器绕组的电位将只在屏蔽导体中而不在带讯号的导体中引起电抗性电流。“变压器的静电屏蔽”这节中的屏蔽处理表明，至少需要两层屏蔽才能控制电流流向。原边屏蔽与电源的中点连接，而副边屏蔽与讯号的公共点或装置的电源公共点连接。每一静电屏蔽理论上与零讯号基准导体在讯号导体接地处连接一次。

对一单端放大器要有一层静电屏蔽，实际上金属屏蔽板（包围放大器）与最近的零基准导体连接。如果导线拉长了一段长距离后再连接的话，沿导线的电位降（由寄生电流造成的）可能将高频干扰耦合进仪表中。屏蔽导体的一般划分如图11所示，金属架在②到③处连接，而讯号屏蔽由④通过⑤到⑥连接。注意图上仍保持了在④的单点屏蔽连接，副边的电抗性能量在⑩⑪⑫⑩中循环，而原边电流流过⑦⑧⑨⑦。

如果在点⑨与④之间有电位差，则电流可以通过 $c_{0,12}$ ，沿回路⑨⑫②④⑨流动。遗憾的是此电流尚流经输入讯号导体②④。若屏蔽⑨拉回接到④点，那么电位差将只在导体④⑨而不是②④中引起电流。

另一电位源可能存在于回路⑨⑫②④⑨上，它由于电源

线或变压器所产生的磁通与回路相耦合而成。为了使这种磁通耦合最小，回路面积⑨⑫②④⑩可借助把⑨④的连接线与输入电缆靠得很近而做成很小。另一种可行的解决方法是用输入屏蔽导体来连接⑨与④点，但屏蔽电流较大时，此法不宜采用。

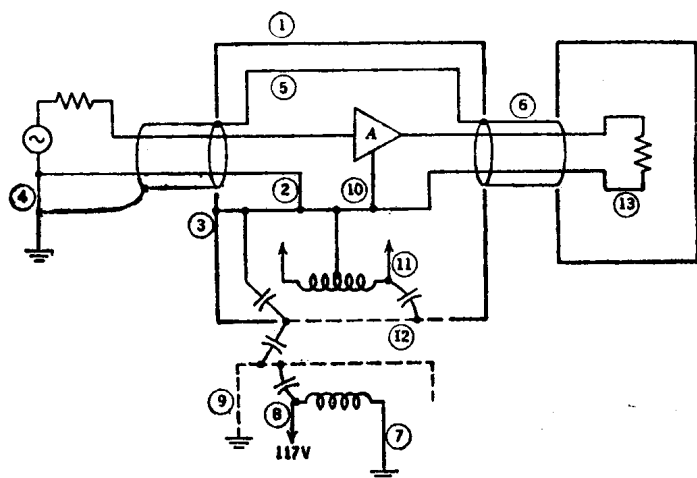


图11 单端仪表放大器的实用电子线路屏蔽

图11表示一最差的情况，因输入讯号的一端连地。如果输出是接地的，则电流流动相仿，不过是在输出讯号导体中而已。显然这点远非那么关键，因造成的电位差不会被放大。将原边屏蔽接输出地是正确的，但非必要的，除非处理的是低电平的讯号。

图11上在④附近的讯号区是敞开的，若讯号源被所装框架保护的话，外加的屏蔽便属多余的了。所示的输出，譬如检流计或表头，是完全封闭的。如果点⑬与外部的地有电抗性耦合，则电流将在整个讯号导体④②⑩⑬中流过，如若输

出接地，那么输入部分需要一完整的屏蔽罩。根据屏蔽规则，屏蔽不能在讯号源处而要在输出接地处连接。

若讯号源的零基准导体与放大器的零基准导体之间通过电阻连接，图12的屏蔽是正确的。变压器采用三层屏蔽，虽然原边屏蔽可能省去。在这里，屏蔽①与讯号地连接，同时屏蔽⑤与放大器的零基准导体连接，而外加的原边屏蔽④使原边电流无法流入输入屏蔽。若屏蔽得不对，在R上流过的小电流会产生很大的干扰讯号。

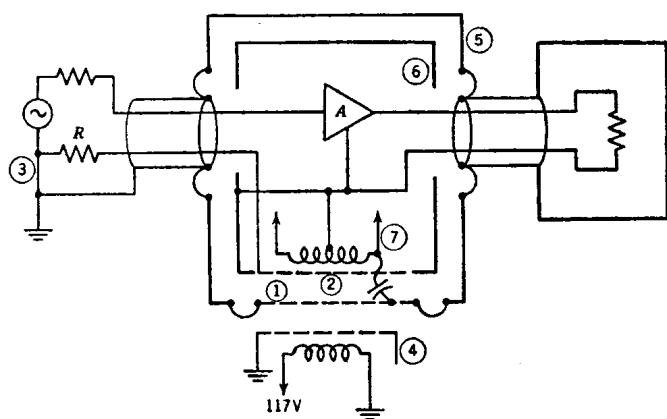


图12 三层屏蔽的变压器

两个屏蔽罩⑤，⑥分别同屏蔽①，②连接，屏蔽⑥不必是完整的，除了在关键的输入点附近。屏蔽⑤通常称为“保护屏蔽”，应包绕住整个仪表。变压器中屏蔽②的紧密程度直接与漏电容 c_{17} 中允许流过的电流有关。当R为1000欧， c_{17} 应小于1微微法。由副边绕组电压产生的电流沿回路②⑦①③②流过，而R上的60赫电流即为放大器的输入讯号。

功率传入差动放大器

图10所示的双层静电屏蔽要求有分别的电源传入各个静电屏蔽区，电源可从外部进入两个区域或者在传入一个区域后再传递至另一区域。允许采用市电或载波电源的各种组合，但两个静电屏蔽区仍须加以保护。用一只变压器的外部市电式解决方案如图13所示，请注意单独屏蔽的副边。屏蔽的连接没有详细画出（图11），因为目的只在于表示屏蔽的原理。

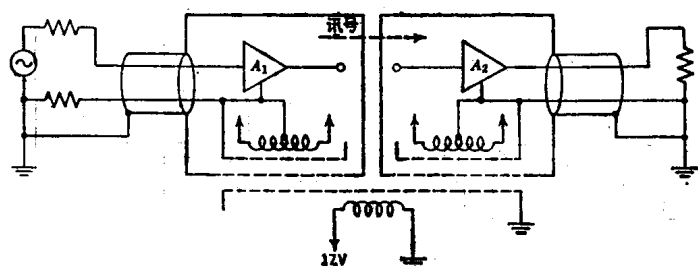


图13 功率传入双层屏蔽系统

如果电源在两个区域之间传递，解决方法见图14。电源可有较高的载波频率或是60赫的，取决于其他性能要求。同样，需要有三层屏蔽以便把电源从输出区传到输入区。

下面的几节将讨论各种形式差动放大器中的讯号传递问题，大部分场合下为简要起见不再说明电源的屏蔽，本节的方法对每个例子均属可用的。

差动仪表放大器的设计

图10上两个屏蔽区域表示线路的两个独立部分。某些设

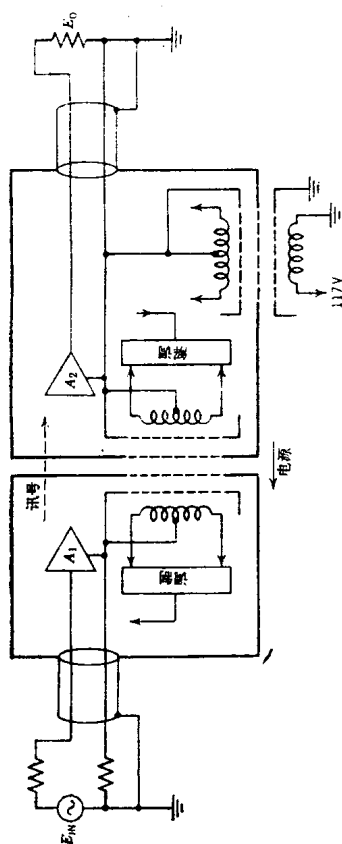


图14 内部功率传递

计中，输入导线是输入屏蔽区中仅有的元件，而在另一些方案中，输出区中只有无源元件。所选定的设计方案是成本、规格要求和合适元件可靠性的一个函数。

用变压器来耦合讯号时，可以适应高达500伏的共态电压。通过耦合变压器的漏电容必须保持在几个微微法，以获得有意义的共态抑制（CMR）比。如果直接耦合，则共态讯号要由电子线路处理；若不允许用讯号变压器，可以用适当安排的衰减器来适应高的共态电压。这一方法对每组增益需要单独电源，这增加了

成本。

共态抑制比是随设计而异的，其比值根据放大器输出的误差进行计算。共态讯号与误差讯号之比乘增益即共态抑制比；例如增益为1000，10伏的共态讯号造成5毫伏的输出误差，则共态抑制比为 $1000 \times 10 / 0.005 = 2 \times 10^6$ 或126分贝。令 G 代表增益， E_{CM} 代表共态讯号， E_R 代表输出误差讯号，则共态抑制比为