

1 De werking van de elektrostatische luidspreker

Voor veel mensen is de elektrostaat nog altijd een geheimzinnige luidspreker. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het afwijkende uiterlijk van deze weergever. Een full range elektrostaat (full range: weergave van het volledige audio-frequentiebereik) heeft in tegenstelling tot een gewone elektrodynamische weergever geen kast als behuizing, maar bestaat uit een plat open frame waarin de ESL-elementen (ESL = Electro-Static Loudspeaker) worden bevestigd. Ook termen als hoogspanning en step-up-ratio dragen bij tot een verhullende sfeer rond dit type luidspreker.

Een elektrostatisch weergavesysteem is echter betrekkelijk eenvoudig van opbouw; het bestaat uit drie delen (zie figuur 1.1):

A Het elektrostatisch luidsprekerelement; B de hoogspanningsunit;

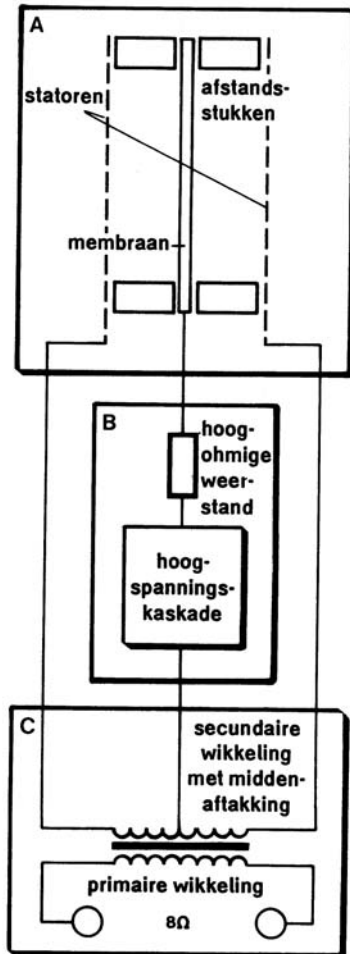
C de audiotransformator.

Het weergave element is eigenlijk heel eenvoudig van opzet. Tussen twee geluid doorlatende platen of traliewerken (statoren) is een geleidende folie gespannen: het membraan. Dit membraan wordt door middel van afstandsstukken precies tussen de statoren gepositioneerd. Dit geheel vormt twee in serie geschakelde luchtcondensatoren; de buitenste condensatorplaten zijn geluid doorlatend (akoestisch transparant; figuur 1.2). Tussen membraan enerzijds en statoren anderzijds wordt een uit de hoogspanningsunit afkomstige (negatieve) hoogspanning van enkele duizenden volt aangesloten. Voor een goede werking van het ESL-element moet de elektrische lading Q van de door membraan en statoren gevormde condensatoren constant worden gehouden; dit gebeurt door middel van een zeer hoogohmige weerstand R .

De hoogspanningsunit bestaat doorgaans uit een cascadeschakeling van dioden en condensatoren, gevoed uit een op het lichtnet aangesloten transformator.

Op het membraan en de beide statoren wordt het audiosignaal uit de versterker via een audiotransformator aangesloten. Deze trafo transformeert de uitgangsspanning van de versterker zodanig omhoog dat deze hoog genoeg is om het ESL-element aan te sturen. De genoemde transformatorwerking heeft een neveneffect: dezelfde transformatieverhouding die voor het opkrikken van de audiospanning zorgt, vertaalt de impedantie aan de ELS-zijde naar een veel lagere impedantie naar de versterkerzijde. De impedanties zijn capacitief. De versterker ziet dus aan zijn uitgang een dikke condensator, het geen problemen met de stabiliteit kan geven. De meeste moderne versterkers zijn echter onvoorwaardelijk stabiel (fasemarge 90 graden). Een ander probleem kan de hoge, door de versterker te leveren blindstroom in die condensator zijn. We komen hier nog op terug.

Sluit een audiosignaal op de audiotrafo aan. De ene stator stijgt in spanning, en de andere stator daalt evenveel in spanning ten opzichte van het membraan (zie figuur 1.3). Door deze spanningsveranderingen zal het membraan door de positievere stator worden aangetrokken en door de negatievere stator afgestoten. Dit noemt men de



Figuur 1.1. De schematische werking van een elektrostaat. We onderscheiden het ESL-element (A), de hoogspanningsunit (B) en de audiotrafo (C).

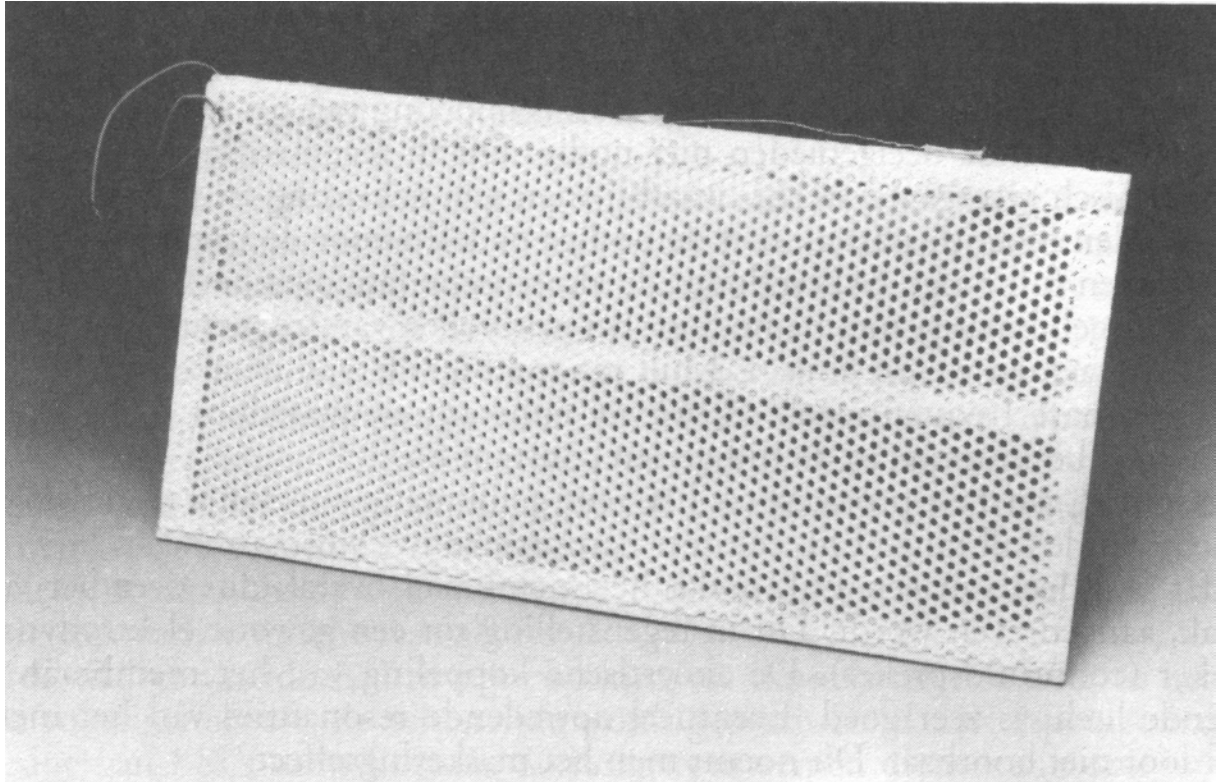
balanswerking (push pull) van de ESL. Hierdoor zal het membraan gaan bewegen in het ritme van het audiosignaal.

De aldus veroorzaakte luchtdrukverschillen verplaatsen zich door de open platen of traliewerken zijn dan hoorbaar als muziek.

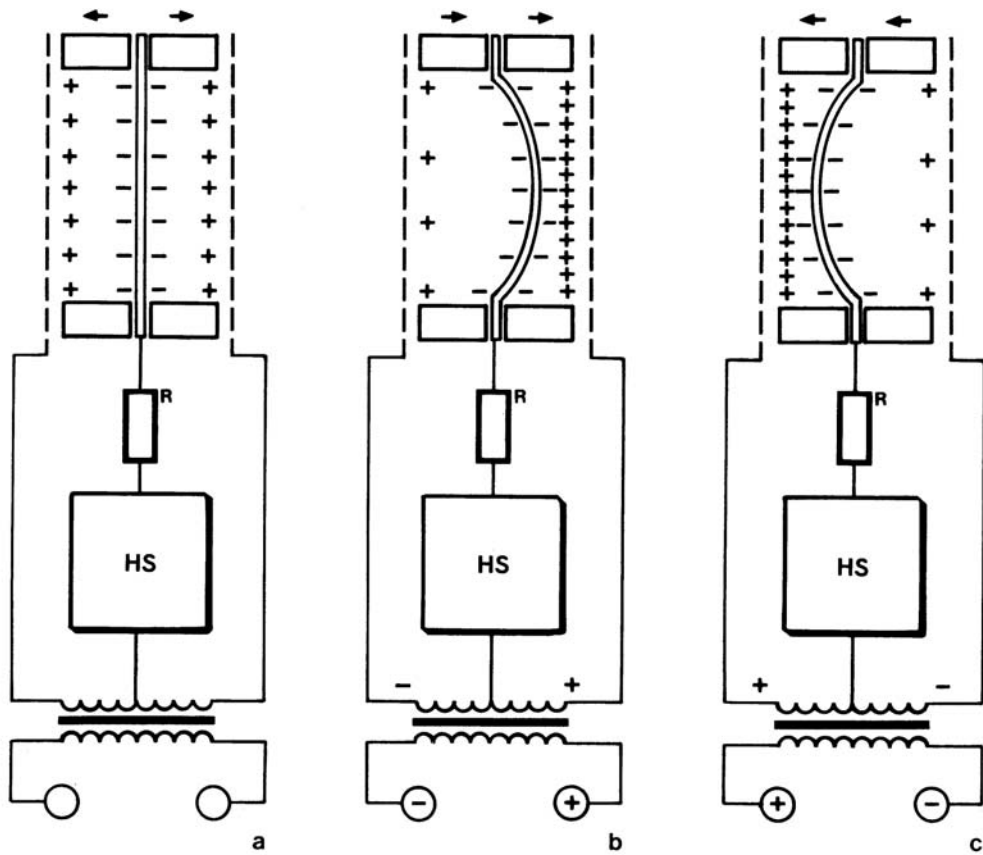
De constante lading Q op de twee stator-membraan-capaciteiten zorgt ervoor dat de krachten (aantrekkend en afstotend) op het membraan onafhankelijk zijn van de afstanden d_1 en d_2 tussen statoren en membraan.

De formule $F = U Q I (d_1 + d_2)$ geeft aan dat de totale kracht op het membraan alleen afhankelijk is van de hoogte van de (omhoog getransformeerde) audiospanning U . Immers, Q en $(d_1 + d_2)$ zijn constant.

De ESL is dankzij de symmetrische opzet buitengewoon lineair en heeft daardoor een zeer lage harmonische vervorming.



Figuur 1.2. Een foto van een zelfgebouwd ESL-element.



Figuur 1.3. Dit gebeurt er als je een wisselspanning op de audiotrafo zet. De aanduidingen '+' en '-' op de middelste en rechter figuur hebben betrekking op de fase van de audio wisselspanning.

1.1 Voor- en nadelen van een elektrostatische luidspreker

Wat zijn nu de voordelen van een full range ESL ten opzichte van een elektrodynamisch meerwegsysteem? Bij een full range ESL is opdeling van het hoorbare frequentiegebied in verschillende deelgebieden niet nodig. Dit in tegenstelling tot een meerweg elektrodynamisch weergavesysteem, waarbij men een scheiding in minstens twee frequentiegebieden moet toepassen, met de nodige nadelen voor de fasezuiverheid van het systeem. Bij een full range ESL verloopt de akoestische fase over het hoorbare frequentiegebied zeer gelijkmatig, met name door het ontbreken van frequentie-overgangen.

Als voorbeeld nemen we de Final 1.2 full range ESL waarvan de akoestische fase over het hele hoorbare frequentiegebied vrijwel constant is, waardoor de relatie tussen grondtonen en boventonen in de tijd gezien constant blijft.

De afwezigheid van fasesprongen en het zeer gelijkmatig verloop van de akoestische fase maken dat de full range ESL een zeer natuurgetrouwe weergave heeft.

Een ander voordeel van een ESL is dat het membraan overal, dus over het volledige oppervlak, aangedreven wordt. Dit in tegenstelling tot een gewone elektrodynamische luidspreker (conusluidspreker). De akoestische koppeling van het membraan met de omringende lucht is zeer goed. Eventueel optredende resonanties van het membraan zijn daardoor niet hoorbaar. Dit noemt men het maskerings-effect.

Doordat de massa van het ultralichte membraan zeer gering is ten opzichte van de conusmassa van een dynamische luidspreker, en er verder vrijwel geen sprake is van massatraagheid, is de impuls- en transiëntweergave voortreffelijk.

Het membraan van de Sombetski ESL 120 heeft een massa van 0,02 gram (twintig milligram!). Vergelijk dat maar eens met een elektrodynamische luidspreker, voor hetzelfde frequentiebereik (100...20.000 Hz), met een dynamische massa van 10 ~ 20 gram. Dus een factor 500... 1000 lager! Zoals opgemerkt is de harmonische vervorming bij een symmetrisch opgebouwde ESL gering ten opzichte van een elektrodynamische weergever. De Audiostatic ES 300 RS heeft een harmonische vervorming van 0,08 % (voor frequenties tussen 30 en 20.000 Hertz). Dit in vergelijking met de harmonische vervorming van dynamische luidsprekers, die tot enkele procenten vervorming produceren bij de weergave van hetzelfde frequentiegebied en bij dezelfde geluidsdruk (92 dB/ 1 m). De fasereinheid en de zeer geringe massa van het membraan zorgen er samen met de lineaire werking en de lage vervorming voor dat de ESL een weergavekwaliteit heeft die op een zeer hoog niveau ligt.

Heeft de ESL naast al deze sterke kanten ook nog zwakke punten? Die heeft hij zeker. Zo is door de wijze van bevestiging de bewegingsvrijheid van het membraan aan grenzen gebonden. De maximale lineaire uitslag van het membraan is dan ook beperkt. Voor de weergave van lage tonen, waarbij veel lucht verplaatst moet worden, is dan ook een groot tot zeer groot oppervlak nodig.

De akoestische kortsluiting die optreedt bij lage frequenties, maakt ook een groot membraanoppervlak noodzakelijk.

In sommige ontwerpen wordt de ESL alleen gebruikt voor het midden en hoog. Voor de lage frequenties gebruikt men een conusluidspreker. Bij deze zogenaamde hybride systemen kan de membraanoppervlakte beperkt blijven tot ca. 0,05 tot 0,10 m². Terwijl de laagste frequenties met een betrekkelijk hoge geluidsdruk kunnen worden weergegeven, kunnen de afmetingen van een hybride systeem bescheiden blijven. Om bij een full range ESL de laagste frequenties (onder 100 Hz) toch met voldoende geluidsdruk te kunnen weergeven, kan een ontwerper uitgaan van een groot membraanoppervlak, of hij kan uitgaan van een kleiner membraanoppervlak, waarbij de laagste frequenties met een hogere spanning worden aangestuurd, bijvoorbeeld door middel van een extra audiotrafo. Zo is het membraanoppervlak van de met een extra trafo voor het laag uitgeruste Audiostatic ES 200 RS ca 0,17 m², wat voor een full range ESL betrekkelijk klein is.

Een full range ESL heeft in vergelijking met een elektrodynamische conusluidspreker een zeer groot membraanoppervlak. Een dynamische conusluidspreker met een diameter van 30 cm heeft een conusoppervlakte van 0,04 tot 0,06 m². Dit in vergelijking tot het membraanoppervlak van een full range ESL, dat kan variëren van 0,17 tot 1,5 m².

Een tweede nadeel van de ESL, en dan met name van de full range ESL, is het lagere rendement. Dit ligt in de meeste gevallen 2 a 10 dB onder dat van dynamische weergevers die een vergelijkbaar frequentiegebied weergeven. Dit lage rendement wordt met name veroorzaakt door de aan grenzen gebonden veldsterkte tussen her membraan en statoren (circa 3000 volt/mm).

Het rendement van hybride elektrostaten is in de meeste gevallen even hoog als dat van de meeste elektrodynamische weergevers.

Een derde nadeel van de ESL is zijn werking als dipoolstraler, waardoor geluid aan zowel de voorzijde als aan de achterzijde wordt geproduceerd. Dit dipoolgedrag maakt de plaatsing van ESL's soms kritisch. Sommige ontwerpen dienen dan ook in verband met het bereiken van een goede balans tussen direct uitgestraald geluid en indirect (gereflecteerd) geluid, op een vrij grote afstand van de muur geplaatst te worden.

Tenslotte is de bundeling van her geluid bij hogere frequenties van nature zeer sterk, zodar de ideale luisterpositie bij sommige ontwerpen aan enge grenzen gebonden is. Een te grote of ongewenste bundeling kan door een ander element-ontwerp grotendeels worden voorkomen. De spreiding van hogere frequenties kan dan bij een goed ontworpen ESL van dezelfde klasse of zelfs beter zijn dan bij een zeer goed elektrodynamisch systeem.

