

# El Op-Amp y Bob Widlar

Sistemas y Control

R.Canetti 2022

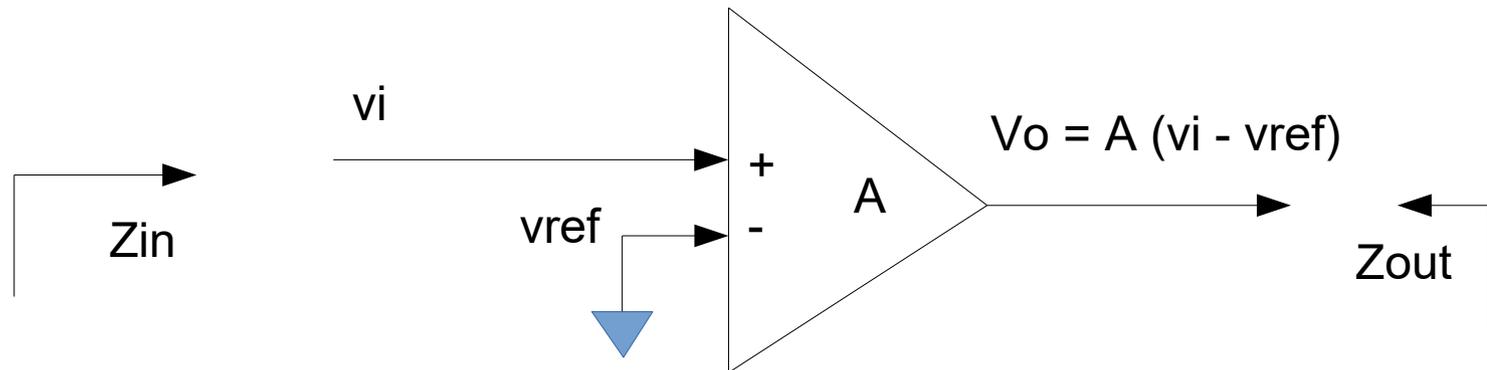
Instituto de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería

Universidad de la República

# El amplificador operacional

Si pudiéramos construir un amplificador con las propiedades:

**a) muy alta impedancia de entrada** (no cargaría, no influiría en las etapas anteriores).

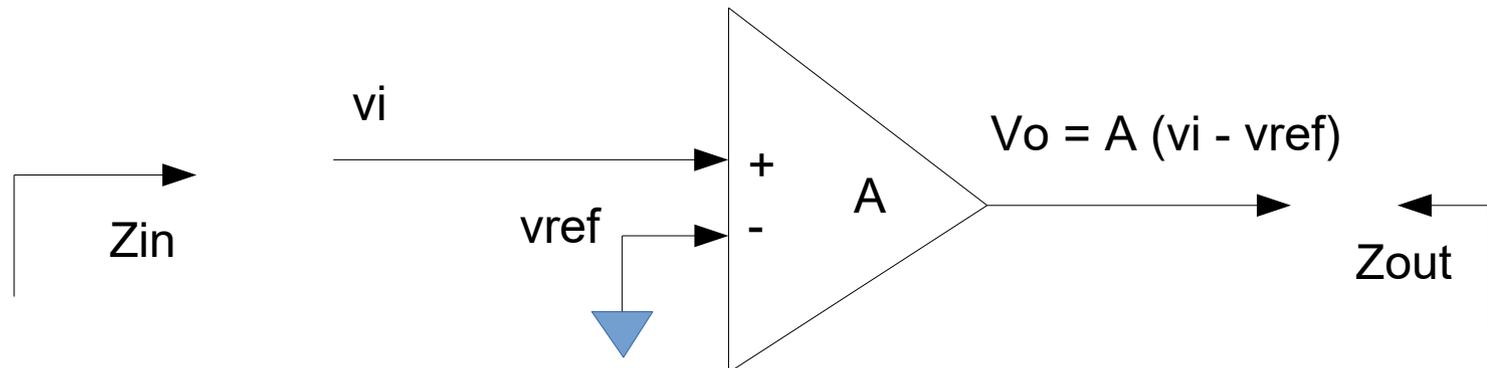


# El amplificador operacional

Si pudiéramos construir un amplificador con las propiedades:

**a) muy alta impedancia de entrada** (no cargaría, no influiría en las etapas anteriores).

**b) muy baja impedancia de salida** (no sería cargado, influido, por etapas posteriores)



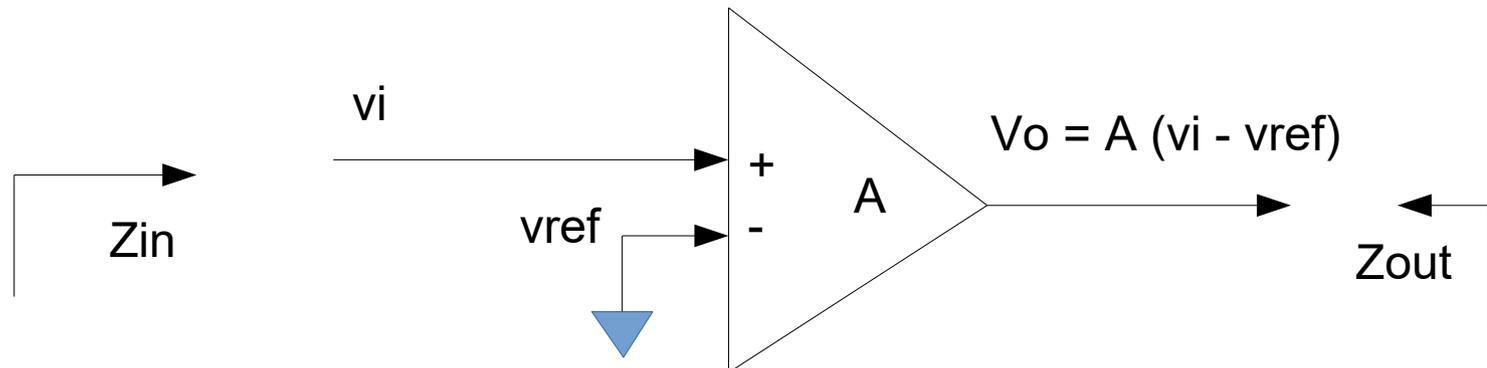
# El amplificador operacional

Si pudiéramos construir un amplificador con las propiedades:

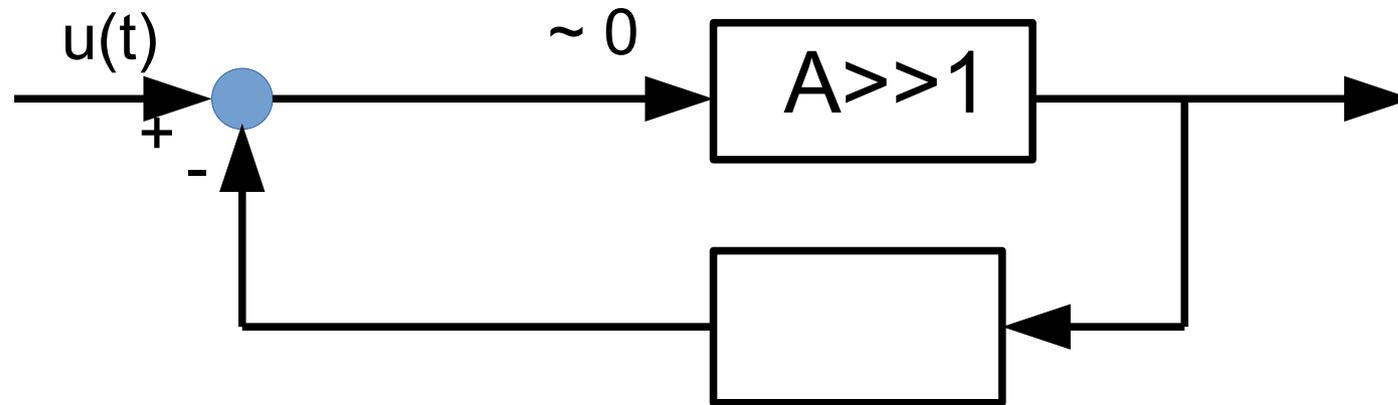
**a) muy alta impedancia de entrada** (no cargaría, no influiría en las etapas anteriores).

**b) muy baja impedancia de salida** (no sería cargado, influido, por etapas posteriores)

**c) muy alta ganancia**



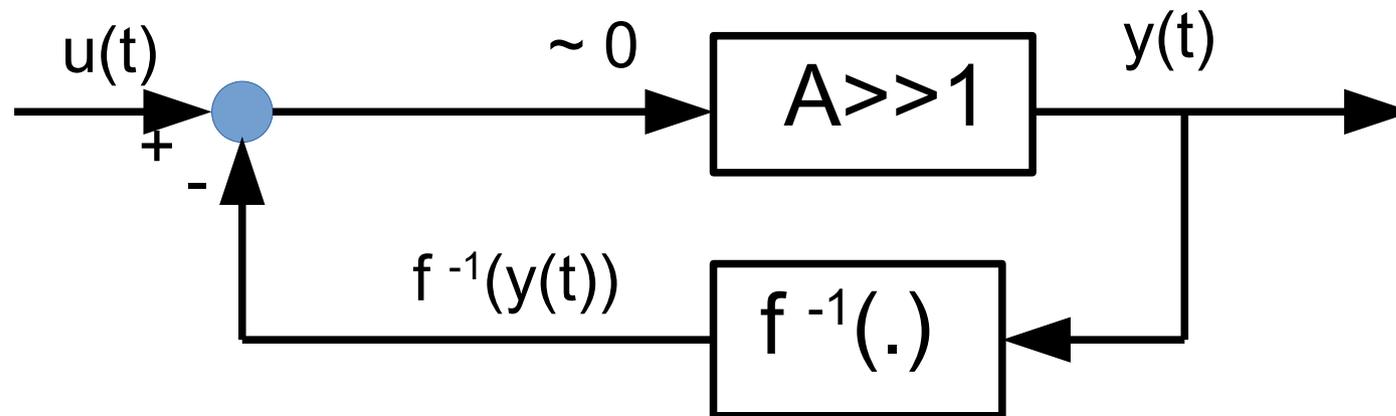
Podríamos, por ejemplo, sintetizar funciones algebraicas y realizar operaciones:



Podríamos, por ejemplo, sintetizar funciones algebraicas y realizar operaciones:

Supongamos una función  $f(\cdot)$  monótona creciente, invertible.

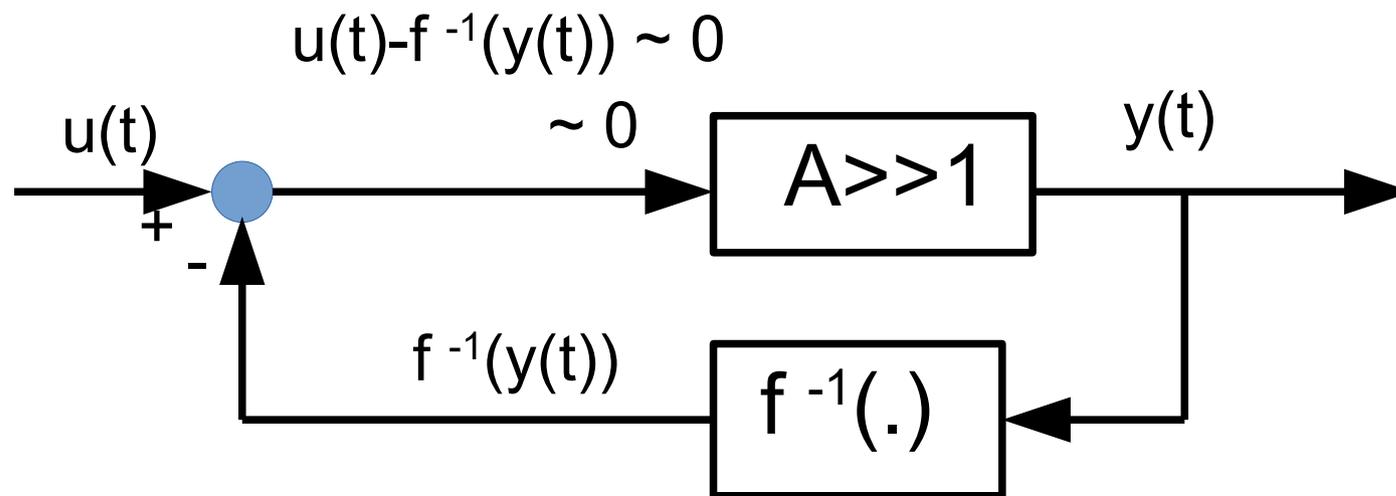
Supongamos que podemos sintetizar su inversa  $f^{-1}(\cdot)$



Podríamos, por ejemplo, sintetizar funciones algebraicas y realizar operaciones:

Supongamos una función  $f(\cdot)$  monótona creciente, invertible.

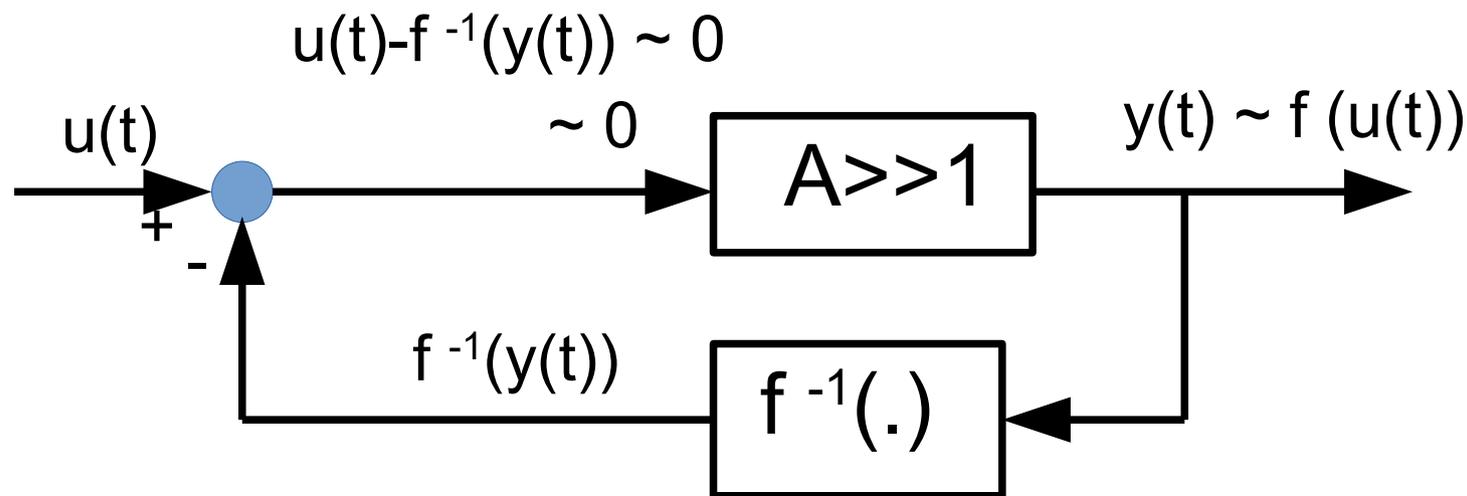
Supongamos que podemos sintetizar su inversa  $f^{-1}(\cdot)$



Podríamos, por ejemplo, sintetizar funciones algebraicas y realizar operaciones:

Supongamos una función  $f(\cdot)$  monótona creciente, invertible.

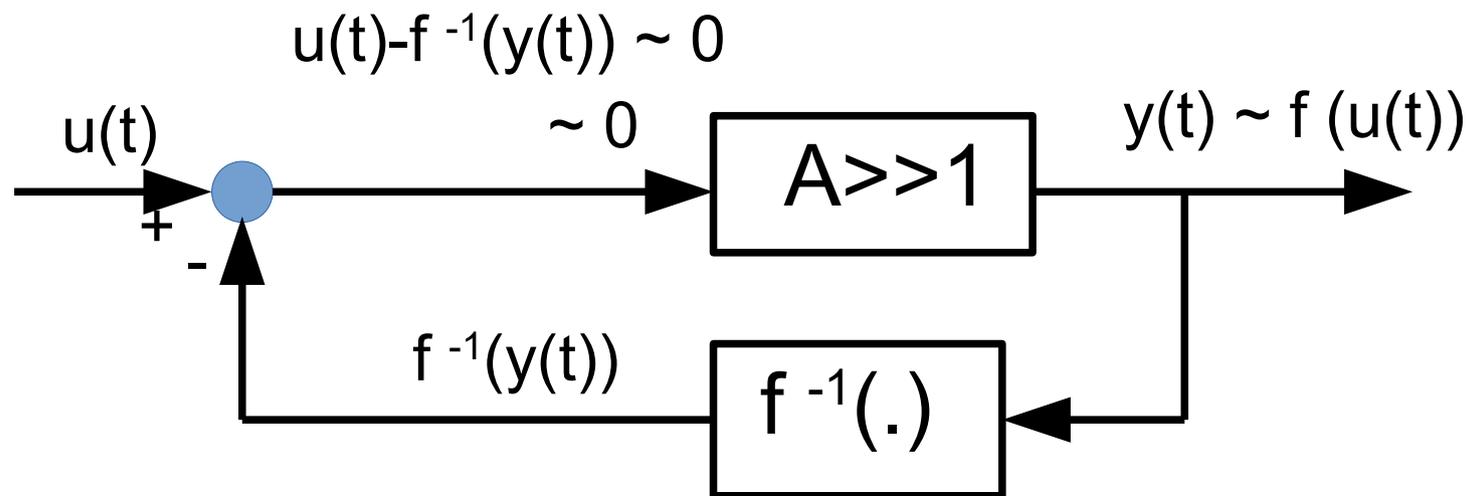
Supongamos que podemos sintetizar su inversa  $f^{-1}(\cdot)$



Podríamos, por ejemplo, sintetizar funciones algebraicas y realizar operaciones:

Supongamos una función  $f(\cdot)$  monótona creciente, invertible.

Supongamos que podemos sintetizar su inversa  $f^{-1}(\cdot)$



Entonces  $\rightarrow y(t) \sim f(u(t))$  !!!

# Estado tecnológico.

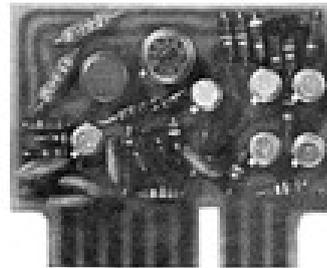
**Válvulas de vacío** (patente 1941)

Dispositivo comercial 1953.



**Transistores**

Dispositivo P45, 1961



**Integrados**

P.ej.:  $\mu$ A709 en 1965

$\mu$ A741 en 1968



# Nace la industria de los Circuitos Integrados

- William Shockley. co-inventor del transistor (1951), funda la compañía “*Shockley Semiconductor*” (1956) en Mountain View, para estar cerca de la casa de la suegra. Sería pronto “Silicon Valley”. Contrata jóvenes doctores en física como parte de su equipo. Hay serias dificultades de ambiente de trabajo.

# Nace la industria de los Circuitos Integrados

- William Shockley. co-inventor del transistor (1951), funda la compañía “*Shockley Semiconductor*” (1956) en Mountain View, para estar cerca de la casa de la suegra. Sería pronto “Silicon Valley”. Contrata jóvenes doctores en física como parte de su equipo. Hay serias dificultades de ambiente de trabajo.
- Robert Noyce, Gordon Moore y el resto de los “8 traidores” abandonan Shockley y fundan “*Fairchild Semiconductor*” (1957) que se convierte en líder de la microelectrónica rápidamente.



# Nace la industria de los Circuitos Integrados

- William Shockley. co-inventor del transistor (1951), funda la compañía “*Shockley Semiconductor*” (1956) en Mountain View, para estar cerca de la casa de la suegra. Sería pronto “Silicon Valley”. Contrata jóvenes doctores en física como parte de su equipo. Hay serias dificultades de ambiente de trabajo.
- Robert Noyce, Gordon Moore y el resto de los “8 traidores” abandonan Shockley y fundan “*Fairchild Semiconductor*” (1957) que se convierte en líder de la microelectrónica rápidamente.
- Robert Noyce co-inventa el primer circuito integrado (1959).
- Cerca de 65 empresas de los siguientes 20 años estarán “emparentadas” con Fairchild.



# Nace la industria de los Circuitos Integrados

- William Shockley. co-inventor del transistor (1951), funda la compañía “*Shockley Semiconductor*” (1956) en Mountain View, para estar cerca de la casa de la suegra. Sería pronto “Silicon Valley”. Contrata jóvenes doctores en física como parte de su equipo. Hay serias dificultades de ambiente de trabajo.
- Robert Noyce, Gordon Moore y el resto de los “8 traidores” abandonan Shockley y fundan “*Fairchild Semiconductor*” (1957) que se convierte en líder de la microelectrónica rápidamente.
- Robert Noyce co-inventa el primer circuito integrado (1959).
- Cerca de 65 empresas de los siguientes 20 años estarán “emparentadas” con Fairchild.
- Posteriormente Noyce y Moore abandonan Fairchild y fundan Intel (1968)



# Artículo de Gordon Moore, “*Electronics*”, 1965

”Abarrotando más componentes en circuitos integrados”

[http://web.eng.fiu.edu/npala/EEE6397ex/Gordon\\_Moore\\_1965\\_Article.pdf](http://web.eng.fiu.edu/npala/EEE6397ex/Gordon_Moore_1965_Article.pdf)

The experts look ahead

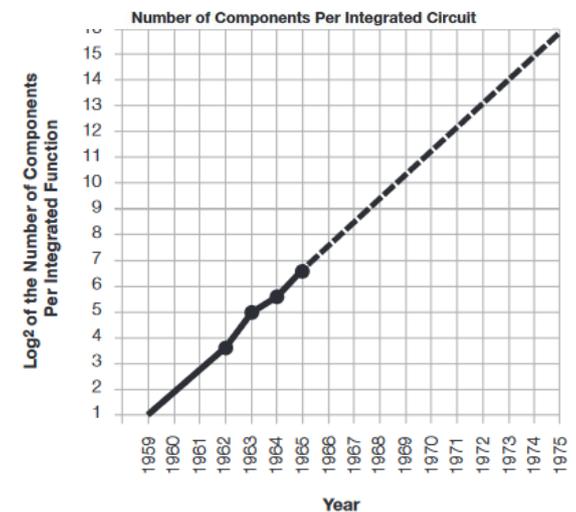
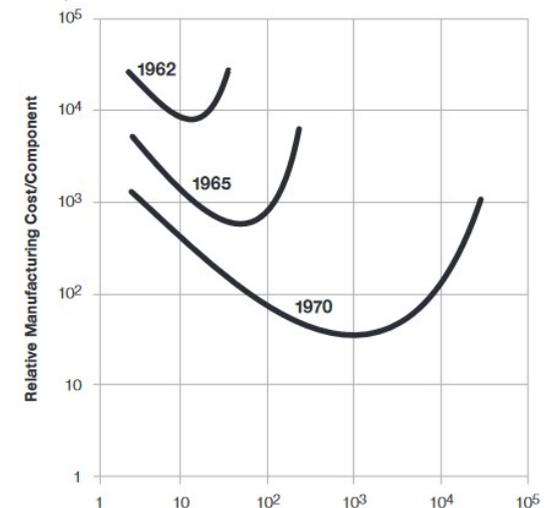
## Cramming more components onto integrated circuits

With unit cost falling as the number of components per circuit rises, by 1975 economics may dictate squeezing as many as 65,000 components on a single silicon chip

By Gordon E. Moore

Director, Research and Development Laboratories, Fairchild Semiconductor division of Fairchild Camera and Instrument Corp.

Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965

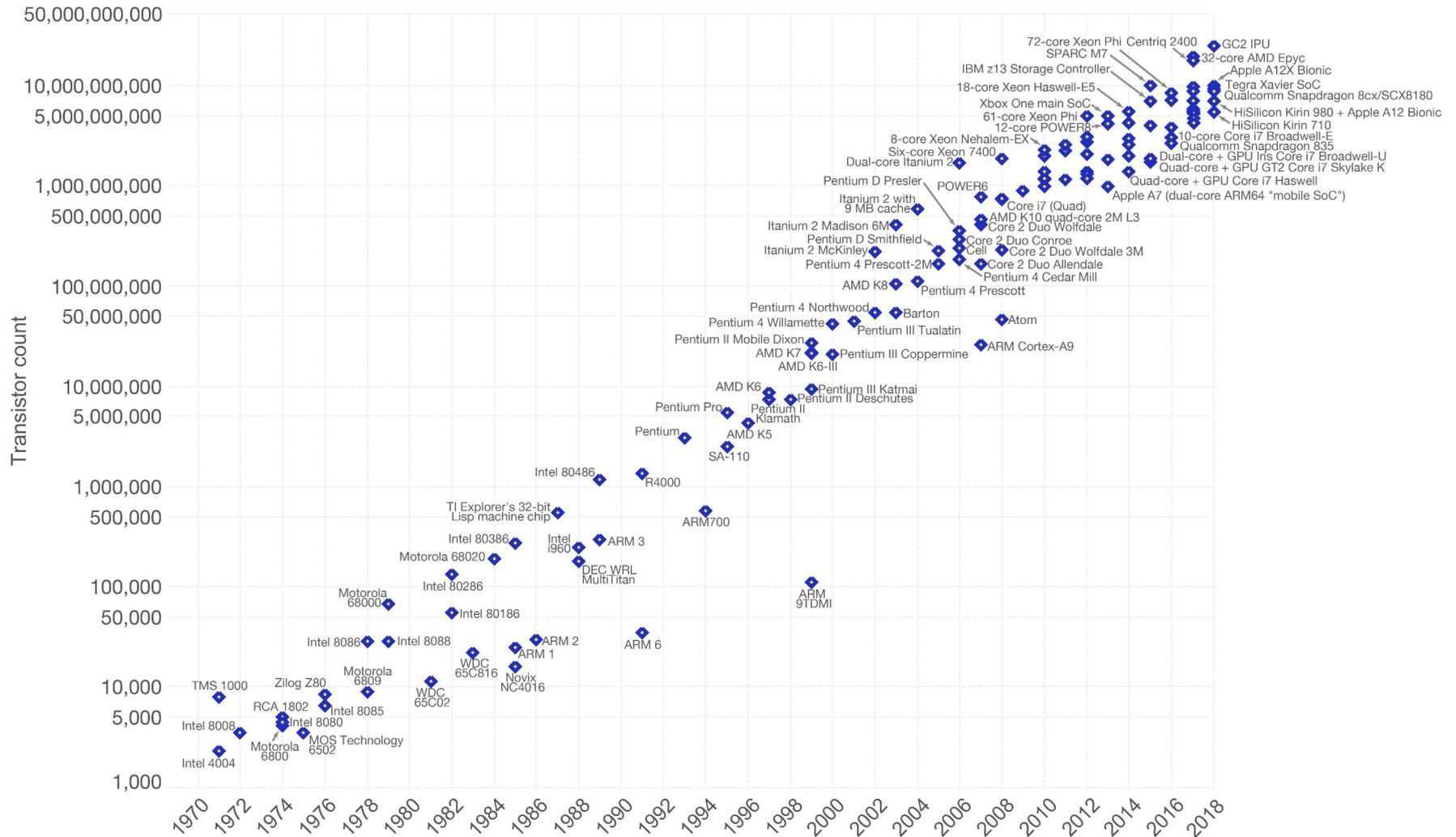


# La “Ley de Moore” hoy



## Moore’s Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018)

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.

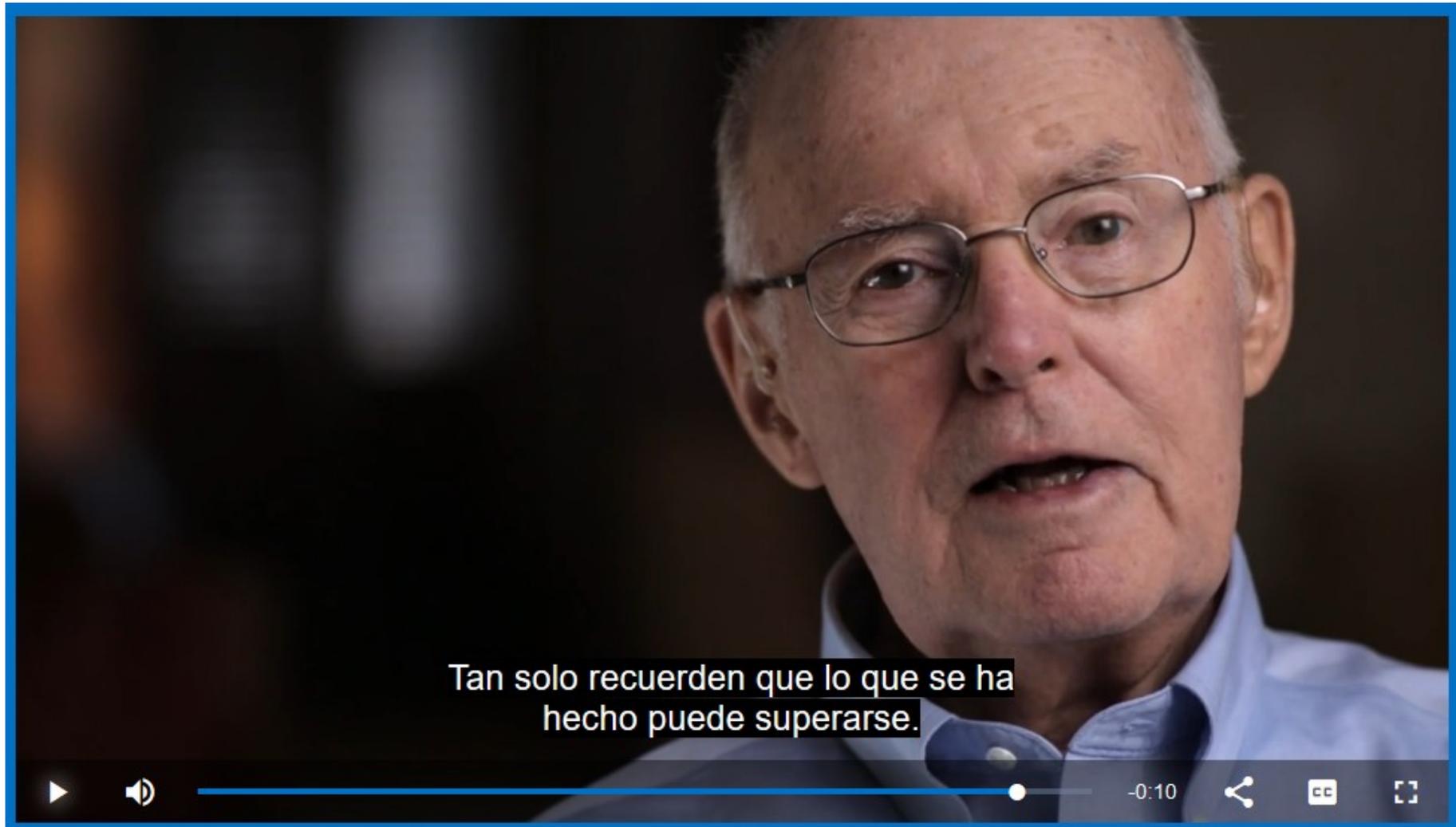


Data source: Wikipedia ([https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count))  
The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://www.ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

# Puede oirlo directamente del Dr. Gordon Moore

<https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html>



## Bob Widlar (1937-1991)

- Pionero en la concepción, diseño y construcción de circuitos integrados analógicos lineales.
- Fairchild Semiconductor (1963-1965)
  - $\mu$ A702 (1964) - Primer amplificador operacional monolítico (ganancia 2.800, precio U\$ 300)
  - $\mu$ A 709 (1965) (ganancia 70.000, precio \$70).
- National Semiconductor (1966-1970)
  - LM100 - Primer regulador lineal de voltaje
  - LM101 – Op-amp, mayor ganancia, menor consumo, protección contra cortocircuito.



## Bob Widlar (1937-1991)

- Pionero en la concepción, diseño y construcción de circuitos integrados analógicos lineales.
- Fairchild Semiconductor (1963-1965)
  - $\mu$ A702 (1964) - Primer amplificador operacional monolítico (ganancia 2.800, precio U\$ 300)
  - $\mu$ A 709 (1965) (ganancia 70.000, precio \$70).
- National Semiconductor (1966-1970)
  - LM100 - Primer regulador lineal de voltaje
  - LM101 – Op-amp, mayor ganancia, menor consumo, protección contra cortocircuito.
- Numerosas patentes, p.ej.: fuente de corriente Widlar, referencia de voltaje Widlar bandgap, etapa de salida Widlar.
- Para 1970 más de la mitad de los CI's del mundo fueron diseñados por Widlar y Talbert.



## Bob Widlar (1937-1991)

- Pionero en la concepción, diseño y construcción de circuitos integrados analógicos lineales.
- Fairchild Semiconductor (1963-1965)
  - $\mu$ A702 (1964) - Primer amplificador operacional monolítico (ganancia 2.800, precio U\$ 300)
  - $\mu$ A 709 (1965) (ganancia 70.000, precio \$70).
- National Semiconductor (1966-1970)
  - LM100 - Primer regulador lineal de voltaje
  - LM101 – Op-amp, mayor ganancia, menor consumo, protección contra cortocircuito.
- Numerosas patentes, p.ej.: fuente de corriente Widlar, referencia de voltaje Widlar bandgap, etapa de salida Widlar.
- Para 1970 más de la mitad de los CI's del mundo fueron diseñados por Widlar y Talbert.
- 1970 vende sus acciones en U\$ 1: y se retira a "no trabajar" a Puerto Vallarta (México) a los 33 años.



# Bob Widlar (1937-1991)

- Patente de fuente de corriente para CI's (1967)

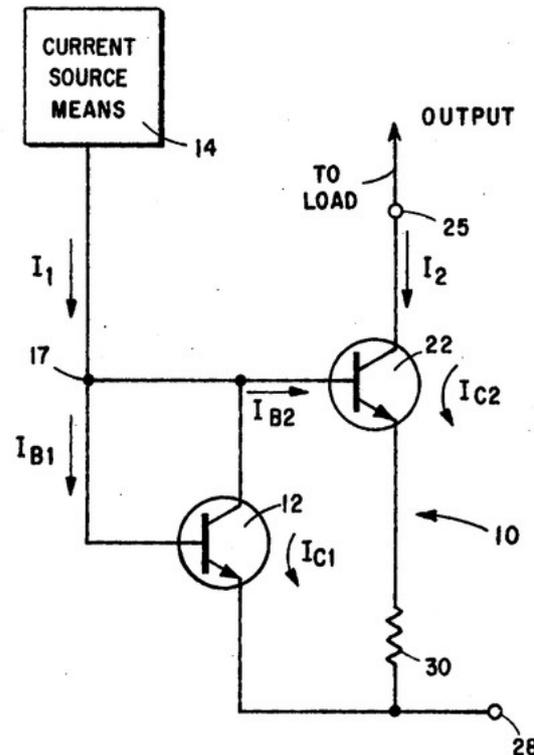
May 16, 1967

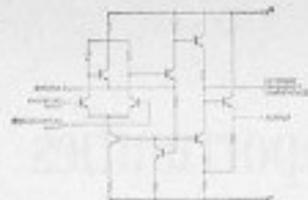
R. J. WIDLAR

3,320,439

LOW-VALUE CURRENT SOURCE FOR INTEGRATED CIRCUITS

Filed May 26, 1965

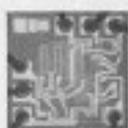
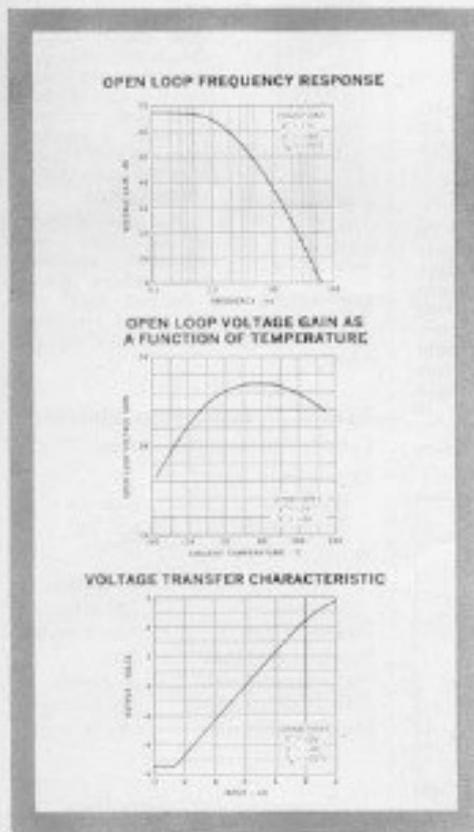




# NOW-A COMPLETELY INTEGRATED OPERATIONAL AMPLIFIER

## New Silicon Planar $\mu A702$ features low offset, high gain

- Low input offset voltage - 2mV
- Low Thermal Drift -  $5\mu V/^{\circ}C$
- High voltage gain - 2800
- Large Output Swing -  $\pm 5.5V$
- Operation over a wide range of supply voltages



Built into a single chip of silicon using Fairchild's Planar Epitaxial process, the new  $\mu A702$  is a complete operational amplifier useful from d-c through 10 mc. It was specifically designed for applications requiring a feedback amplifier, such as miniaturized analog computers and precision instrumentation. It is mounted in 8-lead TO-5 or Fairchild's CERPAK flat package (10 leads with 8 active). The  $\mu A702$  features the same high reliability as Fairchild Micrologic. Prices (TO-5 package): 1-24, \$50; 25-99, \$40; 100-999, \$34. For complete specifications, write for data sheet.

AVAILABLE DIRECTLY FROM DISTRIBUTOR STOCKS

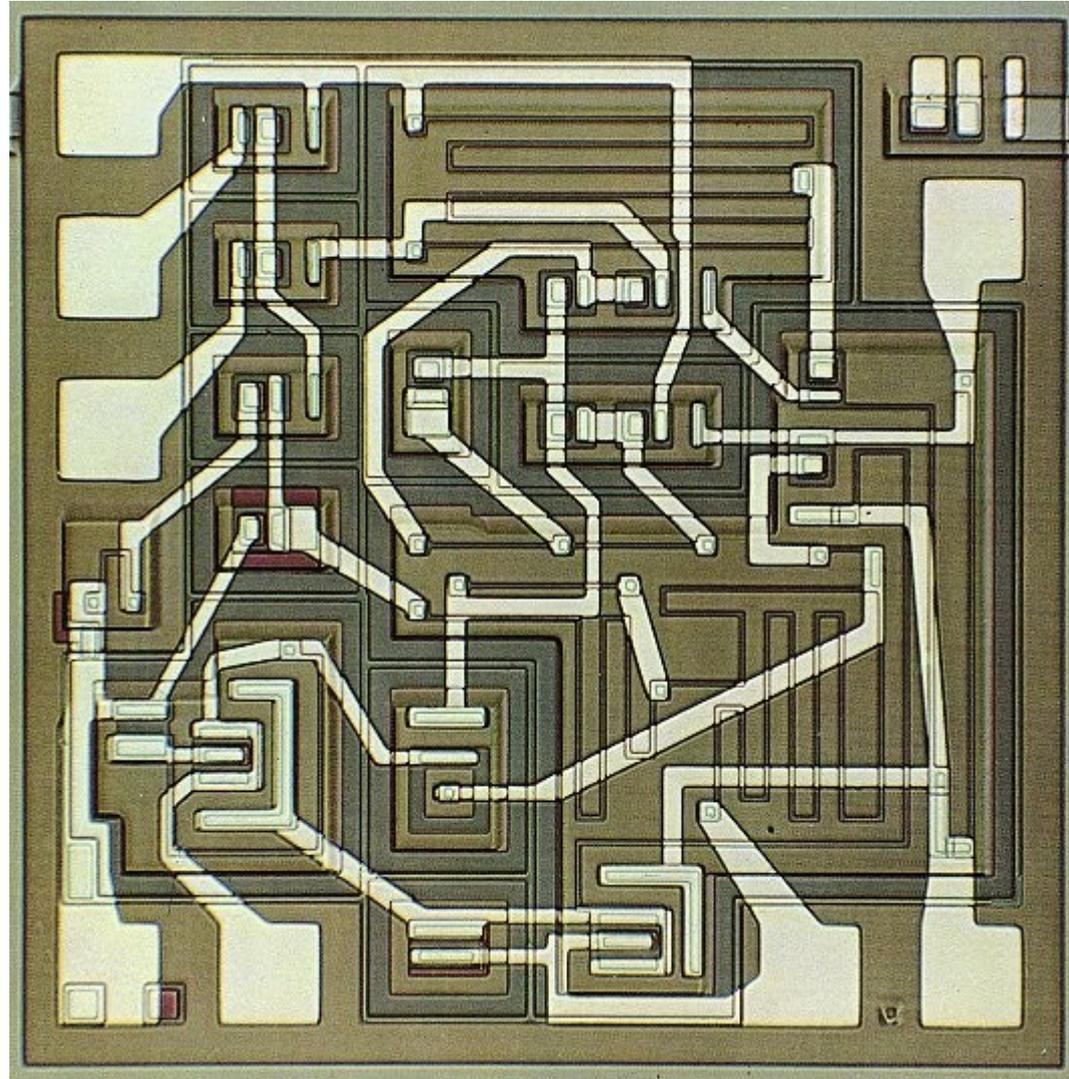
**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

**DISTRIBUTORS/STOCKING REPRESENTATIVES**  
 ARNET Toronto, Canada 220-2522; BISHMAN Orlando, Fla. 425-8611; CRAMER ELECTRONICS Norcross, Ga. 967-7790; GARY SALES Newark, N.J. 874-1700; GORDON, N.Y. 516-9201; DENNY HARRIS San Diego, Cal. 279-2427; EASTERN SEMICONDUCTOR Syracuse, N.Y. 434-5252; E. E. DUDMANO Dallas, Mississippi, Miss. 689-8107; ENSCO Cedar Rapids, Ia. 324-1511; HANCOCK Co. Mo. 636-9200; ISL Iowa Mo. 243-7711; HAMILTON Phoenix, Ariz. 772-2011; GUNN Co. Cal. 875-5216; PALO ALTO, Cal. 321-7541; SOUTHERN, Wash. 282-1800; WYER Englewood, Colo. 750-9744; WASHINGTON, N. Mex. 293-5744; TAYLOR CITY, Ohio. 327-5899; WARDWELL, Springfield, Ill. 540-8270; SAN MARINO, Cal. 962-5-3293; SAN DIEGO, Cal. 594-8-6256; Redwood City, Cal. 349-6-8218; NORWELL, Berlin, Tex. 917-6451; HOUSTON, Tex. 963-5-9558; POMOIS, Berkeley, Md. 474-0020; PHOENIX, Pa. 724-7559; SCHLEY Waterbury, Mass. 924-5223; SCHNEIDER, Melrose, L.I. N.Y. 894-1474; SEMICONDUCTOR SPECIALISTS Chicago, Ill. 422-8800; WASHINGTON, Wash. 296-2420; SHROUD, Cincinnati, Ohio. 761-5432; Cleveland, Ohio. 894-1281; Bedford, Mass. 271-8911; 800-30 STATE, Cambridge, Mass. 889-8922; STANDARD, Suffern, N.Y. 87-5-3000; 149159, Bedford, U.S. N.Y. 84-1-8000; 750-321; HARTMAN, Wash. 524-7008; HULLER, Mount Park, Pa. 947-3218; Baltimore, Md. 96-8-6900; Cherry Hill, N.J. 962-5-0111.

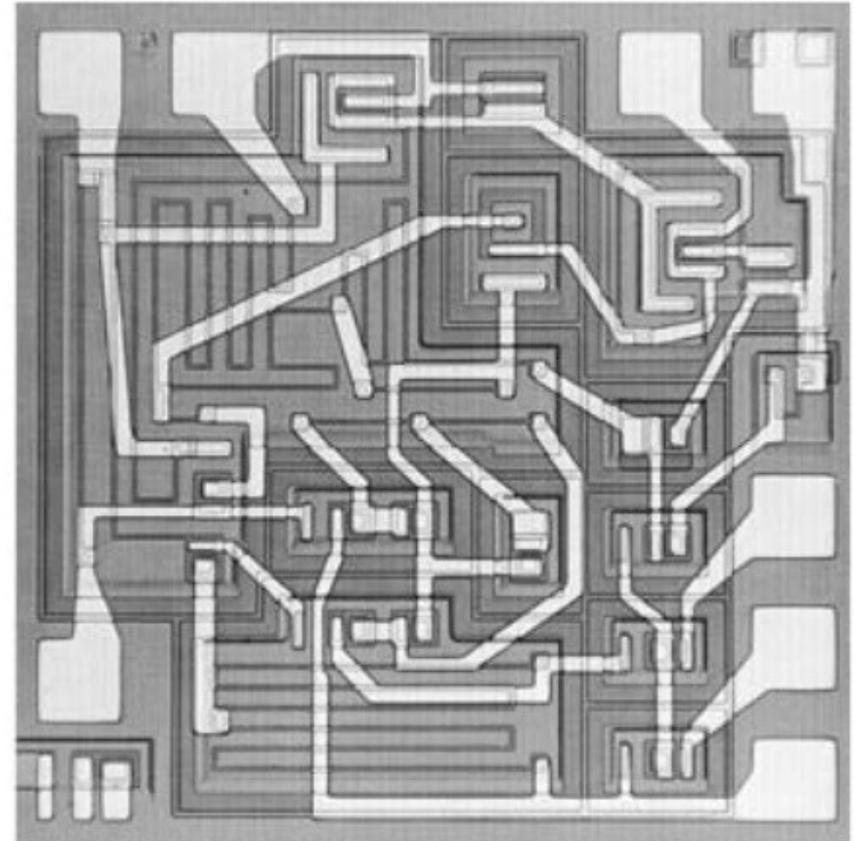
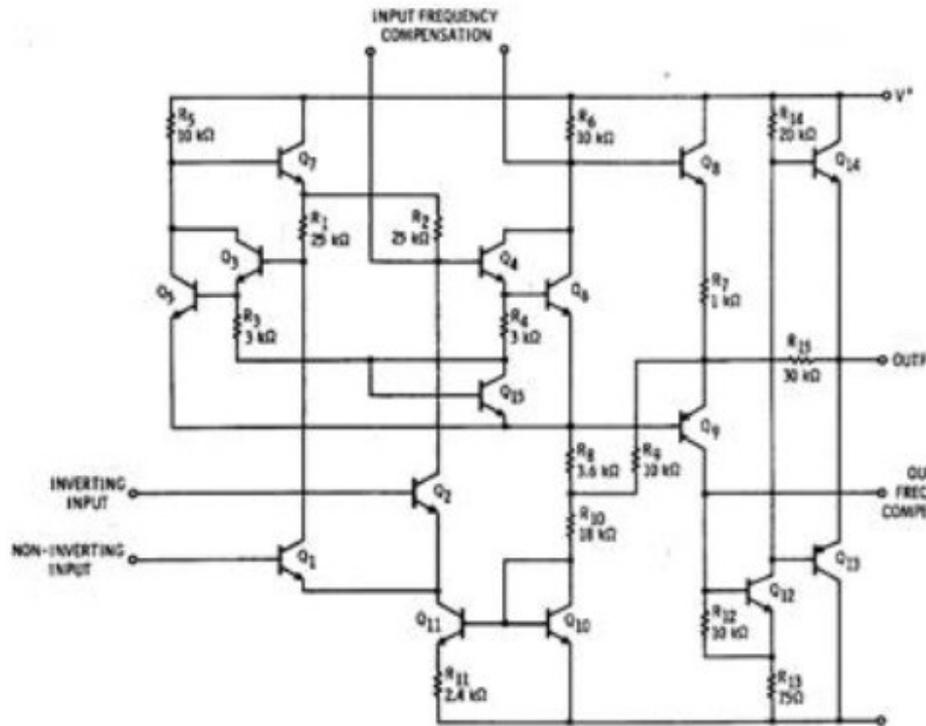
**FACTORY SALES OFFICES**  
 HUNTSVILLE, Ala. 576-6428; 4401; COTTSDALE, Ill. 344-6480; PALM ALTO, Cal. 327-8786; SHERMAN OAKS, Cal. 782-1380; ST. BEVISE, ENGLEWOOD, Colo. 740-1720; ORLANDO, Fla. 381-7094; OAK PARK, Ill. 318-5285; COLLEGE PARK, Md. 776-1044; BEDFORD, Mass. 275-8950; MINNEAPOLIS, Minn. 826-1301; ENWELL, N.Y. 754-7460; BRIDGE, L.I. N.Y. 83-8-8000; POLYMERVILLE, N.Y. 434-7120; SPRINGFIELD, N.Y. 682-5291; DAYTON, Ohio 228-1131; JENNIFERS, Penn. 816-6601; SEATTLE, Wash. 472-5344; CANADA OFFICE, TORONTO, ONTARIO 961-9226.

# Bob Widlar (1937-1991)

- $\mu$ A709, fotografía (1965)



# Bob Widlar (1937-1991)



**Fig. 8.25.** The Fairchild Operational Amplifier  $\mu\text{A} 709$  has fourteen bipolar transistors and fifteen resistors. Actual die size:  $1880 \times 1880 \mu\text{m}$

**De “History of Semiconductor Engineering”**



- Gran capacidad de “simplificación”.
- Crear reglas nuevas de diseño aprovechando las características de la integración.
- Trabajador incansable.
- Perseguía los detalles en cada etapa del proceso.

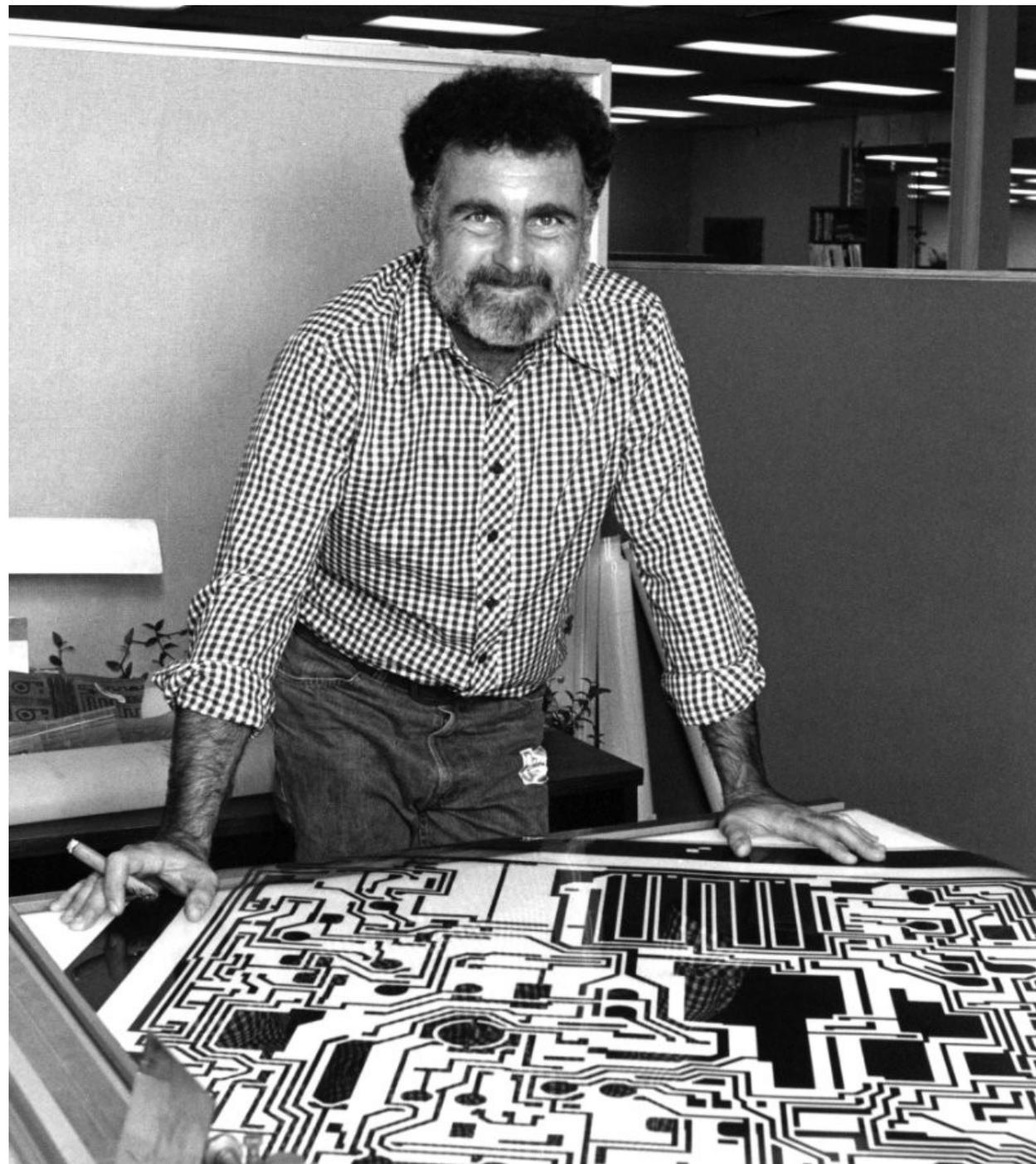


Foto: © Bo Lojek, “History of Semiconductor Engineering”, Springer 2006

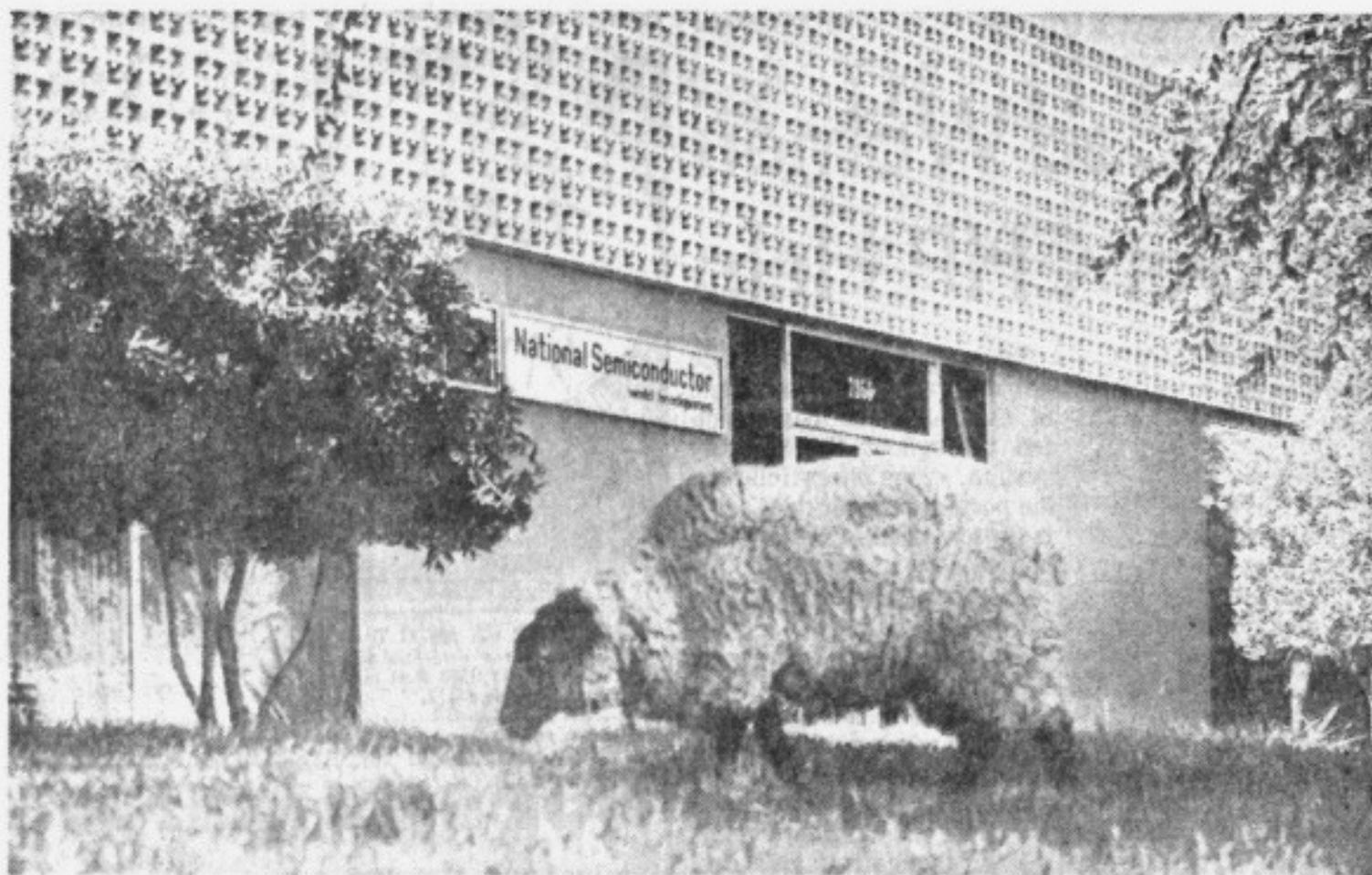
Según algunos  
colegas y compañeros  
de trabajo, era algo  
excéntrico e  
histriónico...



# Era algo bromista

## Economy Mowing

This is not Mary's little lamb grown up and following her to work. It is a lawnmower. Bob Widlar, director of advanced circuits development, "borrowed" the sheep for the front lawn of National Semiconductor in Santa Clara to help the firm's austerity program by cutting mowing expenses. Widlar admitted it is "putting a lot of gardeners out of work," but notes "at the same time the grass gets cut, it gets fertilized, too."



# Era algo bromista

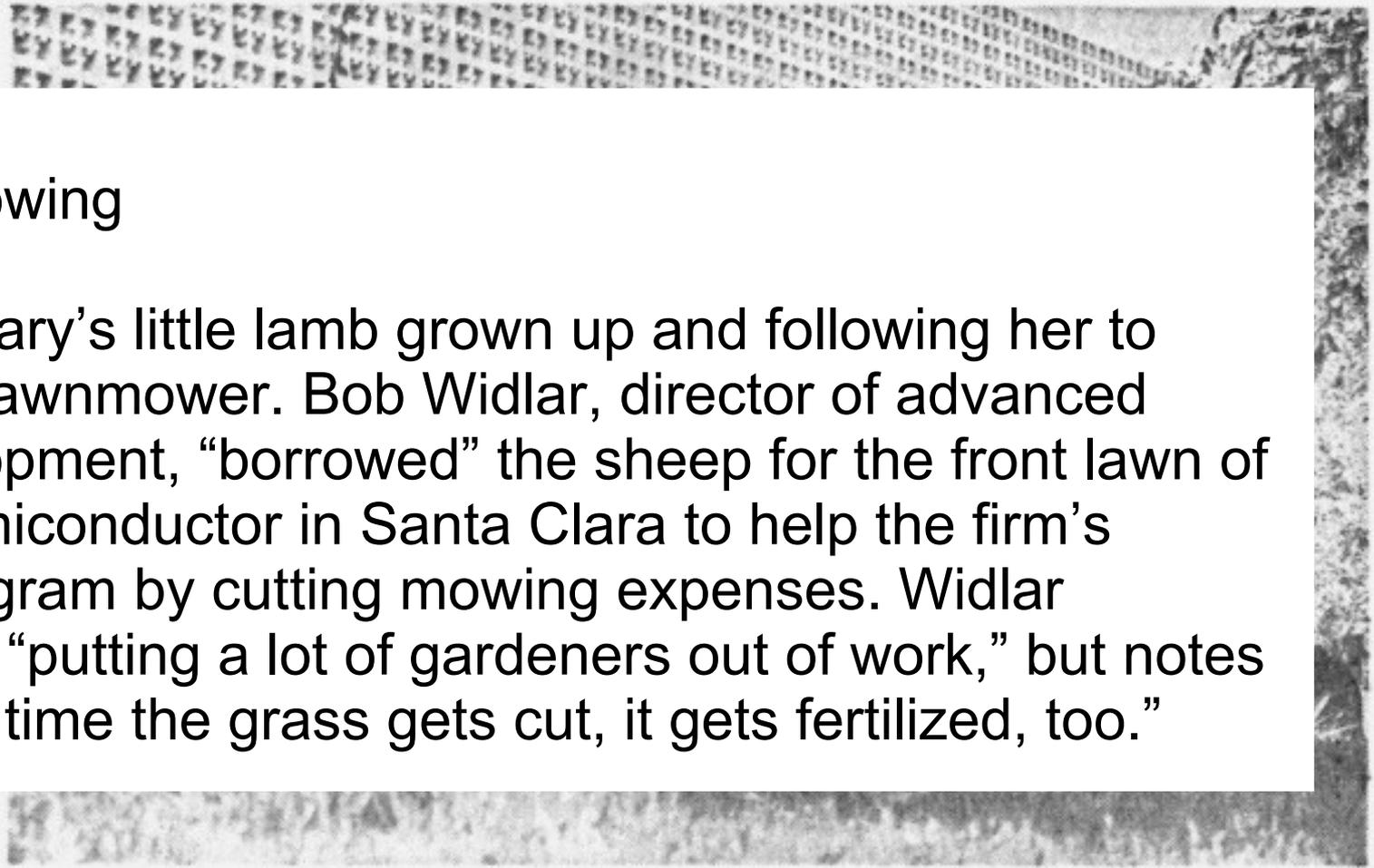
## Economy

A

This  
larr  
low  
a l  
Wid  
var  
me  
she  
of  
tor  
the  
gra  
exp  
mit  
lot  
wor  
san  
cut, it gets fertilized,  
too."

### Economy Mowing

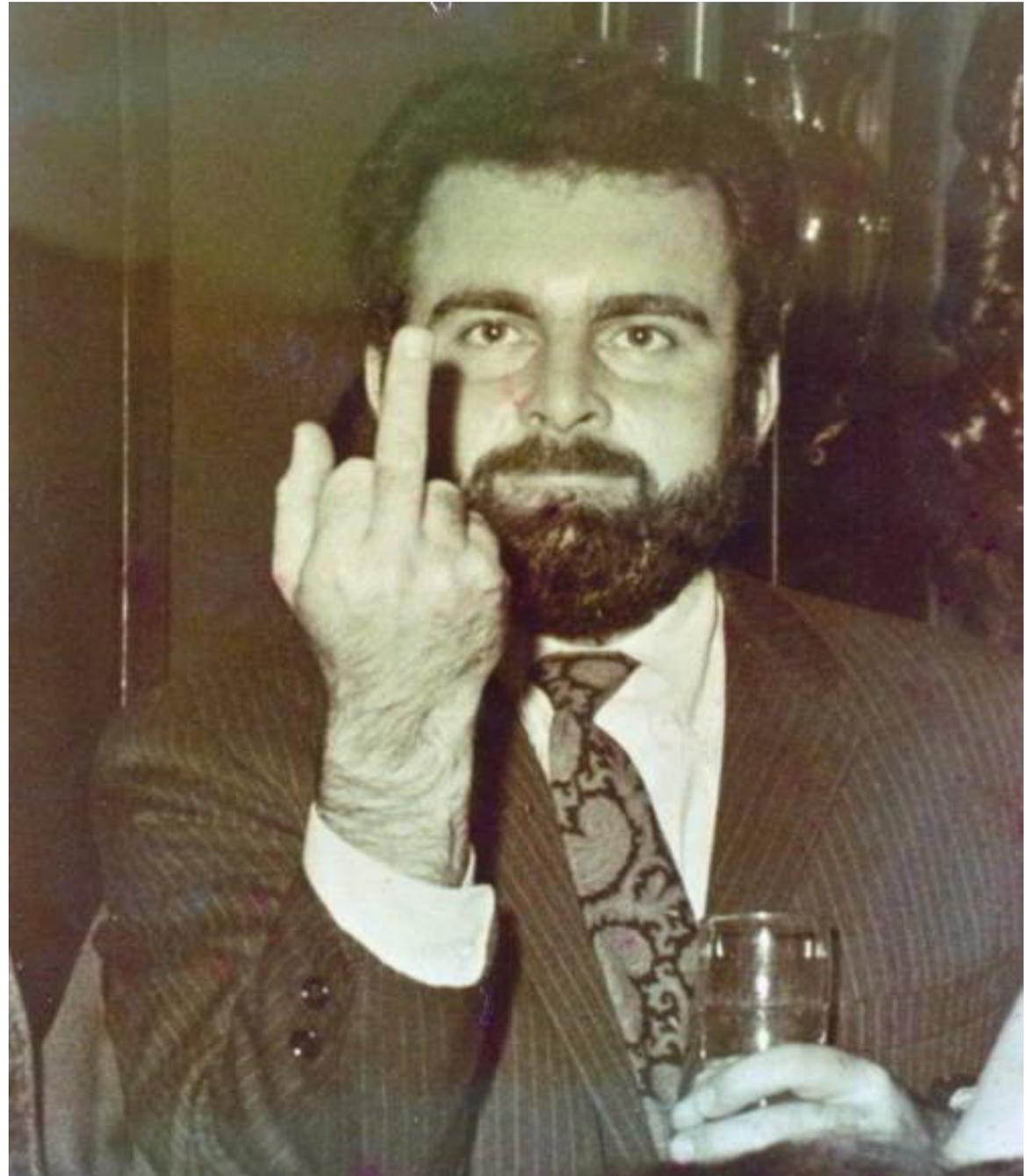
This is not Mary's little lamb grown up and following her to work. It is a lawnmower. Bob Widlar, director of advanced circuit development, "borrowed" the sheep for the front lawn of National Semiconductor in Santa Clara to help the firm's austerity program by cutting mowing expenses. Widlar admitted it is "putting a lot of gardeners out of work," but notes "at the same time the grass gets cut, it gets fertilized, too."





También tenía otro costado, temperamental...

También tenía otro costado, temperamental...

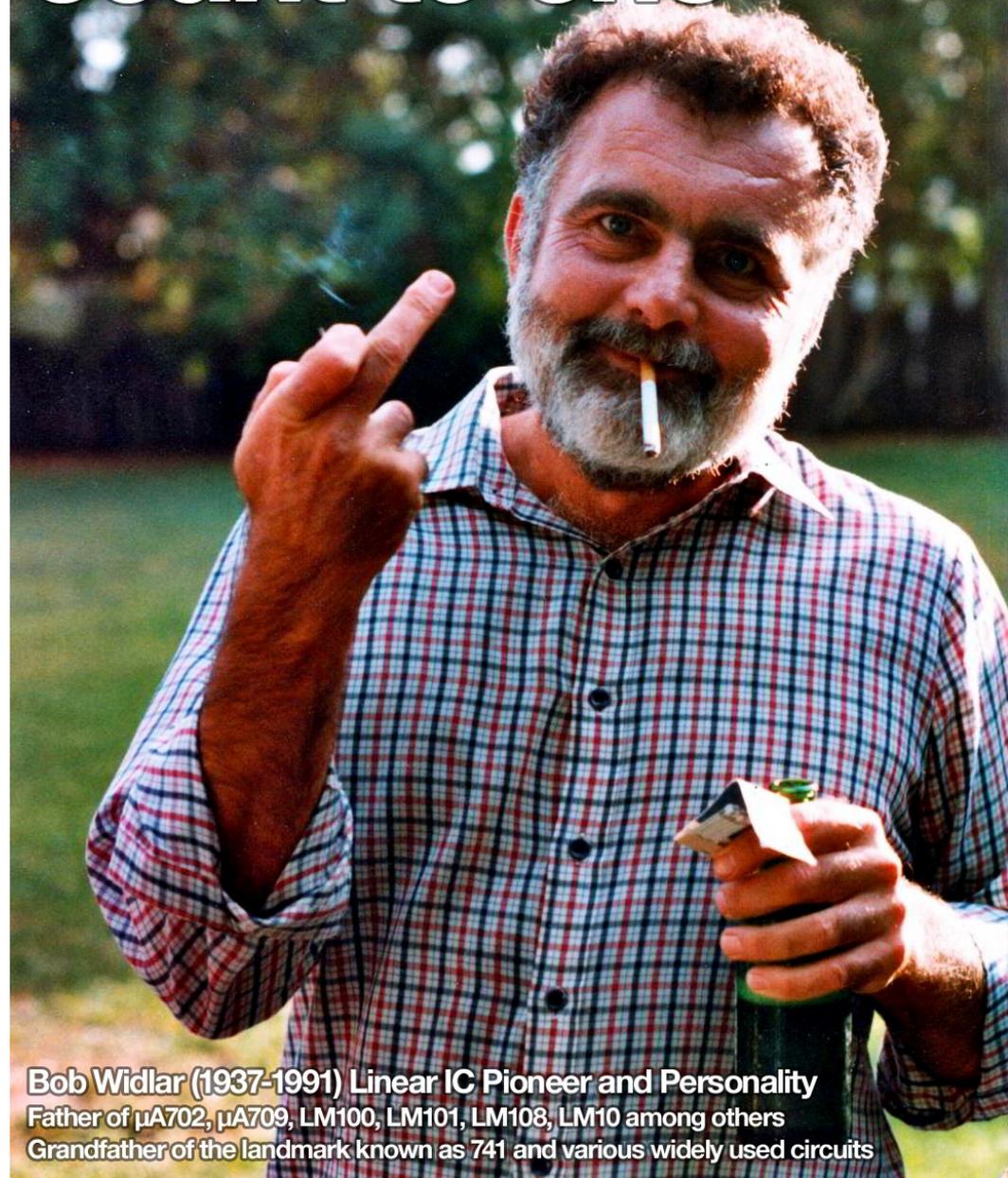


Su gesto más característico

Con opiniones muy firmes,  
por ejemplo respecto los  
circuitos digitales

Con opiniones muy firmes,  
por ejemplo respecto los  
circuitos digitales

digital?  
“every idiot can  
count to one”



**Bob Widlar (1937-1991) Linear IC Pioneer and Personality**  
Father of  $\mu$ A702,  $\mu$ A709, LM100, LM101, LM108, LM10 among others  
Grandfather of the landmark known as 741 and various widely used circuits

# ¿Circuitos digitales?



Era un momento de competencia durísima

# Our message to the competition is simple and straightforward.

We've had it with namby-pamby blue sky advertising. From now on, National doesn't pussyfoot. We're going to take on the rest of the semiconductor industry and let the chips fall where they may.

We're the second largest manufacturer in just about every product category and we're going to let everyone know it.

We're also going to introduce some new products that will knock the competition right on their profit margins.

There are also a few things we're *not* going to do. We're not going to make a lot of products nobody needs. That's Signetics' job.

We're not going to introduce a new, hot-shot device that isn't even off the drawing board yet. Fairchild is much better at it anyway.

We're not going to promise a shipment for September that we couldn't possibly deliver before Christmas. That's TI's game.

And, we're not going to sit around on our ingots waiting for the second source business. Motorola's cornered the market on that one.

In short, we're going to be damned hard to compete with.

You know where nice guys finish.  
National Semiconductor Corporation  
2900 Semiconductor Drive, Santa Clara, Calif. 95051  
Phone (408) 732-5000/TWX (910) 339-9240

**National**



# Era un momento de competencia durísima

- We're also going to introduce some new products that will knock the competition right on their profit margins.
- There are also a few things we're not going to do:
- We're not going to make a lot of products nobody needs. That's Signetics' job.
- We're not going to introduce a new hot-shot device that isn't even off the drawing board yet. Fairchild is much better at it anyway.
- We're not going to promise a shipment for September that we couldn't possibly deliver before Christmas. That's TI's game.
- And we're not going to sit around on our ingots waiting for the seconds source business. Motorola's cornered the market on that one.

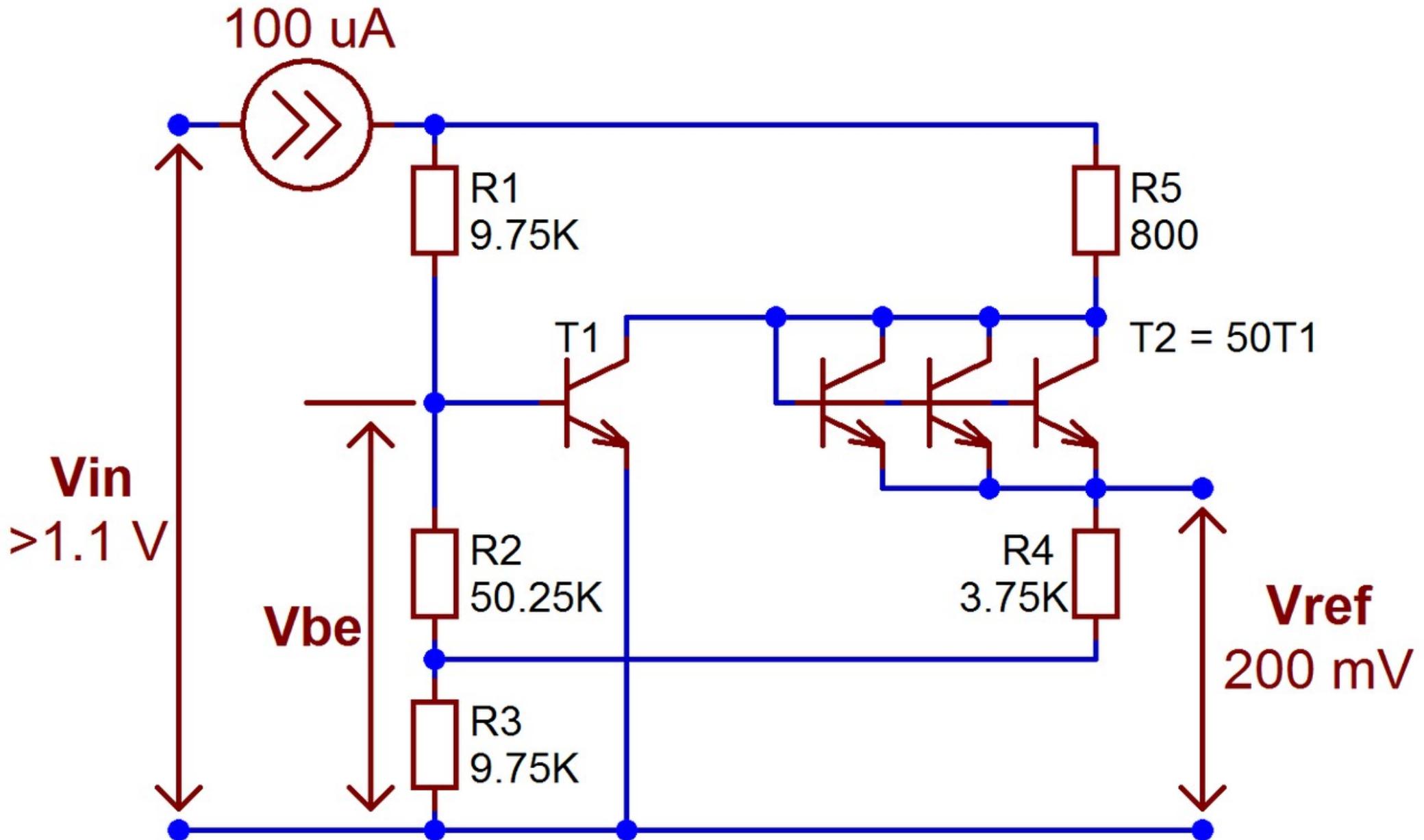
You know where nice guys finish.

# Retorno

- A fines de 1974, decide trabajar periodicamente como consultor de National Instruments, combinando su retiro en Puerto Vallarta.
- Diseños muy importantes, p.ej.:
  - > LM12 power amplifier.
  - > Etapa de salida “Widlar” de bajo voltaje.
  - > LM10 ultra-low-voltage amplifier, capaz de operar con fuente de 1.1v (1978)

Aún en producción en el s.XXI. Durante 10 años no hubo otro diseño en la industria que alcanzara su desempeño.
- En 1981 funda “*Linear Technology*”, donde trabaja hasta 1984.
- Vuelve a National Instruments (1984 – 1991 ).

# Referencia de voltaje 0.2v - Widlar subbandgap LM10 (1976)



# Período corto de grandes avances tecnológicos

