مزایای هادی های میلیکان

هادی:

وظیفه هادی در کابل ها ، هدایت جریان الکتریکی می باشد. هادی ها از لحاظ جنس به دو نوع مسی و آلومینیومی تقسیم بندی می گردند و از لحاظ ساختار رشته های تشکیل دهنده به چهار دسته تقسیم می شوند: هادی مفتولی، هادی تابیده شده منظم، هادی افشان و هادی چند جزئی. که در زیر به بررسی هر کدام می پردازیم.

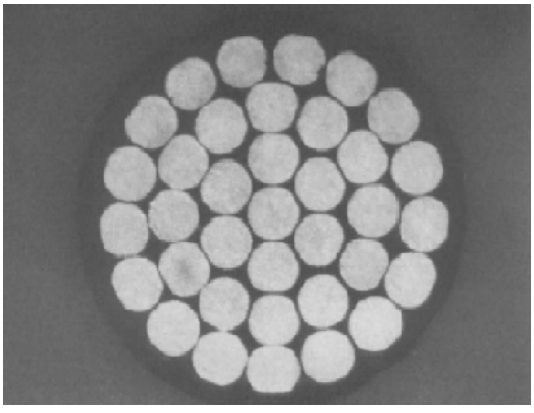
هادی مفتولی (Solid)

این هادی ها از جنس مس یا آلومینیوم می باشند و مجموعه هادی از یک رشته گرد یا شکل داده شده تشکیل می شود و در سطوح تا $25mm^2$ معمولاً استفاده می شوند و سایز های بالاتر از آن جهت استفاده عمومی مناسب نیست. عدم انعطاف پذیری از معایب اصلی این نوع کابل ها می باشد که مصرف آنها را محدود می نماید.

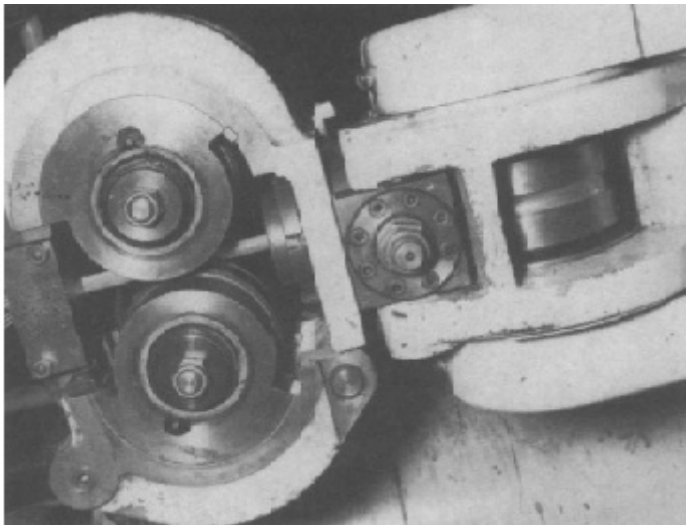
هادی تابیده شده منظم (Stranded circular)

با افزایش سطح مقطع در هادی های مفتولی کاهش انعطاف پذیری کابل را داریم و همچنین با توجه به اینکه هنگام عبور جریان الکتریکی متناوب ما شاهد پدیده اثر پوستی (Skin effect) هستیم لذا هادی‌ها را به مقاطع کوچکتر تقسیم می کنند. این هادی‌ها از مجموعه سیم‌های گرد بهم تابیده شده تشکیل میشوند و معمولاً یک رشته در وسط و در لایه اول شش رشته بدور آن تابیده می شود و در مقاطع بزرگتر دوازده رشته دیگر بدور مجموعه اول و به همین ترتیب ادامه پیدا می کند. میتوان از فرمول $n=1+3N(N+1)$ جهت پیدا کردن تعداد رشته های یک هادی که دارای N لایه مختلف است استفاده نمود. این نوع هادی ها به دو نوع مختلف تقسیم بندی می شوند:

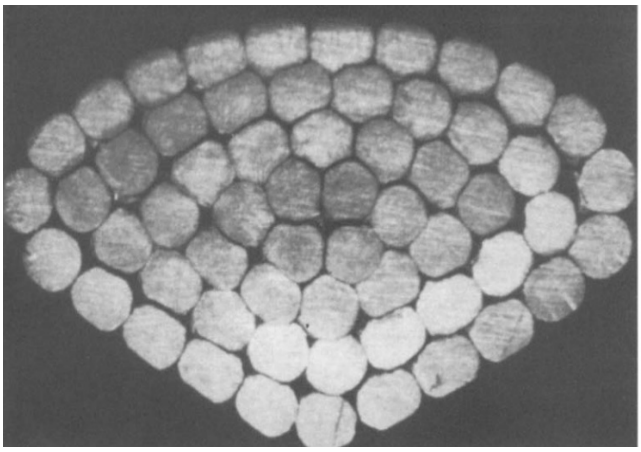
هادی های **فشرده نشده** (Non compact) و **فشرده شده** (Compact) . در شکل زیر یک نمونه کابل با رشته های تابیده شده بدون فشرده سازی مشاهده می گردد.



هنگام تابیده شدن رشته ها بدور یکدیگر در مدل فشرده نشده مابین رشته ها فضای خالی وجود دارد و این فضا باعث ایجاد تخلیه الکتریکی مابین رشته ها (بخصوص در ولتاژهای بالا) می گردد و این امر سبب کاهش طول عمر کابل می شود، لذا جهت جلوگیری از این پدیده و نیز به حداقل رساندن مواد مصرفی در کابل (از قبیل عایق ، روکش ، زره و ...) و داشتن سطحی یکنواخت در هادی که اهمیت زیادی در کابل‌های فشار متوسط و قوی دارد آن را توسط قالب های مخصوص (Die) و یا توسط غلطک های مخصوص فشرده (Compact) می سازند. شکل زیر یک نمونه از این مجموعه غلطک را نشان می دهد.



گاهی اوقات در کابل های فشار ضعیف چند رشته ای و در سایز های بالا جهت از بین بردن فضای اضافی مابین رشته های کابل آنها را به شکل قطاعی(Sector) فشرده می سازند این کار توسط همان مجموعه غلطک های فشرده سازی در حالت گرد انجام می شود با این تفاوت که شکل شیار های غلطک به شکل قطاعی می باشد. یک نمونه از هادی قطاعی فشرده شده در شکل زیر مشخص است:



هادی های افشان قابل انعطاف(Flexible conductors)

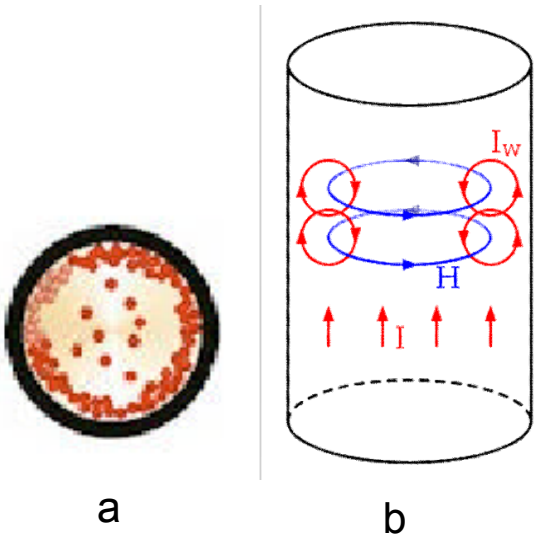
در برخی از نقاط، کابل بایستی دارای انعطاف پذیری باشد و به شکل ثابت نصب نمی شود مانند آسانسورها، جرثقیل ها، کابل های انبر جوشکاری و ...

در این نوع کابل ها از سیم های بسیار ریزی جهت ساخت هادی استفاده می شود و در استاندارد IEC 60228 به هادی کلاس ۵ یا ۶ معروف است .

هادی های چند جزئی (Milliken)

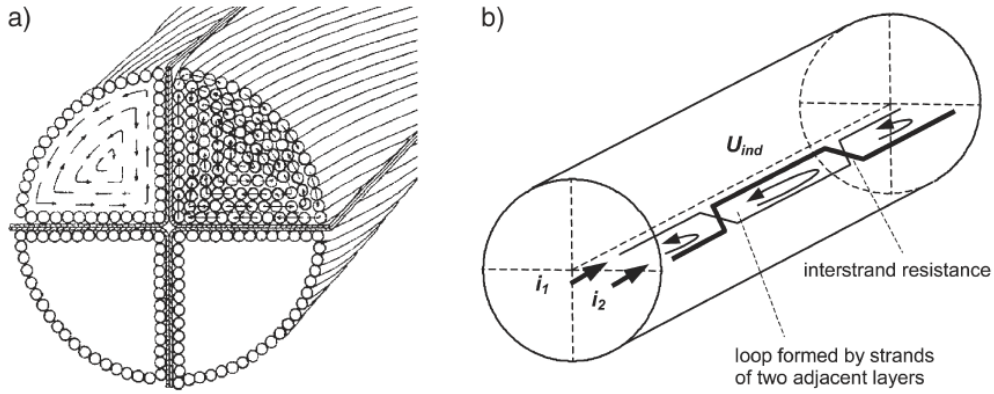
در مقاطع بیشتر از 1000mm² (بخصوص در فلز مس) بدلیل ازدیاد قطر رشته ها قابلیت پرس شدن آنها کم می شود و در مقاطع بالاتر عملاً غیر ممکن می گردد و نیز آثار پوسته ای در این مقاطع بالا رفته و باعث افزایش مقاومت ac کابل می گردد.

شکل a دلیل وجود اثر پوستی را در هادی نمایش می دهد، همانطور که ملاحظه می شود با عبور جریان، میدان مغناطیسی(Electromagnetic fileds) در هادی ایجاد می شود و با توجه به متناوب بودن جریان، این میدان متغیر است و باعث ایجاد جریانی مخالف جریان عادی در سیم می شود (قانون لنز) تا با میدان اصلی مخالفت کند این جریان در مرکز هادی بیشتر از سطح خارجی می باشد لذا سبب میگردد که چگالی جریان در سطح بیشتر از مرکز باشد یا به عبارت دیگر جریان از سطح هادی نسبت به مرکز آن بیشتر عبور کند. شکل b بطور فرضی مسیر حرکت الکترون در سطح هادی را به نمایش گذاشته است که از مرکز هادی جریان کمی عبور می نماید.



a b

حال یکی از راههای کم کردن این اثر استفاده از هادی های چند جزیی(Milliken) می باشد که در شکل زیر(a) مشخص شده است. در هر قطاع(sector) سیم های هر لایه به طور مرتب چیده شده اند. گام رشته ها سبب می شود که فاصله آنها تا مرکز در طول هادی مختلف باشد(بر خلاف هادی گرد فشرده شده که در طول هادی فاصله هر رشته تا مرکز ثابت است) این امر سبب می شود که emf القائی قسمتی از هادی که در نزدیکی مرکز قرار دارد با emf که به سطح نزدیکتر است از نظر جهت خلاف یکدیگر باشند لذا مقداری از این ولتاژ القایی کم شده و به دنبال آن اثر پوستی نیز کاهش می یابد. همچنین این موضوع باعث بوجود آمدن حلقه توسط رشته های لایه های مجاور می گردد که در این حلقه ها ولتاژی بنام U_{ind} القاء شده که جریان این حلقه بستگی به ولتاژ U_{ind} و امپدانس حلقه دارد (ولتاژ مذکور و حلقه در شکل پایین مشخص هستند). هادی با لایه های هم جهت دارای ولتاژ حلقه کمتری نسبت به لایه‌های غیر هم جهت هستند و می توان میزان تلفات ac را با ایزوله کردن سیم ها از یکدیگر (با اکسیداسیون یا استفاده از سیم های لاکی) به حداقل خود رساند.



مقاومت ac کابل های برق به روش زیر بدست می آید:

$$R_{ac}= R_{dc}(1+Y_{skin}+Y_{prox})$$

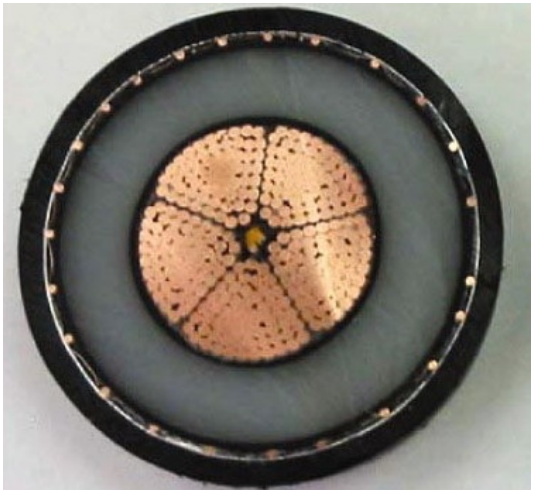
در این رابطه :

Y_{skin} فاکتور اثر پوستی

Y_{prox} فاکتور اثر القایی هادی ها بروی یکدیگر

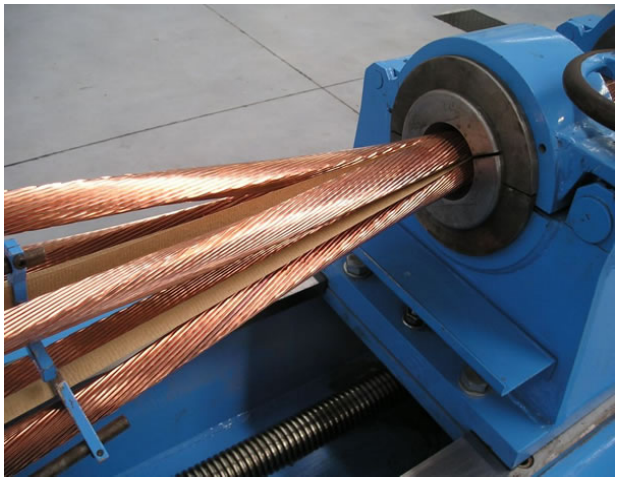
در کابل های برق در صورتی که فاصله کابل ها از ۸ برابر قطر هادی بیشتر باشد می توان از اثر القایی صرف نظر نمود اما اثر پوستی همانطور که بیان شد به طراحی و نوع هادی کابل بستگی دارد. همچنین R_{dc} حداکثر مقاومت هادی است که طبق استاندارد های بین المللی مانند IEC 60228 مشخص میباشد و بر طبق همین استانداردها از سطوح 1200mm² از هادی های چند جزئی (Milliken) استفاده می‌نمایند.

در شکل زیر یک نمونه کابل میلیکن با پنج سکتور مجزا نشان داده شده است.



انعطاف پذیری هادی های میلیکن بمراتب بیشتر از هادی های گرد بهم فشرده شده می باشد زیرا تعداد رشته های تشکیل دهندهٔ هادی زیادتر و قطر آنها نازک تر خواهد شد . همچنین بدلیل اضافه شدن سطح هادی و کاهش اثرات پوستی در کابل میلیکن ، ظرفیت جریانی آن (آمپراژ کابل) بالاتر از کابل گرد خواهد بود.

ایـن نـوع هـادی هـا معمـولاً از۴ ، ۵ ، ۶ و ۷ سـکتور مجـزا تشـکیل مـی شـود و هـر چقـدر تعـداد سـکتورهـا بیشـتر باشـد باعـث افـزایش انعطـاف پـذیری و کـم شـدن مقاومـت ac کابـل مـی گـردد. شـرکت سـیمکو توانـایی سـاخت هـادی میلـیکن بـا حـداکثر شـش سـکتور را دارد. پـس از آمـاده شـدن سـکتورها در دسـتگاه هـای اسـترندر، آنهـا توسـط دسـتگاههای مخصـوص(Drum Twister) بـدور یکـدیگر تابیـده و هـادی اصـلی کابـل را تشـکیل مـی دهنـد (شـکل صـفحه بعـد) ، بعنـوان مثـال هـادی 2000mm² شـامل ۵ سـکتور 400mm² مـی توانـد باشـد.(5×400=2000mm²).



در جـدول زیـر مطـابق اسـتانداردهای IEC 60228 و IEC 60287-1-1 دو نمونـه کابـل بـا سـطح مقطـع 1600mm² مقدار ضـریب اثـر پوسـتی و مقاومـت ac در حـداکثر دمـای کـاری هـادی کابـل محاسـبه شـده اسـت و ملاحظه مـی گـردد کـه مقاومـت ac در هـادی فشـرده گـرد از جـنس آلومینیـوم نسـبت بـه هـادی میلـیکن ۱۲٪ و در هادی مسی ۲۱٪ کاهش یافته است.

Type	Size(mm^2)	R_{dc}(90 c°)(Ω/km)	Ks	Ys	Rac(90 c°)°)(Ω/km)
AL-compact	1600	0.02385	1	0.1295	0.0269
AL-Milliken	1600	0.02385	0.28	0.0112	0.0241
CU-compact	1600	0.01441	1	0.3006	0.0187
CU-Milliken	1600	0.01441	0.44	0.0707	0.0154

در این جدول :

K_s : ضریب اثر پوستی که طبق جدول شماره دو استاندارد IEC 60287-1-1 بدست می آید

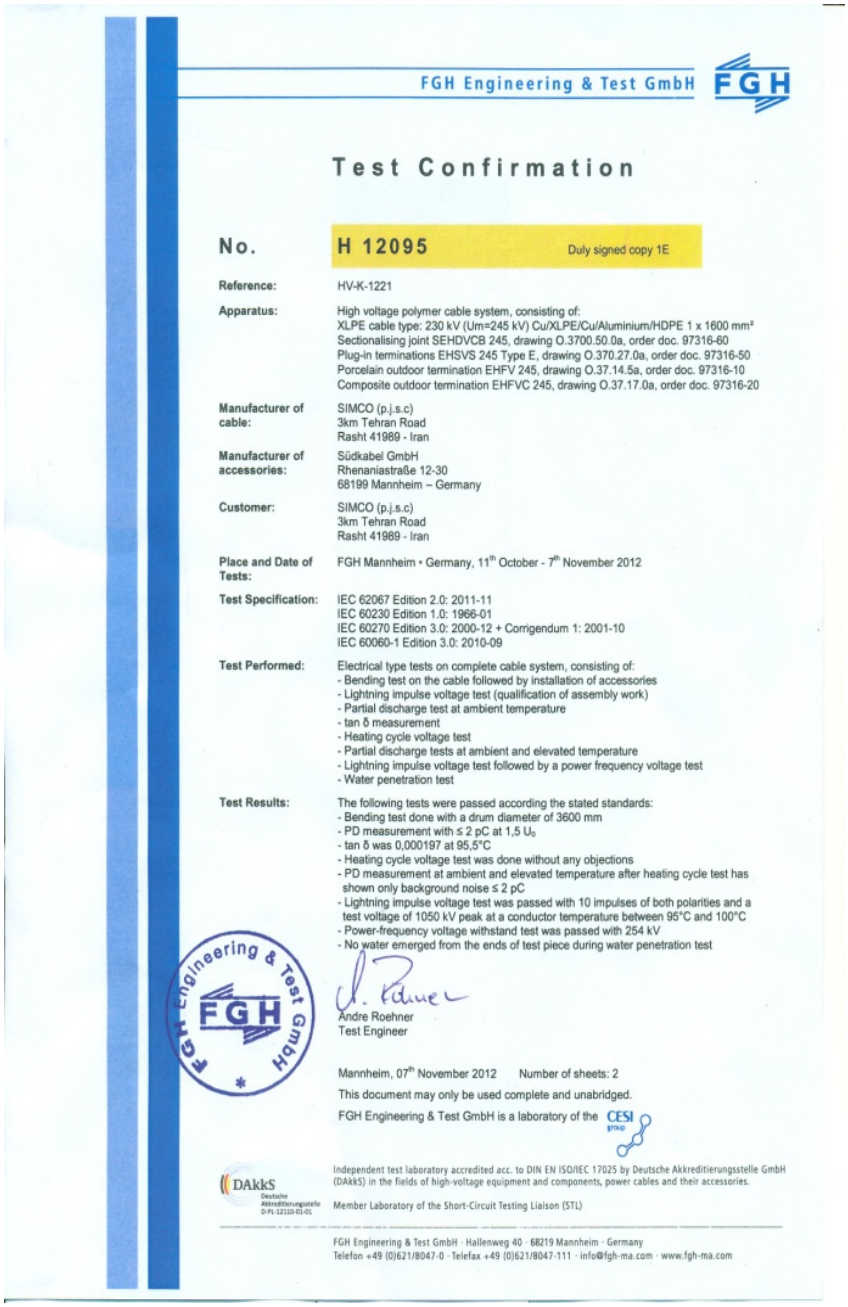
Y_s: فاکتور اثر پوستی

فرمول محاسبه مقدار Y_s به شرح زیر است:(توجه شود که R_{dc} برحسب Ω/km محاسبه شده است)

$$Ys = \frac{X^4}{192+0.8X^4} \quad \text{WITH} \quad X^2 = \frac{8\pi F Ks 10^{-4}}{Rdc}$$

F : فرکانس می باشد که در محاسبات ۵۰ هرتز در نظر گرفته شده است.

کارخانه سیمکو با نصب تجهیزات پیشرفته و با آخرین تکنولوژی روز دنیا موفق به ساخت کابل با هادی میلیکن شده و یک نمونه کابل ضد آب با سطح مقطع 1600mm² و با سطح ولتاژ 230kV با موفقیت تحت آزمایشات نوعی در آزمایشگاه بین المللی FGH آلمان قرار گرفته است. نمونه این کابل به همراه گواهی تأیید در تصویر زیر مشخص است.



FGH Engineering & Test GmbH

Test Confirmation

No. H 12095 Duly signed copy 1E

Reference: HV-K-1221

Apparatus: High voltage polymer cable system, consisting of:
XLPE cable type: 230 kV (Um=245 kV) Cu/XLPE/Cu/Aluminium/HDPE 1 x 1600 mm²
Sectionalising joint SEHDVCB 245, drawing O.3700.50.0a, order doc. 97316-60
Plug-in terminations EHSVS 245 Type E, drawing O.370.27.0a, order doc. 97316-50
Porcelain outdoor termination EHFV 245, drawing O.37.14.5a, order doc. 97316-10
Composite outdoor termination EHFVC 245, drawing O.37.17.0a, order doc. 97316-20

Manufacturer of cable: SIMCO (p.j.s.c)
3km Tehran Road
Rasht 41989 - Iran

Manufacturer of accessories: Südkabel GmbH
Rhenaniastraße 12-30
68199 Mannheim – Germany

Customer: SIMCO (p.j.s.c)
3km Tehran Road
Rasht 41989 - Iran

Place and Date of Tests: FGH Mannheim • Germany, 11th October - 7th November 2012

Test Specification: IEC 62067 Edition 2.0: 2011-11
IEC 60230 Edition 1.0: 1966-01
IEC 60270 Edition 3.0: 2000-12 + Corrigendum 1: 2001-10
IEC 60060-1 Edition 3.0: 2010-09

Test Performed: Electrical type tests on complete cable system, consisting of:
- Bending test on the cable followed by installation of accessories
- Lightning impulse voltage test (qualification of assembly work)
- Partial discharge test at ambient temperature
- tan δ measurement
- Heating cycle voltage test
- Partial discharge tests at ambient and elevated temperature
- Lightning impulse voltage test followed by a power frequency voltage test
- Water penetration test

Test Results: The following tests were passed according the stated standards:
- Bending test done with a drum diameter of 3600 mm
- PD measurement with ≤ 2 pC at 1,5 U_0
- tan δ was 0,000197 at 95,5°C
- Heating cycle voltage test was done without any objections
- PD measurement at ambient and elevated temperature after heating cycle test has shown only background noise ≤ 2 pC
- Lightning impulse voltage test was passed with 10 impulses of both polarities and a test voltage of 1050 kV peak at a conductor temperature between 95°C and 100°C
- Power-frequency voltage withstand test was passed with 254 kV
- No water emerged from the ends of test piece during water penetration test

FGH Engineering & Test GmbH

Andre Roehner
Test Engineer

Mannheim, 07th November 2012 Number of sheets: 2

This document may only be used complete and unabridged.

FGH Engineering & Test GmbH is a laboratory of the CESI group

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-12110-01-01

Independent test laboratory accredited acc. to DIN EN ISO/IEC 17025 by Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) in the fields of high-voltage equipment and components, power cables and their accessories.

Member Laboratory of the Short-Circuit Testing Liaison (STL)

FGH Engineering & Test GmbH · Hallenweg 40 · 68219 Mannheim · Germany
Telefon +49 (0)621/8047-0 · Telefax +49 (0)621/8047-111 · info@fgh-ma.com · www.fgh-ma.com