# بررسی عملکرد رله دیستانس تطبیقی جدید برای حفاظت شبکه های کابلی

رؤیا سادات نیک جو  سید محمد شهرتاش

قطب علمی اتوماسیون و بهره برداری سیستمهای قدرت

دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران

کلید واژه- حفاظت تطبیقی، حفاظت دیستانس، شبکه های کابلی

Shahrtash@iust.ac.ir  Royasadat_nikjoo@ee.iust.ac.ir

چکیده

تنظیم حفاظت دیستانس در شبکه های کابلی مستلزم ملاحظات خاصی است. در این مقاله عملکرد انواع رله های دیستانس با توجه به امپدانس دقیق دیده شده از سوی رله، برای شبکه های کابلی ***single core*** بررسی می گردد و یک نمونه رله تطبیقی جدید جهت حفاظت شبکه کابلی ارائه شده است.

## ۱- مقدمه

به طور کلی سیتم حفاظتی کابلها به دو گروه تقسیم می شوند:

الف) گروه اول که به پارامترهای کابل وابسته نیست. این بخش شامل سیستم حفاظتی با رله های دیفرانسیلی، مقایسه فاز و جهت دار می باشد.

ب) گروه دوم از رله های دیستانس استفاده می کند که این سیستمها باید بر مشکلات اندازه گیری امپدانس فائق آیند.

شایان ذکر است که در کابل، بخشی از جریان اتصال کوتاه تک فاز در غلاف جاری می گردد، و بر این اساس بخشی از افت ولتاژ اندازه گیری شده متعلق به غلاف خواهد بود. این مسئله باعث می شود که خطای قابل توجهی در اندازه گیری امپدانس به وجود آید و قابلیت اطمینان رله دیستانس کم شود. از این رو باید با محاسبه دقیق امپدانس دیده شده از سوی رله به هنگام بروز اتصال کوتاه[۱],[۲]، عملکرد انواع رله های دیستانس را بررسی و تنظیمات مناسب را برای رله در نظر گرفت.

در این مقاله به بررسی عملکرد رله های دیستانس در حفاظت کابلهای single core پرداخته شده است. کابل های single core را با توجه به نحوه زمین کردن و آرایش غلاف آنها نام گذاری می کنند. در این میان سه نمونه زیر کاربرد رایج تری دارند:

- کابل تک هسته که غلاف آن از یک انتها زمین شده و انتهای دیگر آن باز است.(single point)
- کابل تک هسته که غلاف آن از هر دو انتها به زمین متصل است (solid bonded).
- کابل تک هسته با اتصال غلاف متقاطع (cross-bonded).

لذا عملکرد رله های دیستانس در این نوع نمونه ها بررسی شده اند و در این بررسی ها از امپدانس دقیق دیده شده از سوی رله دیستانس به ازای اتصالی تکفاز هادی به غلاف و همچنین اتصال هادی به غلاف و زمین استفاده گردیده است[۱].

## ۲- امپدانس اندازه گیری شده توسط رله

در محاسبات مربوط به رله دیستانس، دو نوع امپدانس اندازه گیری شده وجود دارد:

الف - امپدانس حلقه فاز به زمین :

$$Z_A = \frac{U_{N,A}}{I} \qquad (۱)$$

که در آن $U_{N,A}$ ولتاژ فاز به زمین و $I$ جریان فاز است.

ب - امپدانس حلقه فاز به زمین اصلاح شده :

$$Z_{conv,A} = U_{N,A} / (I + k_0 I_{res}) = U_{N,A} / I_{AG} \qquad (۲)$$

که در آن $I_{res}$ جریان residual است و از مجموع جریان های سه فاز در محل رله بدست می آید. $k_0$ فاکتور جبران ساز اتصال زمین است. که از رابطه زیر بدست می آید:

$$k_0 = (Z_0 - Z_1)/3Z_1 \qquad (۳)$$

علت استفاده از $k_0$ بر اساس رابطه (۲) در رله های دیستانس این است که برای انواع خطا در فاصله یکسان از محل رله، امپدانس دیده شده یکسان باشد.

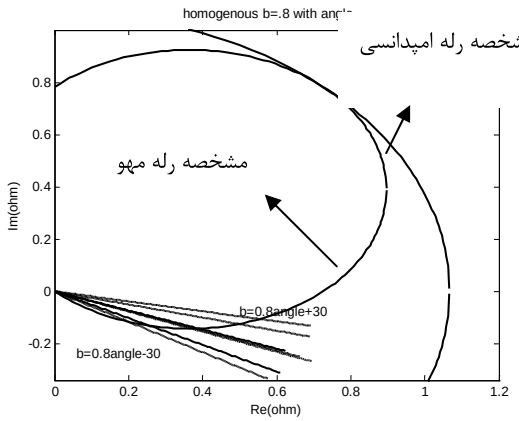
اما در حفاظت کابلها با رله دیستانس، از آنجا که امپدانس های توالی هر نوع کابل (بر اساس آرایش غلاف) با نوع دیگر متمایز می باشد، $k_0$ مربوط به هر نوع کابل نیز با دیگری متفاوت خواهد بود. انتخاب $k_0$ می تواند بر روی حساسیت عملکرد رله اثرگذار باشد. از این رو عملکرد رله ها برای کابل نمونه با آرایش های مختلف غلاف، به ازای امپدانس اصلاح شده با فاکتور $k_0$ بررسی گردیده است.

## ۳- رله امپدانسی و رله مهو

رله امپدانسی و رله مهو دو نوع حفاظت دیستانس متداول در خطوط انتقال محسوب می شوند. مشخصه رله امپدانسی دایره ای است که مرکز آن مبدا مختصات و شعاع آن به اندازه قدرمطلق امپدانس تنظیم آن می باشد. رله مهو ذاتاً جهت دار و محدوده کار آن نیز دایره ای است که از مبدا مختصات گذشته و قطر آن برابر امپدانس تنظیمی رله است. علیرغم کاربرد متداول این دو رله در خطوط هوایی، با توجه به نتایج بدست آمده ، استفاده از این دو رله در خطوط کابلی قابل تامل است. البته شایان ذکر است که در کابل single point کاربرد رله امپدانسی می تواند مناسب باشد اما در سایر موارد اینگونه نیست.

جدول (۱) روابط امپدانس دیده شده در محل رله در ابتدای کابل را به ازای آرایشهای مختلف غلاف نشان میدهد[۱].

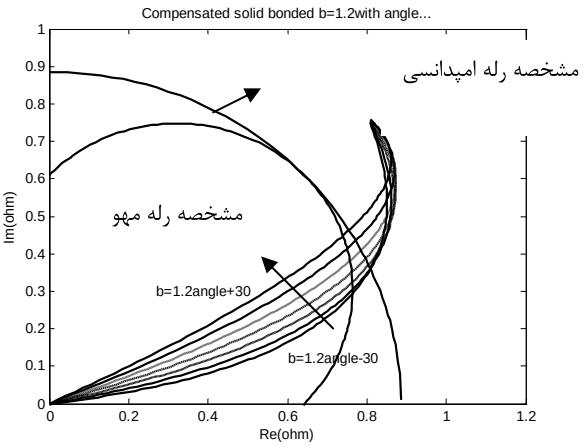
در شکل ۱ امپدانس دیده شده در کابل از نوع single point به ازای زوایای مختلفی از جریان تغذیه در انتها ترسیم شده است.( b ضریبی است که نسبت مقدار جریان تغذیه در انتها را به تغذیه اصلی نشان می دهد). چون فاکتور $k_0$ می تواند یک عدد مختلط باشد، امپدانس اصلاح شده ممکن است بخش موهومی منفی داشته باشد.



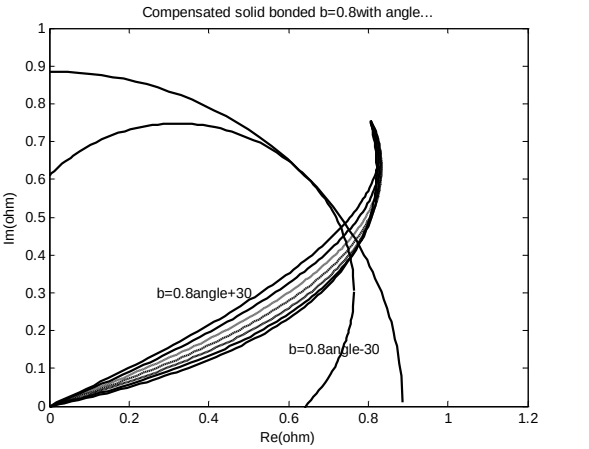

شکل(۱): عملکرد رله های مهو امپدانسی برا ی کابل single point

لذا همانگونه که از شکل ۱ قابل برداشت است، رله مهو قادر نیست خطای تکفاز این نوع کابل را به درستی تشخیص دهد. اما در مقابل، رله امپدانسی خطای تکفاز این نوع کابل ها را به خوبی تشخیص می دهد.

در کابل solid bonded رابطه میان امپدانس دیده شده از سوی رله با فاصله آن، در هنگام بروز خطا، غیر خطی است(جدول۱)[۱] . در شکلهای ۲و۳ امپدانس اصلاح شده به ازای مقادیر مختلف جریان تغذیه در انتها ترسیم گردیده است و در آنها محدوده امپدانس دیده شده از سوی رله های مهو و امپدانسی قابل مشاهده است.



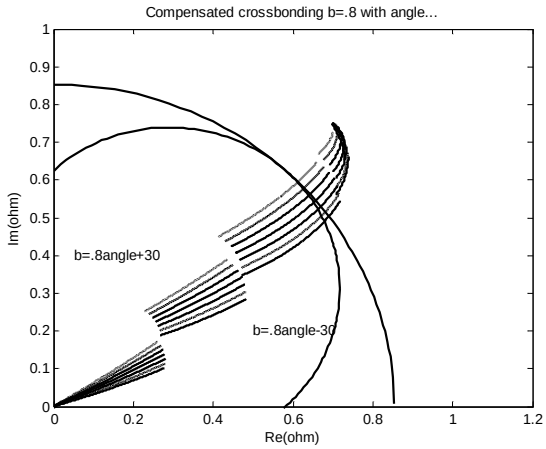

شکل(۲): عملکرد رله های مهو و امپدانسی برا ی کابل solid bonded



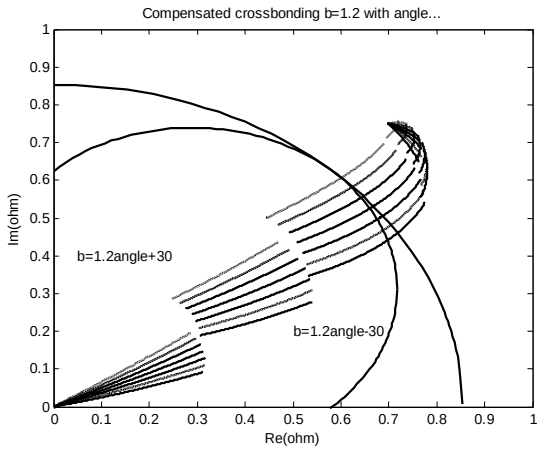

شکل(۳): عملکرد رله های مهو و امپدانسی برا ی کابل solid bonded

به وضوح میتوان دید که هر دو نوع از رله ها، هنگام بروز اتصال کوتاه تکفاز دچار underreach می شوند. از این رو استفاده از این رله ها جهت حفاظت کابل solid bonded مناسب نخواهد بود.

در کابل های cross-bonded علاوه بر غیر خطی بودن امپدانس، با عبور از یک قسمت به قسمت دیگر ناپیوستگی امپدانس خواهیم داشت[۱]. در این نوع کابل نیز نتایجی مشابه با کابل solid bonded بدست می آید و همانگونه که از شکل های ۴و۵ می توان دریافت، حفاظت مهو و امپدانسی در این نوع کابل نیز دچار underreach می شود. پس برای بالابردن قابلیت اطمینان شبکه باید رله های مناسبتری را جستجو کرد.




شکل(۴): عملکرد رله های مهو و امپدانسی برا ی کابل cross bonded




شکل(۵): عملکرد رله های مهو و امپدانسی برا ی کابل cross bonded

## ۴- رله راکتانسی

از آنچه تا کنون اشاره و در شکلهای مختلف نمایش داده شد، به نظر میرسد با به کارگیری رله رآکتانسی بتوان خطوط کابلی را به صورت مناسبتری حفاظت نمود. بر این اساس انواع رله های رآکتانسی با مشخصه های استاتیکی و دینامیکی در این بخش بررسی شده اند.

### ۴-۱- خط دینامیکی مبتنی بر جریان خطا

معادله تعادلی برای رله دیستانس ایده آل از رابطه زیر بدست می آید.

$$Z_{reach}.I_{AG} - V_A = -I_F.Z_f \qquad (۴)$$

که در آن $I_F$ جریان اتصال کوتاه و $Z_f$ امپدانس خطا است. بخش سمت چپ معادله بالا توسط هر رله دیستانس قابل اندازه گیری است و اصل حفاظت دیستانس را تعریف می کند. اگر از مقایسه کننده فاز استفاده کنیم، رابطه (۴) را می

توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$ang(Z_{reach}.I_{AG} - V_A) = ang(-I_F Z_f) \qquad (۵)$$

معادله بالا یک معادله تعادلی برای رله راکتانسی ایده آل است و هر مقدار مقاومت خطا را می پذیرد.

در حالت دائم، این معادله کاملاً دقیق است و می تواند خطاهای داخلی را از خطاهای خارجی با دقت بالایی تشخیص دهد (و فقط دقت دستگاه های اندازه گیری و دقت امپدانس خط، آن را محدود می سازد).

از آنجا که سیگنال $I_F$ توسط رله قابل اندازه گیری نیست، رابطه (۵) نمی تواند به طور مستقیم به کار رود[۳]. لازم به ذکر است که برای عمل کردن رله فقط به زاویه جریان خطا احتیاج داریم.

برای کابل solid bonded جریان اتصال کوتاه از رابطه زیر بدست می آید:

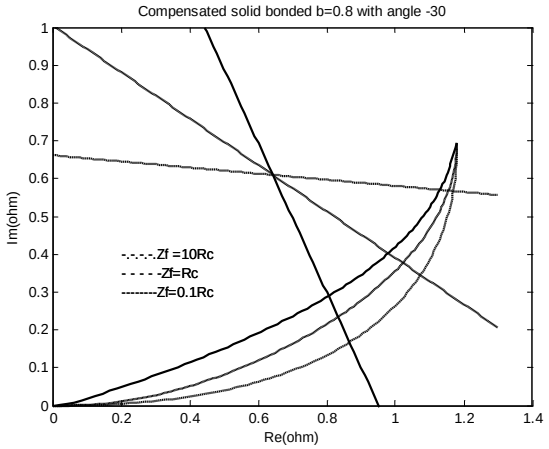
$$I_F = \frac{a.(1+b).R_c}{a(Z_c + Z_d) + \dfrac{Z_f}{1-a}}.I \qquad (۶)$$

که در آن $Z_f$ امپدانس خطا، $Z_c$ امپدانس غلاف و $Z_d$ امپدانس زمین می باشد. $R_c$ نیز مقاومت غلاف است. a نسبت فاصله محل خطا به طول خط است.

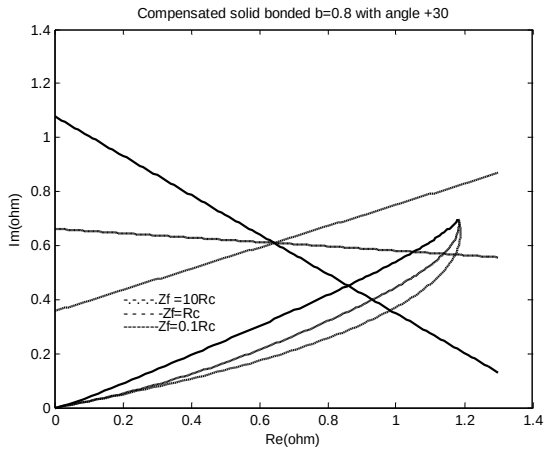
با جایگزین کردن رابطه (۶) در معادله تعادلی خواهیم داشت:

$$ang(Z_{reach} - V_A / I_{AG}) = ang[\frac{-a.(1+b).R_c.Z_f}{a(Z_c + Z_d) + \dfrac{Z_f}{1-a}} / (1+k_0)] \qquad (۷)$$

در شکلهای (۶) و (۷) معادله تعادلی و همچنین امپدانس دیده شده از سوی رله(جدول۱)، به ازای مقادیر مختلف b و $Z_f$ در کابل solid bonded ترسیم شده اند. با افزایش زاویه جریان مقابل و افزایش امپدانس خطا، خط دینامیکی بر گرفته از جریان اتصال کوتاه، مشخصه امپدانس اتصال کوتاه مربوطه را بهتر پوشش می دهد.




شکل(۶): رله دینامیکی به ازای مقادیر مختلف امپدانس خطا




شکل(۷): رله دینامیکی به ازای مقادیر مختلف امپدانس خطا

بر این اساس هر چه امپدانس خطا کوچکتر باشد و زاویه تغذیه نیز کوچکتر باشد میزان underreach شدن رله به مراتب بیشتر خواهد بود.

مقدار جریان اتصال زمین در کابل single point از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$I_F = \frac{(1-a).[bR_c + (Z_c + Z_d)]}{[Z_f + (1-a).(Z_c + Z_d)]}.I \qquad (۸)$$

که میتواند در رابطه (۵) جایگزین گردد. در این حالت نیز، جریان با فاصله خطا و میزان تغذیه مقابل و همچنین امپدانس خطا تغییر می کند.در این نوع کابل بر خلاف solid bonded، با افزایش امپدانس خطا، رله دینامیکی دچار underreach می شود.

اما رابطه (۵) معادله طراحی مرز (یا خط مرزی) در رله راکتانسی است، و زمانی قابل استفاده است که تمام سیگنال

های مربوطه،در محل رله قابل اندازه گیری باشند. چون جریان خطا در محل رله قابل اندازه گیری نیست، می توان این جریان را به کمک جریان عبوری از فازی که خطا روی آن صورت گرفته تقریب زد[۳].

### ۴-۲- خط استاتیکی متعامد

در این نوع از رله رآکتانسی، سمت راست رابطه (۵) به صورت زیر جایگزین میشود:

$$ang(Z_{reach}.I_{AG} - V_A) = ang(jZ_{reach}.I_{AG}) \qquad (۹)$$

خط راکتانسی که از معادله بالا بدست می آید، به واقع بر اساس مقایسه تفاضل زاویه $Z_{reach}$. و زاویه امپدانس اصلاح شده، با زاویه متمم $Z_{reach}$. است. به عبارت دیگر خط مرزی این رله رآکتانسی همواره بر بردار $Z_{reach}$. عمود است(خط مایل در شکلهای (۸)و (۹)).

### ۴-۳- خط استاتیکی راکتانس ثابت

در این نوع از رله رآکتانسی، تقریب زیر در سمت راست رابطه (۵) استفاده میشود:

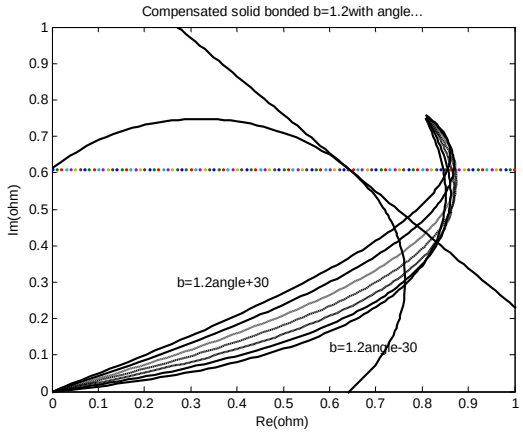
$$ang(Z_{reach}.I_{AG} - V_A) = ang(-.I_{AG}) \qquad (۱۰)$$

خط راکتانسی که بر اساس رابطه بالا بدست می آید، همواره افقی است و اتصال زمین در کابلهایی که دارای زاویه امپدانس کوچکتر از ۹۰ درجه را بهتر پوشش می دهد(خط افقی در شکل های(۸)و(۹)).

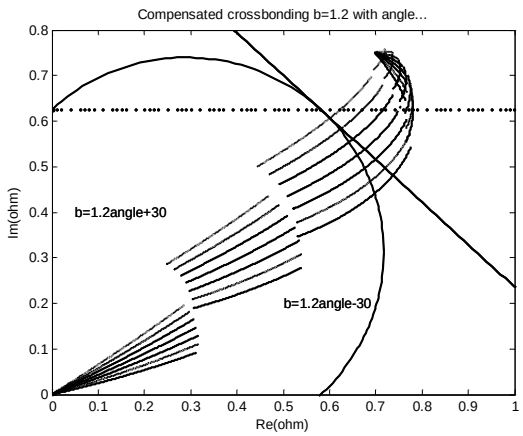
حال برای بررسی میزان دقت این دو رله راکتانسی برای آرایش های مختلف کابل شکل های زیر ترسیم شده اند. در شکل ۸ با توجه به مشخصه امپدانس اتصال کوتاه کابل solid- bonded خط راکتانس ثابت بهتر از مهو و خط عمود بر mta می تواند خطا ها را پوشش دهد. همین وضعیت برای کابل cross-bonding نیز وجود دارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، مشکل underreach شدن در رله های دیستانس جهت حفاظت کابلی یک مشکل اساسی است. در این میان رله های راکتانسی قابلیت عملکرد بهتری را در مقایسه با سایر رله های دیستانس دارند. در رله های راکتانسی ذکر شده، تنظیمات باید به گونه ای باشد که کلیه خطاها را پوشش دهد. در تمام نمونه های ارائه شده نقش $k_0$ و b و $Z_{reach}$ و $Z_f$ مشهود است. در این میان تنها فاکتورهای $k_0$ و $Z_{reach}$ قابل تنظیم است. لذا جهت تنظیم مناسب رله ها، باید فاکتورهای مؤثر به گونه ای انتخاب شوند که اتصالی ها را در طول خط به درستی تشخیص دهند.




شکل(۸): مقایسه رله های راکتانس ثابت، متعامد و مهو برا ی کابل solid bonded




شکل(۹): مقایسه رله های راکتانس ثابت، متعامد و مهو برا ی کابل cross bonded

## مراجع

[۱] ر.س.نیک جو، "بکارگیری رله دیستانس در حفاظت شبکه های کابلی"، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، شهریور ۱۳۸۵

[۲] W.F.J. Kersten, "Distantie-beveiliging van Kabelsystemen met Eenfase XLPE-

kabels", Afstudeerwerk-E.W.M. Beeker, EO.۸۴.A.۴۱.

[۳] B. Kasztenny, I. Voloh, J.G. Hubertus, "Applying Distance Protection to Cable Circuits", ۵۷th Annual Conference for IEEE, ۲۰۰۴

[۴] V. Leitloff, X. Bourgeat, G. Duboc, "Setting Constraints for Distance Protection on Underground Lines" , Developments in Power System Protection, Conference Publication No.۴۷۹, IEE ۲۰۰۱.

| | single point |
|---|---|
| اتصالی هادی به غلاف | $Z_{R,A}=\frac{U_{RN,A}}{I_R}=a.[Z_b+R_c(1+b)]$ غلاف در سمتی زمین شده که رله قرار دارد |
| اتصالی هادی به غلاف و زمین | $Z_{R,A}=\frac{U_{RN,A}}{I_R}=$ $a.(Z_b+(b-ab-a)R_c+Z_c+Z_d)+$ $(a-1)(Z_c+Z_d)\frac{(1-a).[bR_c+(Z_c+Z_d)]}{[Z_f+(1-a).(Z_c+Z_d)]}$ |
| | solid bonded |
| اتصالی هادی به غلاف | $Z_{R,A}=a.\left[Z_b+R_c-\frac{{R_c}^2(Z_c+2Z_d)(a+ab-b)}{Z_c(Z_c+3Z_d)}\right]$ |
| اتصالی هادی به غلاف و زمین | $Z_{R,A}=\frac{U_{RN,A}}{I_R}=a.(Z_b-R_c.\left[\frac{R_c(Z_c+2Z_d)(a+ab-b)}{Z_c(Z_c+3Z_d)}-1+\frac{(1-a)(1+b)a.R_c}{a(Z_c+Z_d)+\frac{Z_f}{1-a}}\right])$ |

## ضمیمه

جدول ۱:امپدانس دیده شده در محل رله به ازای آرایشهای مختلف غلاف

$Z_b$ امپدانس هسته میباشد،(روابط طولانی cross-bonded نیزدر مرجع [۱] موجود است)

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.